



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ**  
**FACULDADE DE COMPUTAÇÃO**  
**BACHARELADO EM ENGENHARIA DE COMPUTAÇÃO**

**RONILSON WILLIAME DA SILVA PEREIRA**

**TRANSMISSÃO DE VÍDEO EM REDES MESH USANDO NS3 E EVALVID COM  
PROVISIONAMENTO DE QUALIDADE DE EXPERIÊNCIA**

**CASTANHAL - PA**

**2018**

**RONILSON WILLIAME DA SILVA PEREIRA**

**TRANSMISSÃO DE VÍDEO EM REDES MESH USANDO NS3 E EVALVID COM  
PROVISIONAMENTO DE QUALIDADE DE EXPERIÊNCIA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado no curso de Engenharia de Computação da Universidade Federal do Pará, como requisito parcial para obtenção do grau de Engenheiro da Computação.

Orientador: Dr. José Jailton Henrique Ferreira Júnior

**CASTANHAL - PA**

**2018**

**RONILSON WILLIAME DA SILVA PEREIRA**

**AVALIAÇÃO DE REDES MESH USANDO NS3 E EVALVID COM  
PROVISIONAMENTO DE QUALIDADE DE EXPERIÊNCIA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado no curso de Engenharia de Computação da Universidade Federal do Pará, como requisito parcial para obtenção do grau de Engenheiro da Computação.

Aprovado em: 19 / 12 / 18

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof. Dr. José Jailton Henrique Ferreira Júnior  
Universidade Federal do Pará  
Orientador

---

Prof. Dr. Tássio Costa de Carvalho  
Universidade Federal do Pará

---

Prof. Dr. Renato Hidaka Torres  
Instituto Federal do Pará

## **Dedicatória**

Dedico este trabalho a todos àqueles que se dedicam ao estudo da TI colocando-a a serviço do bem para a humanidade, especificamente ao nosso Estado do Pará.

# Agradecimentos

Agradeço ao Transcendente por ter-me emanado energia necessária para realização deste trabalho.

À minha família por ter-me compreendido nos momentos de dificuldades durante o curso, especificamente a minha mãe Maria Ladiney pela preocupação que teve comigo.

A minha amiga Flávia Gomes, e família por ter se preocupado comigo e me ajudado num momento difícil que eu passei.

Ao meu pai e professor Raimundo Coelho pelas orientações e incentivo para produção deste trabalho.

Aos meus irmãos Ranilson Silva, Romário Silva, que vivenciamos as angústias dos trabalhos acadêmicos durante o curso.

À minha namorada e acadêmica Dhamily Saraiva, por estar comigo em todos os momentos principalmente no momento mais difícil de minha vida e pelo incentivo nos momentos finais do trabalho.

A todos os professores pelo incentivo ao meu ingresso no Curso de Engenharia da Computação.

Á todos os professores do Curso de Engenharia da Computação que contribuíram para minha formação acadêmica.

Ao Prof. Dr. José Jailton Ferreira Junior pela dedicação e paciência para a construção deste trabalho.

A todos aos colegas da turma que compartilhamos os momentos de discussão acadêmica.

“Mesmo desacreditado e ignorado por todos, não posso desistir, pois para mim, vencer é nunca desistir.”

Albert Einstein

## Resumo

Este trabalho foi feito um estudo da Qualidade de Experiência percebida pelo usuário, com base na avaliação da qualidade do vídeo transmitido em uma rede mesh utilizando uma aplicação *evalvid client server*, tendo métricas objetivas de avaliação de vídeos que utiliza fórmulas matemáticas para fazer essa avaliação. Para tanto, foram escolhidos a pesquisa bibliográfica a respeito da métricas objetivas para fazer a avaliação da qualidade de experiência. Para realização da simulação, utilizamos o simulador de redes NS-3 juntamente com o *framework evalvid*, utilizou-se modelos de mobilidades baseado em áreas da cidade de castanhal. Esses vídeos são avaliados utilizando métricas objetivas: Relação Sinal-Ruído (PSNR – *Peak Signal to Noise Ratio*), Índice de Similaridade Estrutural (SSIM - *Structural Similarity Index*) e Medição de Qualidade de Vídeo (VQM - *Video Quality Measure*). O presente trabalho foi realizado a partir da coleta de dados pesquisados em bancos de dados da internet, os dados foram selecionados esses conforme se aproximarem do objetivo do trabalho. Como resultado da análise podemos perceber que os vídeos utilizados na simulação tiveram pouca degradação.

**Palavras-chave:** qualidade de experiência, métricas objetivas, NS-3, evalvid.

## Abstract

This work was done with the Quality Method of a user-qualified experience, based on the assessment of the quality of the video transmitted in a network using an application as a client server, with the objective of evaluating the evaluation videos of the mathematical tools to make this assessment. For this, a bibliographical research was chosen to respect the objective metrics to make an evaluation of the quality of experience. In order to perform the simulation, we used the NS-3 network simulator with the evaluation framework, using models of mobilization in areas of the city of castanhal. These videos are based on objective metrics: Signal-to-Noise Ratio (PSNR), Structural Similarity Index (SSIM) and Video Quality Measurement (VQM). The present work was carried out from the collection of data searched in Internet databases, and the data were collected according to the objectives of the work. As a result of the analysis it could be that the videos are tried in the simulation in low degradation.

**Key words:** quality of experience, objective metrics, NS-3, evalvid.

# Sumário

<b>CAPÍTULO 1</b> .....	14
<b>Introdução</b> .....	14
<b>1.1 Visão Geral</b> .....	14
<b>1.2 Motivação e desafios</b> .....	14
<b>1.3 Objetivo</b> .....	15
<b>1.3.1 Objetivos Gerais</b> .....	15
<b>1.3.2 Objetivos Específicos</b> .....	15
<b>1.4 Organização do Trabalho</b> .....	16
<b>CAPÍTULO 2</b> .....	17
<b>Referencial Teórico</b> .....	17
<b>2.1 Tecnologia sem fio mesh</b> .....	17
<b>2.2 Sistemas Multimídias</b> .....	18
<b>2.3 Codificação de Vídeo</b> .....	18
<b>2.4 Padrão YUV</b> .....	19
<b>2.5 Estimadores de Qualidade de Vídeo</b> .....	19
<b>2.5.1 Relação Sinal-Ruído de Pico (PSNR: <i>Peak Signal to Noise Ratio</i>)</b> .....	20
<b>2.5.2 Índice de Similaridade Estrutural (SSIM: <i>Structural Similarity Index</i>)</b> .....	20
<b>2.5.3 Medição de Qualidade de Vídeo (VQM: <i>Video Quality Measure</i>)</b> .....	21
<b>2.6 Streaming de Vídeo</b> .....	22
<b>2.7 Qualidade de Vídeo</b> .....	23
<b>2.8 Resoluções de Vídeos</b> .....	23
<b>2.9 Framework evalvid</b> .....	24
<b>2.10 Codificação Decodificação Transmissão e Análise dos Vídeos</b> .....	24
<b>2.10.1 Etapas iniciais do procedimento para avaliar a QoE</b> .....	25
<b>CAPÍTULO 3</b> .....	27
<b>Trabalhos Relacionados</b> .....	27
<b>CAPÍTULO 4</b> .....	28
<b>Modelagem da Simulação</b> .....	28
<b>4.2 Base de dados de vídeos</b> .....	28
<b>4.3 Simuladores de Rede</b> .....	30
<b>4.3.1 NS-3</b> .....	30
<b>4.4 Geradores de Mobilidade</b> .....	30

4.4.1 Simulação de Mobilidade Urbana SUMO ( <i>Simulation of Urban Mobility</i> ) .....	30
4.5 OpenStreetMap .....	32
4.6 Topologia da rede .....	33
<b>CAPÍTULO 5</b> .....	36
<b>Avaliação de desempenho</b> .....	36
5.1. Análise dos resultados.....	36
5.1.2 Métrica Objetiva PSNR .....	36
5.1.2 Métrica Objetiva SSIM.....	38
5.1.3 Métrica Objetiva VQM.....	39
5.2 Degradação dos Frames no Cenário Simulado.....	40
<b>CAPÍTULO 6</b> .....	42
<b>Conclusão</b> .....	42
<b>APÊNDICE A</b> - O apêndice consiste nos resultados tabelados de 260 <i>frames</i> , tabulados em 29 FPS pelo tamanho do vídeo em segundos no 9s do vídeo <i>Tempete</i> .....	44
<b>APÊNDICE B</b> - O apêndice consiste nos resultados tabelados de 260 <i>frames</i> , tabulados em 29 FPS pelo tamanho do vídeo em segundos no 9s do vídeo <i>Waterfall</i> .....	47

# Lista de Abreviaturas

**IEEE** - Institute Of Electrical and Electronic Engineers.

**NS-3** - Network Simulator 3.

**QoE** - Qualidade de Experiência.

**SUMO** - Simulation of Urban Mobility.

**SBTVD** - Sistema Brasileiro de Televisão Digital.

**FR** - Full Reference.

**RR** - Reduced Reference.

**NR** - No Reference.

**PSNR** - Peak Signal to Noise Ratio.

**SSIM** - Structural Similarity Index.

**VQM** - Video Quality Metric.

**DCT** - Transformada Discreta de Cosseno.

**HD** - High Definition.

**dB** – Decibel.

**FPS** - Frame por Segundo.

## Lista de Figuras

<b>Figura 1:</b> Ilustração de um cenário de uma rede mesh. ....	17
<b>Figura 2:</b> Diagrama do algoritmo da métrica VQM. ....	22
<b>Figura 3:</b> Fluxo das etapas até fazer a avaliação da qualidade dos vídeos. ....	25
<b>Figura 4:</b> Imagem do vídeo original de Tempete. ....	28
<b>Figura 5:</b> Imagem do vídeo original Waterfall. ....	29
<b>Figura 6:</b> Simulador de Tráfego Sumo. ....	31
<b>Figura 7:</b> Seleção da área utilizando OpenStreetMap. ....	33
<b>Figura 8:</b> Topologia da rede do modelo de simulação proposto. ....	34
<b>Figura 9:</b> Gráfico da métrica PSNR. ....	37
<b>Figura 10:</b> Gráfico da métrica SSIM. ....	39
<b>Figura 11:</b> Gráfico da métrica VQM. ....	40
<b>Figura 12:</b> Frames do vídeo Tempete após a simulação. ....	41
<b>Figura 13:</b> Frames do vídeo Waterfall após a simulação. ....	41

## Lista de Tabelas

<b>Tabela 1:</b> Especificações dos Vídeos. ....	29
<b>Tabela 2:</b> Parâmetros do Cenário Proposto. ....	34
<b>Tabela 3:</b> Valores médios dos Frames da métrica PSNR. ....	37
<b>Tabela 4:</b> Valores médios dos Frames da métrica SSIM. ....	38
<b>Tabela 5:</b> Valores médios dos Frames da métrica VQM. ....	39
<b>Tabela 6:</b> Vídeo Tempete – valores de PSNR dos 260 frames. ....	44
<b>Tabela 7:</b> Vídeo Tempete – valores de SSIM dos 260 frames. ....	45
<b>Tabela 8:</b> Vídeo Tempete – valores de VQM dos 260 frames. ....	46
<b>Tabela 9:</b> Vídeo Waterfall – valores de PSNR dos 260 frames. ....	47
<b>Tabela 10:</b> Vídeo Waterfall – valores de SSIM dos 260 frames. ....	48
<b>Tabela 11:</b> Vídeo Waterfall – valores de VQM dos 260 frames. ....	49

# CAPÍTULO 1

## Introdução

### 1.1 Visão Geral

Neste projeto é apresentado o portal de aplicação do NS-3 com foco especial no módulo mesh desenvolvido para redes em malha sem fio. Sabemos que uma rede em malha sem fio é uma tecnologia sem fio promissora na qual tem atraído cada vez mais atenção nos anos recentes por causa de suas características como seu baixo custo, facilidade de implantação, robustez e cobertura de serviço confiável.

