



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

ALLAN DOS SANTOS BRAGA

**PLANEJAMENTO DE REDES DE COMUNICAÇÃO SEM FIO PARA
AMBIENTES *INDOOR* CONSIDERANDO APLICAÇÕES
MULTIMÍDIA: ABORDAGEM HÍBRIDA - SIMULAÇÃO E MEDIÇÃO**

DM – 26/2014

UFPA/ITEC/PPGEE

Campus Universitário do Guamá

Belém-Pará-Brasil

2014

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA**

ALLAN DOS SANTOS BRAGA

**PLANEJAMENTO DE REDES DE COMUNICAÇÃO SEM FIO PARA
AMBIENTES *INDOOR* CONSIDERANDO APLICAÇÕES
MULTIMÍDIA: ABORDAGEM HÍBRIDA - SIMULAÇÃO E MEDIÇÃO**

Dissertação de Mestrado submetida à Banca Examinadora do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica como quesito a obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Elétrica, com ênfase em Telecomunicações.

UFPA/ITEC/PPGEE

Campus Universitário do Guamá

Belém-Pará-Brasil

2014

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA**

**PLANEJAMENTO DE REDES DE COMUNICAÇÃO SEM FIO PARA
AMBIENTES *INDOOR* CONSIDERANDO APLICAÇÕES
MULTIMÍDIA: ABORDAGEM HÍBRIDA - SIMULAÇÃO E MEDIÇÃO**

AUTOR: ALLAN DOS SANTOS BRAGA

DISSERTAÇÃO DE Mestrado submetida à avaliação da banca examinadora aprovada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Pará e julgada adequada para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Elétrica com ênfase em telecomunicações

APROVADA EM _____/_____/_____

Professor Dr. Gervásio Protásio dos Santos Cavalcante
ORIENTADOR

Professora. Dra. Jasmine Priscyla Leite de Araújo - UFPA
MEMBRO – UFPA

Professor Dra. Simone da Graça de Castro Fraiha - UFPA
MEMBRO – UFPA

Professora Dra. Josiane do Couto Rodrigues - IESAM
MEMBRO – EXTERNO

Visto:

Professor Dr. Evaldo Gonçalves Pelaes
COORDENADOR DO PPGE /ITEC/UFPA

AGRADECIMENTOS

A Deus por toda sua sabedoria e presença em todos os momentos, iluminando e acalmando a minha alma com luz e amor.

Aos meus queridos pais Maria Dulcineide dos Santos Braga e Joel Augusto de Assis Braga, pela paciência, educação, amor e por me apoiarem em todos os momentos da minha vida.

A minha irmã Aline, a minha Sobrinha e afilhada Inês, a minha tia Eunice e meu cunhado Jefferson. Agradeço por serem motivadores diários e por formarem o meu núcleo familiar.

A meus cães Pérola (in memoriam) e ao Lyon, que estiveram ao meu lado com demonstração de amor incondicional e puro, e assim, fazer com que eu seja uma pessoa mais paciente, atenciosa, sensível e fraterna.

Aos meus amigos da vida, amigos dos tempos da graduação, amigos que fiz na universidade, em especial, aos amigos da pedagogia.

Aos professores e amigos Simone Fraiha e Hermínio Gomes, agradeço toda a ajuda, empenho e sugestões, sendo a professora Simone uma das principais responsáveis para que esse trabalho fosse possível.

As professoras Jasmine Araújo e Josiane Rodrigues pela amizade, confiança e ensinamentos passados a mim.

Ao meu orientador Gervásio Cavalcante, pela sua amizade, liderança, motivação, que através sua experiência em tratar o próximo com amor, pôde oferecer sua confiança e sabedoria para me orientar neste trabalho.

Aos pesquisadores, integrantes e amigos do Laboratório de Computação e telecomunicações (LCT): Allan Costa, André Carvalho, Antônio Wanderley, Brenna Garcia, Bruno Lyra, Bruno Quadros, Carlos Nunes, Charllene Guerreiro, Cristiane