A rede em malha sem fio é uma rede dinâmica onde seus nós se comunicam entre si através do padrão IEEE 802.11 em modo conhecido como ad-hoc, sendo autoconfiguráveis. Entretanto utilizamos como estudo o simulador de eventos discretos, o Network Simulator 3 (NS-3). Em tal software, foi incluído um módulo, denominado evalvid, para analisar métricas objetivas de transmissão de vídeos (PSNR, SSIM e VQM). A necessidade de uma arquitetura que proporcione a melhor conectividade considerando a perspectiva, a experiência do usuário é um dos fatores que motivou este trabalho. A discussão para as novas arquiteturas não deve ser apenas do ponto de vista técnico orientada a protocolo e sim orientada a serviço considerando a satisfação, a experiência do usuário para um determinado serviço.

### 1.2 Motivação e desafios

Devido à crescente demanda relacionada a aplicações multimídias e considerando o número potencial de usuários utilizando aplicações multimídias especificamente o vídeo, torna-se viável estudar um pouco mais a respeito do assunto. O desenvolvimento tecnológico dos sistemas de informações, de comunicações e a alta velocidade permitiram o aparecimento de novas aplicações no domínio de sistemas distribuídos. Além disso, temos também os vídeos apresentando um vasto domínio de aplicações informáticas distribuídas como publicações eletrônicas, tele ensino dentre outras.

Durante as atividades realizadas no trabalho, uma das principais dificuldades encontradas foi no fluxo de codificação e decodificação dos vídeos, pois a dificuldades em depurar os erros de simulação que as ferramentas mostravam no terminal do linux, fato que acarretou em contratempos na realização do trabalho. Temos também como fator de dificuldade, a falta de material relacionada ao módulo evalvid para o NS-3.

Há também problemas com as métricas de avaliação de QoE, pois em alguns casos os dados não estavam organizados de forma adequada, dificultando, com isso, fazer ajustes nas planilhas na qual os valores de métricas estavam armazenados. Aplicação evalvid para a tecnologia de redes mesh pode ser considerado como outro fator negativo. Além disso, há pouco material explicativo sobre a utilização de cada módulo do NS-3.

## **1.3 Objetivo**

### **1.3.1 Objetivos Gerais**

O objetivo principal deste trabalho é avaliar e propor soluções para o emprego adequado das redes sem fio heterogêneas, o acesso à informação e serviços, proporcionando conectividade em qualquer lugar, utilizando qualquer dispositivo de comunicação, a um custo baixo. Este trabalho teve como objetivo utilizar um simulador de eventos discretos, no qual, houve o desenvolvimento de cenários de redes heterogêneas sem fio, e tivemos a simulação de uma rede sem fio em malha. Analisar e validar os resultados da simulação da transmissão de vídeos, no qual obtivemos os valores das métricas objetivas de qualidade de experiência. Verificar os estudos de tópicos como: transmissão da informação, tipos de topologias de redes, meios físicos de transmissão, arquiteturas e padrões.

### **1.3.2 Objetivos Específicos**

- Estudar a viabilidade do simulador Network Simulator 3 (NS-3);
- Utilizar modelos de mobilidade urbana realísticos gerados através do simulador SUMO (*Simulation of Urban Mobility*);
- Aplicar transmissão de vídeos em redes mesh;
- Utilizar ferramenta *OpenStreetMap* para geração de mapas com dados geográficos;
- Codificar e decodificar vídeos;

- Estruturar conjunto de ferramentas para avaliação da qualidade do vídeo, o evalvid;
- Investigar métricas objetivas de Qualidade de Experiência para vídeos;

## 1.4 Organização do Trabalho

Este trabalho está estruturado em 6 capítulos sendo este primeiro o introdutório conforme as descrições abaixo:

- **Capítulo 2** – Referencia Teórico: são apresentados os conceitos referente aos principais pontos que formaram a base teórica deste trabalho como codificação de vídeo, estimadores de qualidade de vídeo no qual mostra as métricas objetivas de avaliação de vídeo.
- **Capítulo 3** – Trabalho Relacionados: tem-se alguns trabalhos no qual são destacados os mais consideráveis que foram encontrados referente ao tema principalmente sobre qualidade de experiência.
- **Capítulo 4** - Modelagem da Simulação: O capítulo 4 demonstra a modelagem da simulação explicando a ferramenta de simulação utilizada, geradores de mobilidade mostrando também a base de dados dos vídeos utilizados na simulação.
- **Capítulo 5** – Avaliação de Desempenho: é descrito a avaliação dos resultados das métricas objetivas de qualidade de experiência PSNR, SSIM e VQM com suas tabelas e gráfico.
- **Capítulo 6** – Conclusão: são feitas as considerações finais mostrando as principais contribuições desse trabalho.

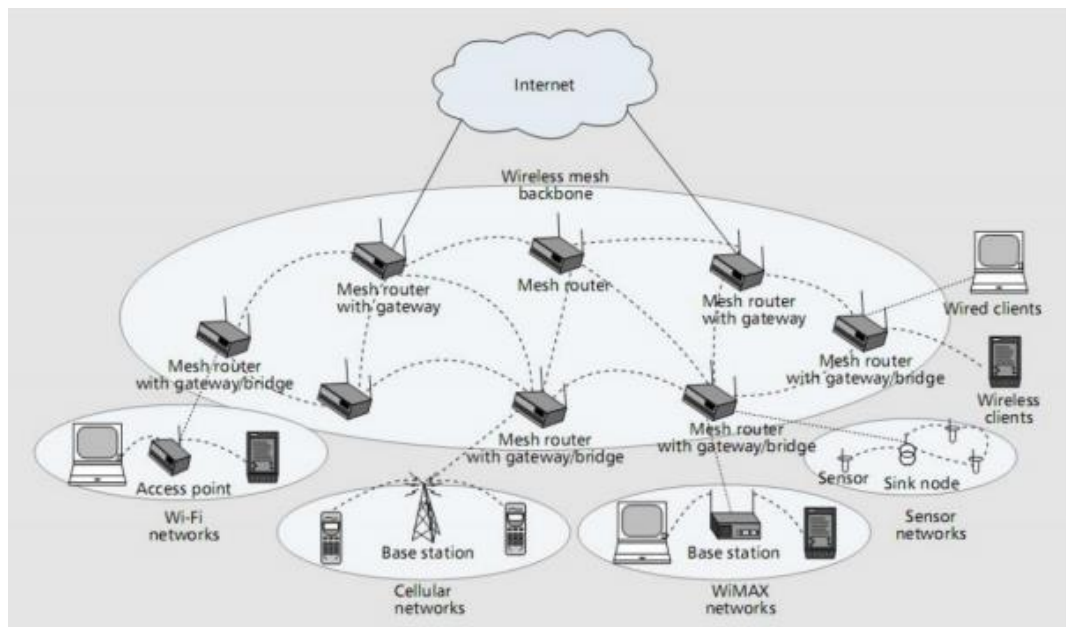
## CAPÍTULO 2

### Referencial Teórico

#### 2.1 Tecnologia sem fio mesh

Podemos dizer que a rede sem fio mesh é uma rede dinâmica no qual seus nós se comunicam entre si através do padrão IEEE 802.11 em modo ad-hoc. As estações presentes funcionam como nós e todos estão se comunicando com os outros nós de forma igualitária, onde temos pelo menos uma rota entre qualquer par de nós. Temos os pacotes entreguem ao seu destino por meio de múltiplos saltos entre os nós. Devido à falta de cabeamento entre os pontos de acesso, temos dessa forma uma rede mais barata e de fácil implementação reduzindo assim custos como administração e manutenção.

**Figura 1:** Ilustração de um cenário de uma rede mesh.



Fonte: (Wang, 2005).

Temos vários caminhos de interconexão entre os nós, essa é a diferença que reside. A conexão pode ser parcial, em que apenas alguns nós são interconectados e total quando todos os nós são interconectados entre si. Na rede mesh a melhor rota é definida automaticamente,

sendo capaz de ser reconfigurados dinamicamente se um nó se torna inutilizável, diferente das redes tradicionais, em que se faz necessário uma infraestrutura prévia, nas redes mesh não precisa, pois não são necessários pontos de acesso, cada cliente comunica-se entre si, já nas redes tradicionais os pontos de acesso são definidos onde as mensagens passam antes de chegar ao seu destino final.

## 2.2 Sistemas Multimídias

Quando se fala em sistemas multimídias, temos logo em primeira mão áudio, vídeo e imagens onde são os meios naturais da comunicação entre humanos. Em vista disso, sistemas multimídia têm diversas aplicações em todas as áreas que estas mídias possam ser utilizadas. Tais sistemas são utilizados por diversos motivos como: tornar a interface mais atrativa, realismo no caso de simulações e jogos, maior qualidade nos vídeos, etc., mas as principais motivações do uso de sistemas multimídia são:

- Permite-se o aumento da transferência de informações pelo uso simultâneo de um ou mais sentidos do usuário. Isto, pois humanos aprendem mais, e mais rapidamente, quando vários dos seus sentidos (visão, audição, etc.), são utilizados.
- Destina-se simular a comunicações humanas face-a-face. Isto tem levado à incessante investigação de sistemas de comunicação e computação que se aproximam da velocidade de transmissão, fidelidade e eficiência das comunicações humanas face-a-face, como no caso em aplicações envolvendo vídeos.

## 2.3 Codificação de Vídeo

Vídeos digitais possuem uma grande demanda que está em franca expansão devido a implementação do Sistema Brasileiro de Televisão Digital (SBTVD), desta forma videoconferências, *streaming* de vídeos na internet, tem um grande aumento na acessibilidade a dispositivos de gravação de vídeos e compartilhamentos em redes sociais. Ultimamente há uma transformação na forma de comunicação digital informal, passando de textos para áudios e vídeos.

Temos os vídeos digitais compostos por uma sequência de imagens, muitas vezes com uma alta resolução, sendo necessária uma considerável quantidade de bits para representar tal vídeo, tornando sua transmissão um desafio. Entretanto, foram elaboradas técnicas de compressão de vídeo, com o intuito de reduzir a quantidade de bits necessária para a representação do vídeo. Temos dois tipos de compactação de vídeos, as sem perdas e as com perdas. No primeiro caso o vídeo reconstituído após a codificação é idêntico ao vídeo original, entretanto é possível reduzir somente em duas a três vezes a quantidade de bits para sua representação, utilizamos neste trabalho o primeiro caso, pois codificamos o vídeo idêntico ao original.

## **2.4 Padrão YUV**

O padrão YUV é derivado do padrão RGB, sendo as três letras as iniciais respectivamente das cores primárias, *Red* (Vermelho), *Green* (Verde) e *Blue* (Azul). Com as junções destas três cores com intensidades diferentes é possível resultar em diversas cores diferentes. Utilizando um byte para representar cada cor é possível obter mais de 16 milhões de combinações de tons, saturação e brilho.

## **2.5 Estimadores de Qualidade de Vídeo**

Os estimadores de qualidade de vídeo têm como objetivo fazer uma pontuação a uma determinada transmissão de vídeo, também podemos definir como um parâmetro dependente do ponto do usuário, pois irá julgar segundo sensações e percepção para avaliar se a qualidade de experiência (QoE) é satisfatória ou não. Resultados são utilizados para realizar melhoras nas redes de transmissão, em geral, todos os equipamentos intervêm nesse processo. As estimativas são obtidas através de métricas objetivas e subjetivas, as quais são utilizadas na avaliação da qualidade de vídeo em diferentes cenários de rede.

No trabalho utilizamos as métricas objetivas que são baseadas em modelos matemáticos para estimar a média das opiniões dos usuários. As métricas objetivas podem ser classificadas conforme a disponibilidade do vídeo original. Chamamos de FR (*Full Reference*) quando o vídeo original sem degradação é completamente disponível, o RR (*Reduced Reference*) quando

o vídeo original não é totalmente disponível e o NR (*No Reference*) quando o vídeo original não é disponível. A análise dos vídeos feito neste trabalho é do tipo referência completa (FR), porque utilizamos o vídeo original completo e o vídeo degradado para comparação.

No presente trabalho considerou-se que a QoE é estabelecida na avaliação da qualidade do vídeo recebido na aplicação utilizando a tecnologia de redes mesh. Para comparar o vídeo original e o vídeo degradado as seguintes métricas objetivas foram consideradas:

- PSNR (*Peak Signal to Noise Ratio*);
- SSIM (*Structural Similarity Index*);
- VQM (*Video Quality Metric*).

### 2.5.1 Relação Sinal-Ruído de Pico (PSNR: *Peak Signal to Noise Ratio*)

A métrica PSNR é definida como a máxima energia possível de um sinal e o ruído que afeta a representação do sinal entre os quadros do vídeo original e o degradado. A métrica PSNR é representada pela seguinte equação:

$$\text{PSNR} = 10 \log_{10} \frac{L^2}{\frac{1}{MNT} \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N \sum_{t=1}^T [I(m,n,t) - \hat{I}(m,n,t)]^2} \quad (1)$$

A faixa de valores da métrica varia de 0 a 100, correspondendo 100 o melhor valor possível.

### 2.5.2 Índice de Similaridade Estrutural (SSIM: *Structural Similarity Index*)

No Índice de Similaridade Estrutural como diz o nome, as imagens são altamente estruturadas baseada no modelo visual humano.

O SSIM (WANG, 2012) é uma métrica que compara quadro das sequências de vídeo original e o vídeo degradado para quantificar a degradação sofrida. Baseia-se na ideia que as imagens naturais são altamente estruturadas, ou em outras palavras, seus pixels apresentam

forte dependências, especialmente quando estão espacialmente próximos. As dependências carregam informações importantes sobre a estrutura dos objetos na cena.

A métrica SSIM estima a similaridade entre o vídeo original e o vídeo degradado, comparando a luminosidade  $l(x, y)$ , o contraste  $c(x, y)$  e a estrutura  $s(x, y)$  do vídeo original  $x$  e do vídeo degradado  $y$ , sendo representada pela seguinte equação (BEGAZO, 2011):

$$\text{SSIM}(x, y) = \frac{(2\mu_x\mu_y + C_1)(2\sigma_{xy} + C_2)}{(\mu_x^2 + \mu_y^2 + C_1)(\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + C_2)} \quad (2)$$

$$C_1 = (K_1 L^2) \quad (3)$$

$$C_2 = (K_2 L^2) \quad (4)$$

$$L = 2^{\#\text{bits/quadro} - 1} \quad (5)$$

$$K_1 \ll K_2; K_1 = 0,001 \text{ (valor usual)} \quad (6)$$

$$K_2 \ll K_1; K_2 = 0,03 \text{ (valor usual)} \quad (7)$$

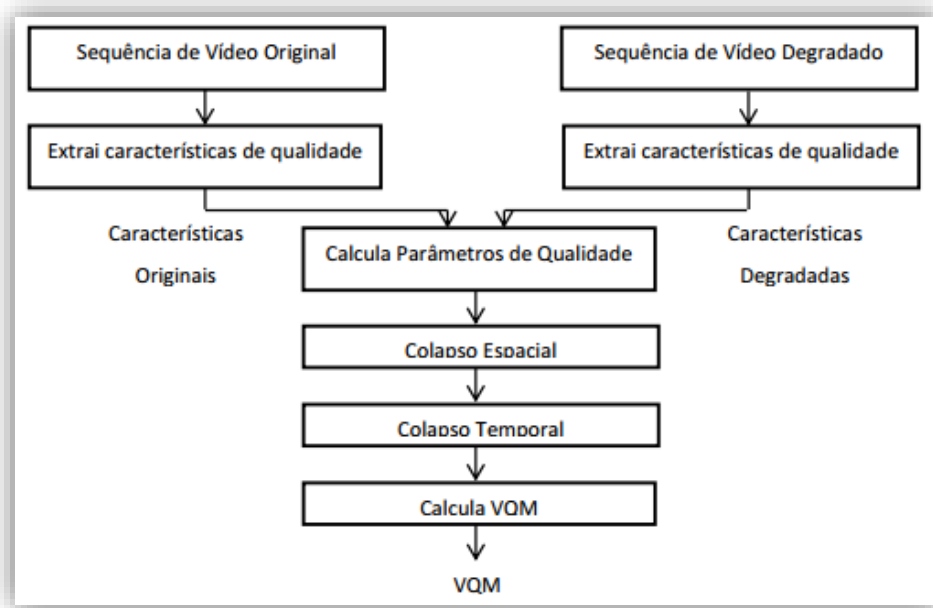
Em (2)  $\mu_x$  e  $\mu_y$  é a medida de  $x$  e  $y$ ,  $\sigma_x^2$  e  $\sigma_y^2$  é a variância de  $x$  e  $y$ , respectivamente;  $\sigma_{xy}$  é a covariância de  $x$  e  $y$ ;  $C_1$  e  $C_2$  são constantes que estabilizam a divisão com um denominador pico, evitando instabilidades quando o denominador tende a zero.  $L$  é a faixa dinâmica de valores de pixel. A faixa de valores da métrica SSIM varia de 0 a 1, sendo 1 o melhor possível.

### 2.5.3 Medição de Qualidade de Vídeo (VQM: *Video Quality Measure*)

A métrica VQM também utiliza como entradas o vídeo original e o vídeo degradado para fazer a avaliação objetiva da qualidade do vídeo, pois utiliza a transformada discreta de cosseno (DCT). Entretanto o algoritmo VQM possui diversas etapas tendo a estimativa da medida de qualidade a fase final, pois tem-se como objetivo calcular uma métrica de qualidade

geral através de uma combinação linear dos parâmetros calculados em etapas anteriores do algoritmo. Temos um diagrama do algoritmo da métrica até calcular a avaliação da qualidade do vídeo.

**Figura 2:** Diagrama do algoritmo da métrica VQM.



Fonte: (Begazo, 2012).

Depois de todas as etapas da métrica, temos a média VQM representada pela seguinte equação:

$$VQM = Dist_{mean} + 0,005 Dist_{max} \quad (8)$$

quanto mais alta a qualidade do vídeo, mais baixo o valor de VQM, a métrica tem valores positivos a partir de 0, sendo 0 o melhor valor possível.

## 2.6 Streaming de Vídeo

*Streaming* de vídeo ou outro tipo de multimídia, se configura como a transmissão de um tipo de conteúdo multimídia, dividindo-os em pacotes, enviando de forma contínua para

reprodução ao usuário. Normalmente essa transmissão é considerada *multicast*, ou seja, a transmissão é feita por um servidor para diversos usuários simultaneamente.

Durante o processo de transmissão pode ocorrer perdas de pacotes, devido a característica da rede, dentre elas a latência dos pacotes maiores que o tempo máximo do *buffer* de reprodução. Dentre os principais defeitos que afetam o QoE tem-se: mosaico (*blocking*), pixelização, fantasmas e congelamentos de quadros conforme apresenta Greengraass (2009).

## 2.7 Qualidade de Vídeo

O número de dispositivos capazes de operar em redes sem fio de comunicação tem aumentado de forma significativa desde a padronização das tecnologias de acesso as redes sem fio, principalmente com o protocolo IEEE 802.11. Como decorrência, a quantidade de informação digital que trafega sobre essas redes cresce de forma exponencial, e nesse sentido, as novas tecnologias de acesso têm provido uma largura de banda cada vez maior, minimizando a sobrecarga na rede.

Dentre as informações consideradas multimídias, as que têm ganhado destaque são os vídeos transmitidos sobre a rede de comunicação, conhecidos como *streaming* de vídeo, devido a popularização dos serviços que fornecem conteúdo de *streaming* de vídeo. Entretanto, neste trabalho utilizamos a transmissão de um vídeo com o formato IUV já citado.

## 2.8 Resoluções de Vídeos

Quando se trata de avaliar a qualidade de vídeos, temos como principal fator a resolução desses vídeos, pois desempenha um papel fundamental na hora da avaliação. O vídeo digital é dimensionado conforme alguns grupos de resoluções. Geralmente, a padronização das dimensões segue orientações para TV Digital. No entanto, existem resoluções que se adéquam apenas para a indústria do cinema.

A resolução, no geral, define a largura e altura de exibição da imagem. As resoluções são subdivididas em categorias, das quais podemos citar a *High Definition* (HD ou 720p), *Full*

HD (1080p) 4K HD (2160p) dentre outras. Utilizamos a resolução CIF para os vídeos (352X288) simulados.

## **2.9 Framework evalvid**

O evalvid podemos considerar como uma estrutura completa e um conjunto de ferramentas capaz de avaliar a qualidade percebida pelo usuário na qualidade do vídeo transmitido através de uma comunicação real ou simulada rede no fluxo de multimídia de vídeo. A ferramenta possibilita desenvolver métricas objetivas de avaliação de vídeo suportando vários *codecs* de vídeo.

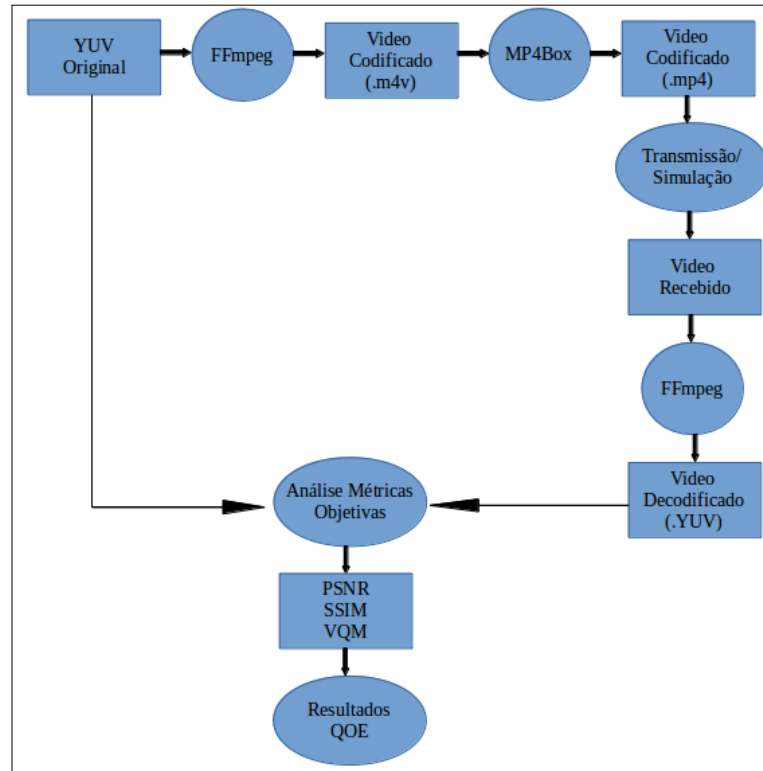
A distribuição do evalvid para NS-3 tem como objetivo implementar teste de QoS / QoE no simulador. O problema é que este módulo não está completo. Isto funciona apenas como um aplicativo servidor-cliente, portanto, ele suporta apenas dois nós por execução. Há muitas maneiras que alguém pode usar para criar uma topologia que suporte muitos clientes com aplicações de servidor, mas no mundo real, um servidor deve servir mais de um cliente. Outra limitação a ser considerada é que o *framework* evalvid para NS-3 não apoiar a avaliação dentro do módulo para que uma implementação externa da ferramenta ser usado (THOMAS, 2017).

No entanto, utilizamos somente teste de QoE de uma transmissão de vídeo em uma rede mesh usando evalvid para avaliar a precisão do módulo.

## **2.10 Codificação Decodificação Transmissão e Análise dos Vídeos**

Na figura 2 abaixo temos as etapas da sequência de como seguirá o processo de codificação, decodificação, transmissão e análise dos vídeos nas simulações. No primeiro momento, tem-se a codificação do arquivo de vídeo original no formato YUV até chegar no formato MP4. Depois, seguimos com a simulação da transmissão do vídeo na tecnologia de redes mesh utilizando o *Network Simulator 3* (NS-3). Outro passo importante está na decodificação do vídeo recebido para o formato YUV e por fim tem-se a análise de métricas objetivas do arquivo YUV original com o arquivo YUV recebido, fazendo o cálculo das métricas PSNR, SSIM e VQM.

**Figura 3:** Fluxo das etapas da avaliação da qualidade dos vídeos.



Fonte: (Autor, 2017).

### 2.10.1 Etapas iniciais do procedimento para avaliar a QoE

Para podermos fazer a avaliação de QoE usando o *framework* evalvid, o primeiro passo é baixar vídeos em qualquer repositório usado para estudos de avaliação de qualidade de vídeos. O próximo passo é converter o arquivo original de entrada para o formato MP4, no qual o arquivo contém os frames da amostra de vídeo. Os frames serão distribuídos em pacotes para a transmissão do vídeo com o protocolo de transporte (RTP) da seguinte forma:

```
$ MP4Box -hint -mtu 1024 -fps 30 -add arquivo_entrada arquivo_saida_cif.mp4
```

Nas métricas utilizadas no trabalho, é necessário o vídeo de referência, que é o arquivo YUV original para poder fazer a comparação com o vídeo degradado gerado na simulação. Agora geramos o arquivo de rastreamento de remetente (informações sobre tipos de quadros, segmentação de pacotes, etc.) da seguinte maneira:

```
$ ./mp4trace -f -s 192.168.0.2 12346 arquivo_entrada_cif.mp4> st_arquivo_saida_cif.st
```

Após a simulação da transmissão de um vídeo na rede mesh feita pelo NS3, obtemos dois arquivos: `sd_a01` e `rd_a01`, *dump* do receptor (receptor de despejo de pacotes IP) e o despejo remetente (remetente de despejo de pacote IP) respectivamente.

O próximo passo é a reconstrução do vídeo que possivelmente gerara um arquivo de vídeo corrompido devido à perda de frames, para isso, os arquivos de vídeo e rastreamento são processados pela ferramenta `etmp4` da seguinte forma:

```
$ ./etmp4 -f -0 sd_a01 rd_a01 st_arquivo_cif.st arquivo_cif.mp4 arquivo_out)
```

A última etapa é uma simples conversão do arquivo de saída MP4 para o formato YUV para poder fazer a comparação com o original e fazer o cálculo das métricas objetivas de QoE:

```
$ ffmpeg -i arquivo_out.mp4 arquivo_out.yuv
```

## CAPÍTULO 3

### Trabalhos Relacionados

Para este trabalho foram escolhidas algumas pesquisas bibliográficas. Para realização deste trabalho nos apoiamos em alguns conceitos embasados no trabalho já citados.

Musti (2012), compara três vídeos com dez vídeos distorcidos correspondendo para cada vídeo utilizando a ferramenta evalvid. Mostrando um problema no resultado na métrica PSNR com a presença do 0. O autor destaca que como a diferença entre a ferramenta e a média condicional é muito baixa, recomenda usar o SSIM do que o PSNR, o que ajudará a dar um melhor resultado usando o evalVid para melhorar a QoE.

No trabalho de Costa (2014), ressalta que as técnicas tradicionais no qual tentam maximizar o nível da qualidade de aplicações multimídias, estão somente focadas somente no desempenho da rede, em métricas de qualidade de serviço. No entanto, parâmetros de qualidade de serviço falham ao capturar aspectos subjetivos referente a percepção humana. Conseqüentemente, a qualidade de experiência tenta ajudar na avaliação de aplicações multimídias na percepção do usuário. As métricas objetivas de avaliação de experiência possuem características que realiza a estimativa do vídeo recebido pelo usuário, através de modelos matemáticos.

Para Junior (2013), que estuda uma modelo para previsão de qualidade de experiência na transmissão de vídeo sobre IP, ressalta os fatores de degradação da QoE. Temos na transmissão de dados e vídeos sobre a rede IP, os equipamentos instalados no caminho da rede podem afetar atrasos e perdas de pacotes, sendo essa afetando negativamente a qualidade de experiência, no qual cita um estudo sobre o impacto da perda de pacotes na QoE. A partir da análise das simulações, o trabalho apresentou os efeitos da degradação da QoE em diversos cenários testados através da transmissão de vídeo, criando desta forma um modelo de previsão da qualidade de experiência considerando uma hipótese básica, no qual os fluxos são transmitidos em um agregado de tráfego.

## CAPÍTULO 4

### Modelagem da Simulação

#### 4.2 Base de dados de vídeos

A base de dados dos vídeos utilizado neste trabalho podem ser baixados em qualquer repositório usado para estudos de avaliação de qualidade de vídeos. A seguir tem-se a tabela com as especificações dos vídeos. Nos experimentos realizados nas simulações, utilizamos vídeos no formato YUV, no qual é um padrão derivado do RGB, em que Y representa a luminosidade (luminância), U representa a informação da cor azul e V representa a informação da cor vermelha. Utilizamos dois vídeos para as simulações como mostra a figura 3, o *Tempete* e na figura 4 o *Walterfall*.

**Figura 4:** Imagem do vídeo original de *Tempete*.



Fonte: (Autor, 2017).

**Figura 5:** Imagem do vídeo original *Waterfall*.



Fonte: (Autor, 2017).

**Tabela 1:** Especificações dos Vídeos.

Arquivo de Vídeo	Waterfall	Tempete
Tamanho	39.5 MB	39.5 MB
Comprimento (Segundos)	9	9
Exibição Resolução	CIF (352 x 288)	CIF (352 x 288)
Taxa de Quadro (FPS)	29	29

Na tabela 1 tem-se as especificações dos vídeos utilizados como: tamanho do arquivo YUV em MB, comprimento em segundos, taxa de quadros e resolução. Quando se trata de avaliar a qualidade de vídeos, temos como principal fator a resolução desses vídeos, pois desempenha um papel fundamental na hora da avaliação. Utilizamos a resolução CIF para os vídeos (352X288) simulados.

## 4.3 Simuladores de Rede

### 4.3.1 NS-3

Utilizamos como estudo neste trabalho o simulador de eventos discretos, o *Network Simulator 3* (NS-3). Em tal software, foi incluído um módulo, denominado *evalvid*, para analisar métricas objetivas de transmissão de vídeos.

Segundo Kottas (2017) o NS-3 é uma ferramenta muito forte e flexível que simula topologias de rede. NS-3 foi desenvolvido para pesquisa em rede e para a educação. As redes de dados por pacotes funcionam e em uma ampla gama de redes bem conhecidas. A característica mais notável do NS-3 é que ele não está limitado a sistemas da Internet, mas os usuários usam o NS-3 para modelar sistemas não baseados na Internet. Indo mais a fundo, o NS-3 é construído como um sistema de bibliotecas de *software* que funcionam em conjunto.

## 4.4 Geradores de Mobilidade

### 4.4.1 Simulação de Mobilidade Urbana SUMO (*Simulation of Urban Mobility*)

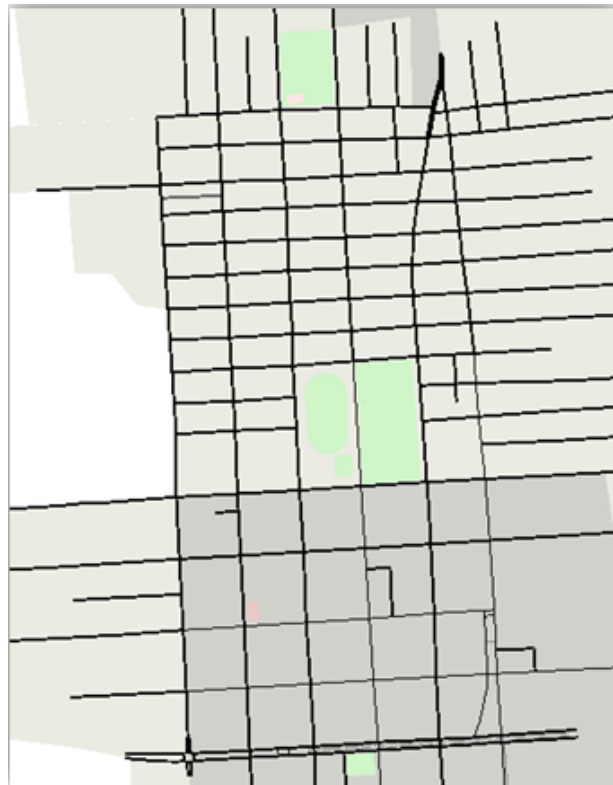
No trabalho fizemos a utilização de modelos de mobilidade urbana realísticos gerados através do simulador SUMO (*Simulation of Urban Mobility*), com base em áreas urbanas da região paraense, especificamente da cidade de Castanhal. O SUMO é uma fonte aberta, que oferece muitos recursos como simulação microscópica, simulação de tráfego multimodal e permite simular determinada demanda de tráfego em veículos individuais que se movem através de uma determinada rede rodoviária. Podemos caracteriza-lo como microscópico, pois cada veículo é modelado explicitamente, tendo uma rota própria e se move individualmente pela rede.

A simulação exige como entrada as rotas (*routes*) e uma rede (*network*), que é o ambiente onde a simulação ocorre, descrita em arquivo de formato XML. Uma rede é composta por nós (*nodes* ou cruzamentos), vias (*edges*), tipos (*types*), tanto de vias como de veículos, e conexões (*connections*) entre as faixas de uma via (HEIJMEIJER, 2016).

O SUMO possui diversas características, entretanto uma das principais características são:

- Movimento de veículo com espaço contínuo e tempo-discreto
- Diferentes tipos de veículos
- Importação de Rede
- Rotas microscópicas - cada veículo tem um próprio
- Inclui os aplicativos necessários para preparar e executar uma simulação de tráfego (importação de rede e rotas)

**Figura 6:** Simulador de Tráfego Sumo.



Fonte: (Autor, 2018).

No entanto, uma vez que o SUMO é um gerador de tráfego puro, seus arquivos de mobilidade gerados não podem ser utilizados diretamente pelos simuladores de rede disponíveis, o que é um defeito grave, conforme explica o autor (MARTINEZ et. al., 2011).

Temos as principais etapas para gerar o arquivo de rastreamento;

1. Criar um arquivo a ser nomeado como “**sumo.cfg**” no qual podemos executar com o “sumo-gui” direto no terminal e veremos conforme a figura 6 acima.
2. Depois exportamos para NS2 do rastreamento de sumo para NS3,
3. No final gerara três arquivos “.tcl” que o utilizado é pelo NS3 é o “**mobility.tcl**” no qual colocamos na simulação o diretório onde está o arquivo.

#### 4.5 OpenStreetMap

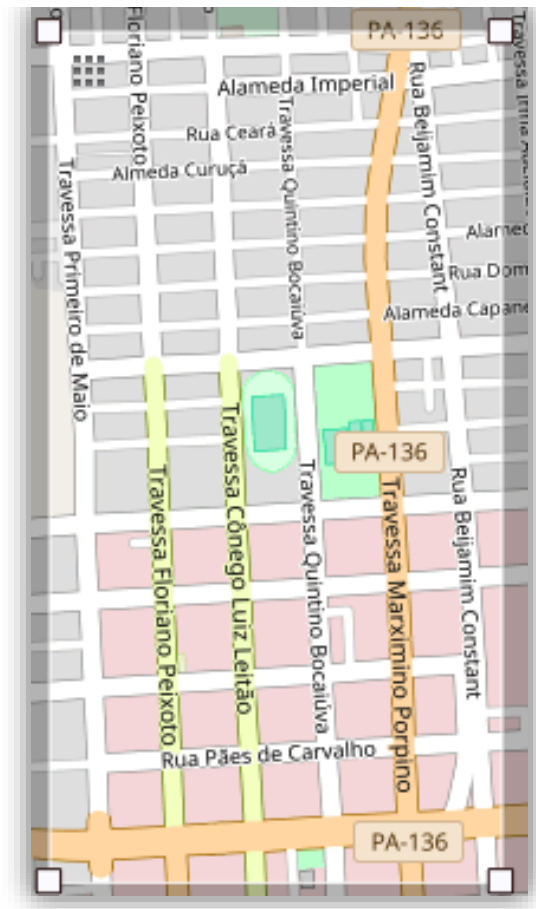
O *OpenStreetMap* (OSM) é um projeto de *crowdsourcing* espacial criado no ano de 2004 com o objetivo de se criar um mapa livre e editável do mundo construído por voluntários, em grande parte a partir do zero e lançado com uma licença de conteúdo aberto.

Com intuito de aproximar ao máximo a avaliação dos resultados em simuladores com o mundo real utilizamos a ferramenta para geração de mapas no formato (OSM) com dados geográficos. O *Open Street Map* fornece o arquivo “.osm” baseado em XML para qualquer parte do mundo selecionada por meio do seu site.

O primeiro passo é selecionar manualmente a área e depois exportamos, ele baixará um arquivo chamado “**map.osm**” e podemos renomear conforme desejamos. O arquivo com o formato OSM contém a descrição do mapa com riqueza de detalhes, temos também informações que descreve característica da via, como velocidade, número de faixas, etc.

Neste trabalho focamos a análise de cenários urbanos da cidade de Castanhal - Pará, já que esses cenários a densidade veicular esperada são alta, ao contrário do cenário rural. Além disso, nos cenários urbanos, os veículos estão sujeitos a congestionamentos o que raramente ocorre no cenário rural. Nossa seleção da área está localizada no bairro do estrela mostrado na figura 7 abaixo, no qual temos uma densidade veicular considerável. A produção de mapas pela ferramenta é coletada por voluntários que realizam pesquisas terrestres sistemáticas usando ferramentas como uma unidade GPS portátil, um *notebook*, uma câmera digital, dentre outras ferramentas.

**Figura 7:** Seleção da área utilizando OpenStreetMap.



Fonte: (Autor, 2018).

#### 4.6 Topologia da rede

Neste trabalho temos como modelo proposto de simulação, a finalidade de simular uma rede sem fio em malha, no qual temos como aplicação a transmissão de vídeo utilizando o simulador de redes de eventos discretos NS-3 com o módulo "ns3/evalvid-client-server-helper.h".

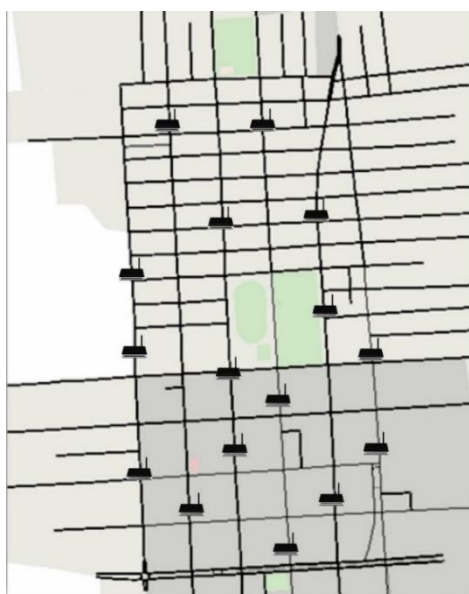
Como fase inicial para o modelo de simulação proposto visamos fazer a configuração da rede de modo geral, especificando todos os parâmetros necessários para o funcionamento da rede. Em vista disso, é importante ajustar todas as características na qual a topologia da rede necessita como: dimensão, distância entre os nós, tempo de simulação dentre outras características.

**Tabela 2:** Parâmetros do Cenário Proposto.

Parâmetros	Valor
Quantidade de Nós	16
Distância entre os nós	100 m
Tempo Total de Simulação	100s
MAC:	IEEE802.11s (Malha)
Número de Interfaces	1

A tabela 2 acima exhibe alguns parâmetros da simulação realizado no trabalho. Trabalhamos com o cenário padrão com topologia de grade quadrada com Pilha IEEE802.11s instalada em cada nó com gerenciamento de *peering* e protocolo HWMP. Entretanto utilizamos o gerador de mobilidade SUMO, no qual tivemos a alocação dos nós com posições aleatória diferente do padrão que é a grade com posição constante. O lado da célula é definido pelo parâmetro “m\_step”. Durante o processo de simulação, alguns desses parâmetros serão alterados com o propósito de avaliar o comportamento da rede. Na figura 8 abaixo temos a ilustração dos nós.

**Figura 8:** Topologia da rede do modelo de simulação proposto.



Fonte: (Autor, 2018).

Dentro da aplicação “*server*”, temos a geração do trace do vídeo, pois uma das formas para implementar a simulação da transmissão de vídeo é transformar o tráfego de pacotes em um arquivo de trace para o NS-3, ou seja, temos o arquivo “.st” no qual é o rastreamento do remetente (informações sobre tipos de quadros, segmentação de pacotes, etc.). Temos também o despejo do remetente (remetente de despejo de pacotes IP) definido como “sd\_a01\_mesh”. Já no lado do “*client*” temos o *Dump* do destinatário (receptor de despejo de pacotes IP) definido como “rd\_a01\_mesh”.

## CAPÍTULO 5

### Avaliação de desempenho

#### 5.1. Análise dos resultados

Agora iremos considerar os resultados das métricas PSNR, SSIM e VQM para efeito de avaliação do sinal de vídeo degradado em relação ao de referência. No caso das métricas PSNR e VQM valores altos são melhores e para a métrica VQM valores baixos são melhores. Nas tabelas e os gráficos que seguem estão representados os resultados das métricas mencionadas. Utilizamos o módulo evalvid para calcular as métricas de qualidade de experiência para os vídeos através de técnicas objetivas. Por outro lado, o arquivo MP4 e os arquivos de rastreamento correspondentes tanto para o lado de envio como para o destinatário, juntamente com o arquivo YUV original são necessários para avaliar a qualidade perceptual com o evalvid.

Os resultados de PSNR, SSIM e VQM ao final da transmissão são representados em planilhas eletrônicas. Os valores de PSNR são calculados para as componentes Y, U e V, bem como todos os valores de SSIM e PSNR são calculados e apresentados quadro a quadro.

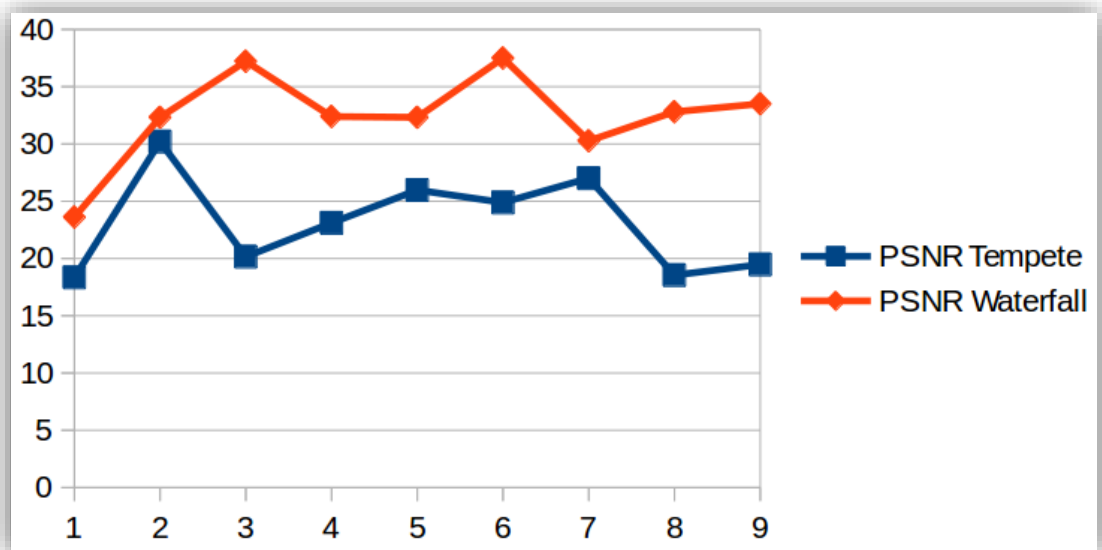
##### 5.1.2 Métrica Objetiva PSNR

Na tabela 3 abaixo temos os valores de PSNR (*Peak Signal to Noise Ratio*), Relação Sinal Ruído de Pico, que no caso é definido como a relação entre a máxima energia de um sinal e seu ruído. Sua unidade é representada em dB (decibel). Podemos observar que temos a média PSNR para cada frame por segundo (FPS), e que os dois vídeos possuem 260 frames. Quanto maior o valor do PSNR menor a degradação do vídeo, este pode variar de zero a infinito, porem normalmente se limita um valor máximo para o cálculo.

**Tabela 3:** Valores médios dos Frames da métrica PSNR.

Frames	PSNR	PSNR
	Tempete	Waterfall
29	18,3453321	23,6031321
58	30,2021255	32,3241814
87	20,1552493	37,2193617
116	23,1064659	32,3912269
145	25,9689545	32,3205655
174	24,8809876	37,4953497
203	27,0044141	30,2711172
232	18,5360434	32,8099814
260	19,4743411	33,5080321
<b>Média Geral</b>	<b>23,0748793</b>	<b>32,4381053</b>

**Figura 9:** Gráfico da métrica PSNR.



Fonte: (Autor 2017).

Percebe-se que no vídeo *Waterfall* temos uma média geral de PSNR maior que a do *Tempete*, ou seja, tivemos maior degradação na simulação do vídeo *Waterfall* segundo a métrica

PSNR. Na figura 8 acima temos o gráfico da métrica PSNR (dB) e os valores médios da métrica pelo comprimento dos vídeos em segundos no caso são 9 segundos.

### 5.1.2 Métrica Objetiva SSIM

A tabela 4 mostra os valores médios do SSIM na ferramenta evalvid. A métrica SSIM (*Structuralsimilarity*), índice de similaridade estrutural, conforme afirma Cantarutti (2013) é uma métrica objetiva, com referência completa e direta que leva em consideração a medição da distorção estrutural da imagem, diferente do PSNR que leva em conta a medição do erro.

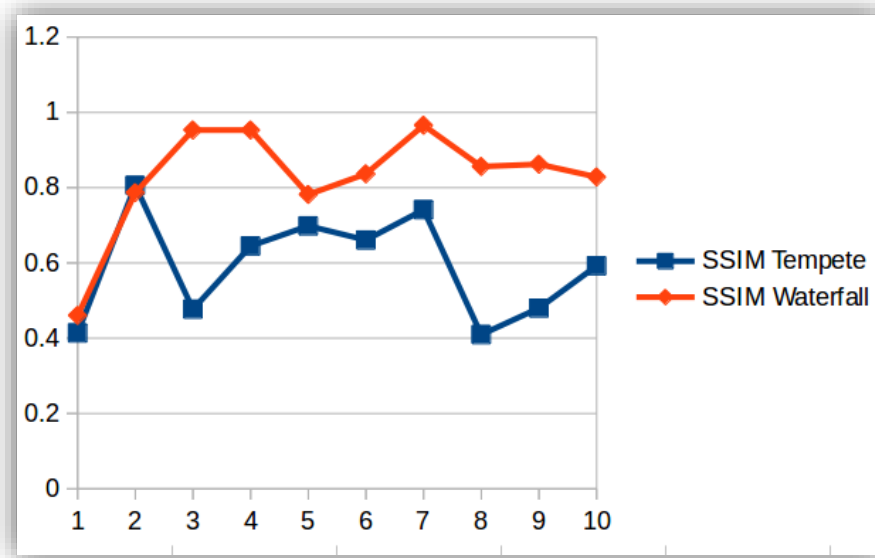
O método leva em conta a correlação de perdas, distorção de luminância e distorção de contraste para a medição da degradação. O valor de SSIM pode variar de 0 a 1, sendo que na variação 1, a imagem recebida é exatamente igual a imagem original, ou seja, não há degradação.

**Tabela 4:** Valores médios dos Frames da métrica SSIM.

Frames	SSIM	SSIM
	Tempete	Waterfall
29	0,41371724	0,4604069
58	0,80597828	0,78656414
87	0,47699655	0,95308034
116	0,64507897	0,95308034
145	0,69858103	0,78174897
174	0,66108	0,83659586
203	0,74146931	0,96581034
232	0,40950241	0,85620276
260	0,47986357	0,86231607
<b>Média Geral</b>	<b>0,59247415</b>	<b>0,82842286</b>

Com base nos resultados tabulados e também na figura 10 abaixo, percebe-se que a média geral para SSIM do vídeo *Waterfall* está próxima de 1, ou seja, significa correlação perfeita de duas imagens semelhantes. Na métrica SSIM indicam o *Tempete* como um vídeo de baixa qualidade em comparação com o *Waterfall*.

**Figura 10:** Gráfico da métrica SSIM.



Fonte: (Autor, 2017).

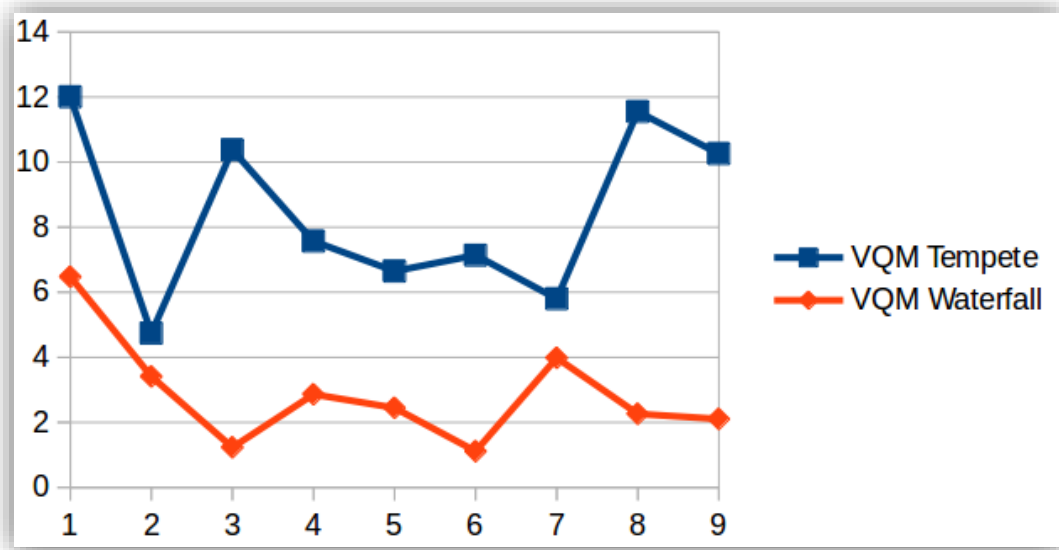
### 5.1.3 Métrica Objetiva VQM

Existem diversas fases para o cálculo de avaliação de qualidade da métrica VQM. A principal é a estimativa da medida de qualidade, segundo Begazo (2012), nesta fase final tem-se como objetivo calcular uma métrica de qualidade global através de uma combinação linear dos parâmetros calculados nas fases anteriores. A métrica VQM tem valores positivos a partir de 0, sendo 0 o melhor valor possível.

**Tabela 5:** Valores médios dos Frames da métrica VQM.

Frames	VQM	VQM
	Tempete	Waterfall
29	12,0080924	6,47490586
58	4,74275414	3,4113569
87	10,3763	1,23076448
116	7,56969828	2,8618969
145	6,64993828	2,44459621
174	7,14088759	1,11195207
203	5,79995897	3,98302345
232	11,550781	2,26015448
260	10,2563118	2,10301607
<b>Média Geral</b>	<b>8,45496916</b>	<b>2,87574071</b>

**Figura 11:** Gráfico da métrica VQM.



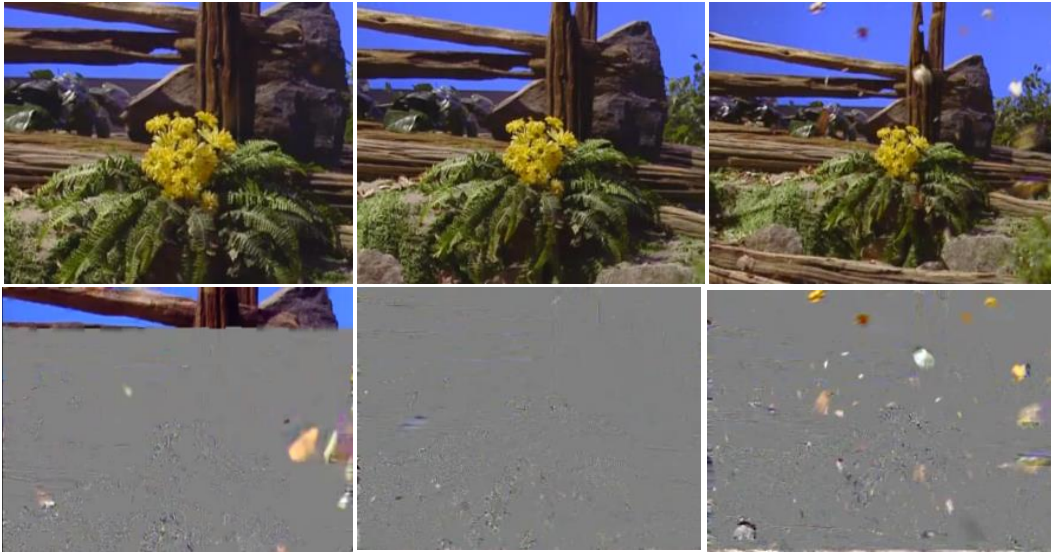
**Fonte:** (Autor 2017).

Segundo os dados mostrados na tabela 5 e na figura 11 acima, a média VQM para o vídeo *Waterfall* está próxima do melhor valor possível, tendo pouca degradação. Já o vídeo *Tempete* teve uma média acima comparado ao outro vídeo citado. Isso demonstra que em comparação a outras métricas citadas, também sofrem uma degradação bastante considerável. A métrica também usa o vídeo original e o degradado como entradas para avaliar a qualidade de vídeo.

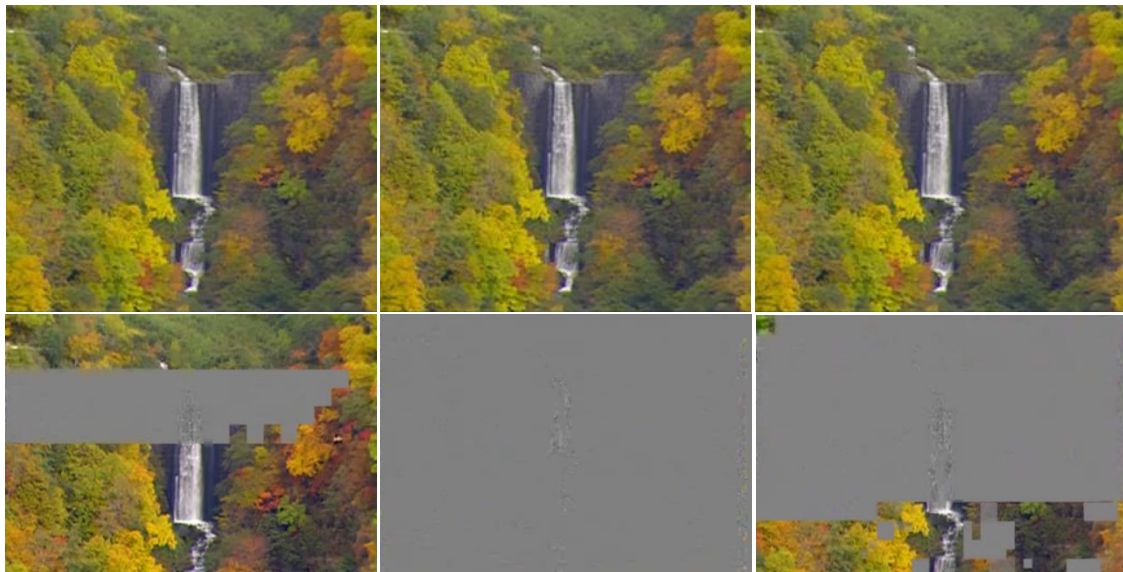
## 5.2 Degradação dos Frames no Cenário Simulado

Com base nos resultados tabulados e os gráficos podemos considerar os resultados das métricas PSNR, SSIM e VQM para efeito de avaliação do sinal de vídeo original com o vídeo após a simulação, percebe-se. Tanto o PSNR, VQM, SSIM indicam o *Tempete* como um vídeo de baixa qualidade em comparação com o *Waterfall*. O *Tempete* sofre maior degradação no processo de simulação logo observado no 1º segundo do vídeo uma degradação nos frames conforme mostra a Figura 12 abaixo.

**Figura 12:** Frames do vídeo *Tempete* após a simulação.



**Figura 13:** Frames do vídeo *Waterfall* após a simulação.



## CAPÍTULO 6

### Conclusão

Escrever sobre transmissão de vídeo com provisionamento de qualidade de experiência se tornou uma tarefa desafiadora, visto que, poucos estudos têm sido realizados em redes mesh, a respeito dessa temática, com base em pressupostos teóricos.

A partir das observações das temáticas abordadas neste trabalho, verificou-se a existência de pesquisas a respeito das métricas objetivas de QoE, mas com maior predominância na perspectiva descritiva das *Streaming* de Vídeo, pois é bastante utilizada atualmente devido as suas principais motivações do uso de sistemas multimídia.

Considerando as três métricas utilizadas, observa-se que somente na métrica PSNR a simulação dos vídeos resultantes tivemos uma média geral maior de um dos vídeos comparados afetando diretamente a perda de qualidade tendo maior degradação.

Diante disso, percebemos a necessidade de realizar a pesquisa bibliográfica com objetivo de analisar às métricas objetivas de QoE, visto que ela utiliza modelos matemáticos para fazer a avaliação dos vídeos. As métricas objetivas complementam as métricas subjetivas que não foram realizadas neste trabalho.

Certamente, esta pesquisa irá contribuir para a sociedade tecnológica, principalmente para a área da multimídia e redes, visto que poderá servir de base para outros estudos a respeito de qualidade de experiência, haja vista que, apesar de ser realizado em uma rede mesh, ainda são muito tímidos os trabalhos realizados nos meios de multimídias com qualidade de experiência utilizando o simulador NS-3.

## REFERÊNCIAS

BRUNET, D., E. R. VRSCAY, e Z. WANG. **On the Mathematical Properties of the Structural Similarity Index**. IEEE Transactions on Image Processing, 2012.

GREENGRASS, J., EVANS, J.; BEGEN, A. C. **Not all packets are equal, part I**. IEEE Internet Computing, Vol.:13, 2009.

KOTTAS, F. T. **Evaluation of LTE networks using NS-3 and Evalvid**, 2017.

MARTINS, D., S. PINHEIRO. **Avaliação Da Qualidade De Streaming De Vídeo Em Sistemas Lte**, Curitiba 2014.

MUSTI, V. **Evaluation of Video Quality of Experience using EvalVid**, 2012.

AKYILDIZ I. F., X. W.; WANG, W. **Wireless mesh networks: a survey**. Computer Networks, Akyldiz, v. 47, n. 4, p. 445—487, 2005.

CERQUEIRA, G. **Métricas de Qualidade de Vídeo com Características Top-Down de Atenção Visual**, 2014.

JUNIOR. **Um Mecanismo para Realçar a Conectividade de Roteamento Geográfico na Transmissão Multimídias em Vants**. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal do Pará. Belém-PA, 2014.

JUNIOR. **Modelo para Previsão da Qualidade de Experiência na Transmissão de Vídeo Sobre IP**. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2013.

MUSTI. **Evaluation of Video Quality of Experience using EvalVid**, 2012.

**APÊNDICE A** - O apêndice consiste nos resultados tabelados de 260 *frames*, tabulados em 29 FPS pelo tamanho do vídeo em segundos no 9s do vídeo *Tempete*.

**Tabela 6:** Vídeo *Tempete* – valores de PSNR dos 260 *frames*.

<b>29</b>	<b>58</b>	<b>87</b>	<b>116</b>	<b>145</b>	<b>174</b>	<b>203</b>	<b>232</b>	<b>260</b>
36,22397	15,57091	35,12255	16,85773	17,89416	16,68535	17,83799	17,07609	35,32321
26,55012	15,77393	32,89664	16,93053	18,59721	16,3842	17,38198	16,87186	24,97484
23,18305	16,07494	38,84903	16,93163	18,63946	16,39402	18,36037	16,70613	21,50716
21,27281	15,9899	26,73348	16,98245	18,51902	16,25149	18,34432	16,53614	19,95019
20,30155	16,10852	23,36036	16,6862	38,55765	16,6693	18,43202	16,40799	19,05617
19,54011	16,07923	21,45463	16,98175	34,07115	16,66905	18,3756	16,27675	18,4551
18,96806	16,13603	20,1416	17,09383	35,30236	16,78631	38,6494	16,17523	17,9995
18,51475	38,70215	19,41488	17,08591	33,95944	16,76713	34,13506	16,08364	17,68345
18,11875	34,4036	18,99067	17,09731	35,25262	16,88239	35,53312	15,97532	17,19428
17,72597	35,43914	18,50735	38,74769	33,72216	16,84577	34,02157	15,88377	17,05575
17,44219	34,16245	18,10575	34,1691	35,03062	16,86399	35,49501	15,83426	16,87293
17,23725	35,53682	17,83365	35,43259	33,67004	38,32416	33,88925	15,73643	16,72632
17,09704	34,02069	17,4339	26,73124	34,84618	33,59811	35,31561	15,653	16,55732
16,8	35,47878	17,90626	22,8356	33,58161	35,0962	33,94112	15,51284	16,4236
16,57016	33,94448	17,03853	25,38882	34,85103	33,62523	35,34976	15,50546	16,33899
16,60868	35,4488	17,19212	25,78422	32,91475	35,11213	33,9024	15,45264	16,22955
16,67891	34,03338	17,18397	25,18136	37,99558	33,62302	35,30005	15,42	16,04747
16,60712	35,43523	17,26575	25,13983	23,7843	35,24674	33,29528	15,38361	16,09832
16,49526	33,1436	17,25544	25,48483	21,57184	33,67023	38,80479	15,34929	15,99995
15,94401	38,80704	17,33044	25,11365	20,31797	35,18961	25,24421	15,28527	16,10791
16,14192	27,87864	17,30799	25,23878	19,17743	33,63833	35,46533	15,21953	37,92142
16,33072	35,55518	17,40898	38,56464	18,99036	35,27539	24,45681	15,17949	23,32258
16,20719	34,31229	17,38943	24,65072	18,21035	33,10587	21,6529	15,3718	20,6427
16,2471	35,36181	17,20479	22,24343	17,85682	24,67803	20,03198	15,32446	19,29231
15,99205	34,08664	17,46114	20,67898	17,42865	21,84425	18,95601	15,36909	18,41951
15,87321	35,30941	17,34969	19,90614	17,32625	20,21719	18,23301	38,75081	17,98455
15,7475	33,90574	17,02278	19,21539	17,21436	19,30227	17,88177	34,04799	17,64441
15,87675	35,25535	16,78338	18,72719	17,01111	18,67783	17,57117	35,31994	17,45206
15,71843	33,90696	16,55705	18,20597	16,8052	18,12505	17,27012	33,83643	

**Tabela 7:** Vídeo Tempete – valores de SSIM dos 260 frames.

<b>29</b>	<b>58</b>	<b>87</b>	<b>116</b>	<b>145</b>	<b>174</b>	<b>203</b>	<b>232</b>	<b>260</b>
0,9697	0,27434	0,9688	0,31436	0,40406	0,33478	0,4266	0,37447	0,97113
0,88472	0,27172	0,95565	0,3336	0,45492	0,32474	0,39857	0,3659	0,84176
0,76406	0,30291	0,98223	0,33884	0,47465	0,32224	0,48857	0,35627	0,67489
0,66074	0,31219	0,88565	0,35037	0,46373	0,31653	0,48406	0,3478	0,56416
0,58804	0,31336	0,76434	0,32161	0,98125	0,35887	0,49913	0,34167	0,50096
0,53063	0,32543	0,6593	0,35821	0,96389	0,36949	0,4936	0,33584	0,46019
0,4785	0,32767	0,56152	0,36395	0,96975	0,37327	0,98287	0,33104	0,42606
0,43898	0,98119	0,49424	0,3731	0,96331	0,3876	0,96614	0,32527	0,40592
0,40877	0,96642	0,45092	0,36574	0,96893	0,39607	0,97135	0,32103	0,38573
0,37962	0,97032	0,41242	0,9821	0,96111	0,39995	0,96386	0,31661	0,37544
0,36015	0,96589	0,38444	0,96466	0,96863	0,39215	0,97102	0,31651	0,36104
0,34523	0,97089	0,3657	0,96973	0,9594	0,98083	0,96414	0,31238	0,35019
0,33594	0,96427	0,34432	0,87537	0,96603	0,96071	0,97069	0,30682	0,34763
0,3259	0,97065	0,35936	0,73593	0,95894	0,96848	0,96404	0,30331	0,33709
0,32591	0,96427	0,32134	0,84434	0,96623	0,96197	0,97094	0,30306	0,32975
0,32351	0,97034	0,3356	0,86483	0,9554	0,96951	0,96475	0,30044	0,32746
0,31884	0,96423	0,34631	0,83662	0,98019	0,9614	0,97048	0,2985	0,32592
0,31781	0,9705	0,35175	0,84478	0,8377	0,96897	0,96121	0,29645	0,32958
0,31545	0,95876	0,35856	0,84991	0,70962	0,9618	0,98339	0,2934	0,31712
0,3055	0,98218	0,36343	0,84498	0,61261	0,9693	0,85461	0,28912	0,34462
0,30071	0,9086	0,3691	0,84317	0,53692	0,96145	0,97288	0,28928	0,98053
0,3012	0,97172	0,37318	0,98169	0,48775	0,96943	0,84964	0,28605	0,77553
0,30193	0,96633	0,37939	0,86167	0,44252	0,95845	0,69703	0,31471	0,60677
0,30401	0,97035	0,35605	0,72625	0,41668	0,83957	0,57911	0,32844	0,50115
0,29107	0,96399	0,38879	0,62221	0,39514	0,70624	0,50096	0,33293	0,4401
0,28679	0,96951	0,36812	0,55315	0,38288	0,59617	0,44993	0,98372	0,40608
0,28137	0,96311	0,33232	0,49901	0,37387	0,52736	0,41839	0,96771	0,38301
0,27862	0,96923	0,30903	0,46017	0,35928	0,48237	0,39983	0,97174	0,36637
0,2741	0,963	0,29104	0,42694	0,34346	0,45162	0,38482	0,9651	

**Tabela 8:** Vídeo Tempete – valores de VQM dos 260 frames.

<b>29</b>	<b>58</b>	<b>87</b>	<b>116</b>	<b>145</b>	<b>174</b>	<b>203</b>	<b>232</b>	<b>260</b>
1,43069	15,20974	1,54732	12,30362	10,94311	12,35025	10,68183	11,9543	1,42035
6,42863	14,5865	1,96775	12,26665	10,23745	14,18519	11,37059	12,21851	6,45841
6,53449	13,6155	1,08035	12,12302	10,14098	13,02281	9,85845	12,2659	7,69283
7,79516	13,85655	6,17122	11,89657	10,27119	12,76817	9,89262	12,48361	8,52818
7,55604	13,7062	7,43416	13,28604	1,06831	12,34959	9,8887	12,47481	9,183
9,21841	13,76739	9,46575	11,77437	1,63747	12,29682	9,93061	12,5502	9,6605
9,81666	13,69451	9,90248	11,54678	1,49448	11,88578	1,0329	12,59497	10,03254
9,34267	1,13237	9,98201	11,52781	1,72469	11,66643	1,68064	12,68895	10,36846
10,08562	1,63812	10,34052	11,83429	1,47771	11,59528	1,44531	12,93536	11,24206
10,76307	1,51078	10,76919	1,05516	1,74493	11,64146	1,65012	13,07422	11,43919
12,00019	1,73267	11,12388	1,70738	1,5143	11,66165	1,41245	13,10636	11,65202
12,16486	1,5515	11,38825	1,49219	1,77674	1,07193	1,66323	13,11135	11,77834
12,10685	1,78683	12,69425	4,08646	1,59234	1,75914	1,44083	13,27913	11,92109
13,69058	1,51407	11,64858	5,86232	1,79796	1,49911	1,66453	14,27654	12,59654
15,85679	1,78916	12,12394	4,55395	1,57538	1,76996	1,42787	13,63969	13,08554
13,65386	1,54899	12,01161	4,05906	1,86162	1,5243	1,67735	13,5772	13,40421
13,24802	1,76975	12,27254	4,40769	1,1089	1,70619	1,42212	13,63009	13,98948
13,48148	1,50588	12,27822	4,19268	7,05173	1,52697	1,7748	13,68585	13,66072
13,69223	1,89587	12,41236	4,31391	9,16584	1,80817	0,99761	13,68457	13,65688
15,70951	1,09136	12,38439	5,70706	9,43734	1,50486	4,71613	13,75493	13,41051
15,25308	5,62546	12,42597	4,36118	11,57677	1,76968	1,39855	13,81055	1,10518
14,3881	1,46531	12,23012	1,06883	10,03507	1,48686	7,23628	13,87276	7,72243
14,39502	1,77182	12,2053	6,58063	12,35017	1,86578	8,6891	13,41368	9,13727
14,26226	1,51417	12,47136	7,69573	11,19199	6,34863	9,65372	13,54837	10,01556
14,3512	1,71684	12,00087	8,64536	12,64728	7,62058	10,33136	13,61881	10,58101
15,17207	1,51365	12,17888	10,59089	11,79136	8,76595	10,74822	0,97869	10,91614
16,46308	1,76092	12,55779	9,76493	11,62194	9,3884	11,21371	1,67685	11,19225
14,38467	1,54448	12,80727	10,16917	11,84571	9,89024	11,52078	1,39879	11,32604
14,98939	1,72348	13,03637	10,64752	12,16545	10,35556	11,7784	1,66761	

**APÊNDICE B** - O apêndice consiste nos resultados tabelados de 260 *frames*, tabulados em 29 FPS pelo tamanho do vídeo em segundos no 9s do vídeo *Waterfall*.

**Tabela 9:** Vídeo *Waterfall* – valores de PSNR dos 260 *frames*.

<b>29</b>	<b>58</b>	<b>87</b>	<b>116</b>	<b>145</b>	<b>174</b>	<b>203</b>	<b>232</b>	<b>260</b>
38,02199	20,60076	28,18583	32,45408	37,20126	37,96164	36,93301	21,18318	37,49217
33,80102	20,50794	27,54556	37,70145	37,59633	37,56211	37,36506	40,08929	37,13865
29,04191	20,60492	40,3239	37,59835	36,76436	37,7235	36,91509	32,39889	37,33238
28,14597	20,56197	38,53582	37,49451	35,7603	37,26102	37,3003	28,31475	37,02468
26,48044	20,61146	37,88131	37,06087	40,60101	37,25456	36,91729	26,10788	37,09455
25,37029	20,59978	37,54772	37,49223	38,17206	37,57821	37,36924	24,85587	36,78344
25,02934	20,60294	37,8325	36,89657	37,66605	36,89072	39,78042	26,44074	37,16358
24,18068	40,50345	37,52972	37,36801	37,78678	37,12503	37,43952	27,23085	35,7202
23,6856	38,49059	37,77459	35,92669	37,40292	37,49846	37,25216	27,09559	40,18607
23,39941	37,90875	37,367	40,33052	37,25145	36,58822	36,92188	27,09082	37,79477
22,90733	37,58977	37,60342	31,22814	37,59294	35,69652	37,21814	27,02506	37,49657
22,73579	37,99974	37,28926	27,04836	32,57172	40,3945	36,78352	26,89341	32,90199
22,39314	37,36976	37,6483	25,14369	37,08398	37,80233	37,24551	26,70496	37,34909
22,2121	37,48032	36,05299	24,20702	37,42265	37,46307	36,77044	40,20155	31,54897
21,93544	37,77181	40,4448	23,40595	33,02595	37,63623	37,34114	37,97245	28,27994
21,78921	37,4582	38,39308	22,81118	29,84013	37,15287	31,6015	37,53777	26,20459
21,57946	37,60761	37,9633	22,49002	27,36746	37,07731	28,04768	37,30832	24,67832
21,50747	37,50098	37,79763	22,2528	26,15063	37,33574	25,81631	37,41295	23,6434
21,39399	37,64432	37,90382	22,15747	24,95229	36,98406	21,09023	37,26044	23,10566
21,30574	40,34232	37,56549	21,97981	25,6949	37,36204	21,12501	37,32007	22,73542
21,10664	38,23421	37,75402	21,97843	26,03749	36,82867	21,12904	33,61854	39,40613
21,05313	37,89655	37,52677	40,69164	26,19519	36,91312	21,16655	29,14162	37,50142
21,00342	33,74951	37,62677	38,15773	26,14018	37,41257	21,13199	37,23915	37,02172
20,73788	38,00937	37,26129	37,69732	26,07992	40,32922	21,1825	36,3057	36,82092
20,84977	34,64185	37,6118	37,91917	26,15204	37,79343	21,15911	36,04298	36,56973
20,86557	31,59608	36,01273	37,41653	26,18778	37,66737	21,22955	40,06401	32,65596
20,67939	28,42274	40,38305	37,48197	26,19018	37,39635	21,22296	37,8154	28,24314
20,63245	27,15977	38,13702	37,73962	25,9231	37,62273	21,19107	37,5482	28,33144
20,64626	27,93379	37,862	37,21545	40,48535	37,05354	21,21618	37,26902	

**Tabela 10:** Vídeo Waterfall – valores de SSIM dos 260 *frames*.

<b>29</b>	<b>58</b>	<b>87</b>	<b>116</b>	<b>145</b>	<b>174</b>	<b>203</b>	<b>232</b>	<b>260</b>
0,96275	0,315	0,78633	0,91482	0,96295	0,969	0,96334	0,3451	0,96709
0,92966	0,31243	0,75284	0,96616	0,96523	0,96634	0,9656	0,97956	0,96554
0,82807	0,31993	0,97892	0,96574	0,96115	0,96753	0,96303	0,91512	0,96594
0,7861	0,3168	0,97041	0,96446	0,95378	0,9655	0,9647	0,79954	0,96444
0,69828	0,32292	0,96686	0,9615	0,98067	0,96503	0,96279	0,67916	0,96452
0,62692	0,32439	0,96537	0,96348	0,96929	0,9661	0,9654	0,58231	0,96352
0,59432	0,32514	0,96672	0,95961	0,96702	0,96218	0,97746	0,70819	0,96471
0,52992	0,97965	0,96522	0,96194	0,96712	0,96412	0,96568	0,76076	0,95455
0,48258	0,97066	0,96628	0,95291	0,96516	0,96544	0,96382	0,75029	0,98023
0,45368	0,96707	0,96376	0,9785	0,9645	0,96019	0,96226	0,75453	0,96892
0,41904	0,96601	0,96504	0,88261	0,96618	0,95308	0,96335	0,75034	0,96742
0,41158	0,96778	0,96308	0,72029	0,91478	0,98007	0,96165	0,74459	0,92403
0,38403	0,96424	0,96504	0,5901	0,9629	0,96785	0,96327	0,73186	0,96646
0,37478	0,96463	0,95472	0,50663	0,9645	0,96663	0,962	0,98057	0,90099
0,36059	0,96643	0,97945	0,43605	0,92344	0,96696	0,96464	0,97052	0,79935
0,35409	0,96371	0,97037	0,38898	0,85311	0,9644	0,89799	0,96794	0,6865
0,33793	0,96498	0,96733	0,37141	0,75264	0,96386	0,78696	0,96704	0,57161
0,33704	0,96443	0,96636	0,35864	0,67307	0,96487	0,65551	0,96719	0,47722
0,33163	0,96496	0,96723	0,36509	0,58045	0,96323	0,32067	0,96697	0,43257
0,32924	0,97903	0,9651	0,35557	0,64315	0,96501	0,32392	0,96666	0,40104
0,31749	0,96896	0,96571	0,35826	0,66861	0,96117	0,32776	0,93816	0,97657
0,31585	0,96701	0,96448	0,98103	0,67941	0,96205	0,32981	0,83524	0,9674
0,31503	0,93371	0,96504	0,97013	0,67476	0,96483	0,33138	0,96598	0,96417
0,30575	0,96795	0,96303	0,96748	0,67136	0,97998	0,33431	0,96027	0,96369
0,31158	0,94308	0,96477	0,96819	0,67579	0,96793	0,33631	0,95906	0,96111
0,31493	0,8997	0,95468	0,9656	0,6803	0,96731	0,34266	0,97947	0,92582
0,31224	0,80381	0,97923	0,96564	0,67969	0,96642	0,34259	0,9693	0,79862
0,31172	0,73421	0,969	0,96647	0,65993	0,9671	0,34356	0,96762	0,80082
0,31498	0,77174	0,96696	0,96343	0,98034	0,96432	0,34522	0,96654	

**Tabela 11:** Vídeo Waterfall – valores de VQM dos 260 frames.

<b>29</b>	<b>58</b>	<b>87</b>	<b>116</b>	<b>145</b>	<b>174</b>	<b>203</b>	<b>232</b>	<b>260</b>
1,10837	9,67334	3,26757	1,89838	1,14092	1,04417	1,15279	7,78676	1,09493
1,70223	9,69802	3,50053	1,06065	1,08838	1,0849	1,11239	0,83462	1,14954
2,80818	9,61973	0,85996	1,09372	1,20627	1,07001	1,20589	1,93071	1,10661
3,03712	9,68009	0,98778	1,08589	1,33804	1,12961	1,12246	2,94651	1,1604
3,67235	9,44448	1,03637	1,1978	0,81219	1,14905	1,17137	3,77913	1,15334
4,11695	9,43692	1,10138	1,09022	1,03164	1,0926	1,11039	4,42872	1,22385
4,40527	9,42999	1,05022	1,19151	1,08422	1,18496	0,88856	3,6146	1,15411
4,84283	0,81545	1,10843	1,11461	1,05122	1,14251	1,09118	3,2763	1,34233
5,15062	0,99628	1,08113	1,32736	1,09859	1,07993	1,13278	3,38005	0,84818
5,38933	1,04259	1,14592	0,85169	1,14068	1,20337	1,21291	3,33487	1,06211
5,64155	1,08286	1,08276	2,28646	1,08646	1,30983	1,11752	3,311	1,12091
5,70953	1,02782	1,14431	3,80658	1,96371	0,83686	1,17871	3,41437	1,81594
6,0476	1,12421	1,0857	4,80597	1,15442	1,07671	1,12346	3,58039	1,13946
6,32819	1,178	1,27619	5,44304	1,10677	1,10297	1,17131	0,84296	2,062
6,77922	1,05186	0,83491	5,97456	1,86806	1,10314	1,11034	1,0747	2,92497
7,21377	1,12092	1,00527	6,32003	2,53032	1,1645	2,14543	1,08854	3,71736
7,58766	1,14804	1,05068	6,37173	3,24704	1,14978	3,10081	1,1775	4,44751
7,74987	1,09882	1,10645	6,52991	3,8317	1,11108	4,00524	1,13214	5,14485
7,92279	1,07507	1,05615	6,74258	4,42927	1,19708	8,68363	1,12847	5,57145
8,14965	0,8519	1,11601	7,07381	4,38631	1,10609	8,53793	1,11236	5,87622
8,5306	1,02155	1,06845	7,25374	4,34882	1,20149	8,41825	1,78429	0,91617
8,63352	1,043	1,22202	0,81855	4,35039	1,22193	8,15483	2,60788	1,20351
8,75507	1,70946	1,08023	1,03278	4,28289	1,10101	7,93345	1,138	1,15798
9,23076	1,02802	1,12528	1,09818	4,22959	0,86226	7,91477	1,3057	1,18862
9,20739	1,54363	1,09427	1,06718	4,14645	1,08633	7,99362	1,33162	1,237
9,23835	2,0556	1,30962	1,12098	3,99283	1,09198	7,97651	0,86603	2,07817
9,5655	3,00482	0,81868	1,10355	3,99457	1,10463	7,97863	1,0808	3,0263
9,61796	3,58695	1,02611	1,08033	4,1387	1,08485	7,94211	1,10594	2,96063
9,63004	3,33993	1,04979	1,15322	0,81284	1,15298	7,82041	1,14952	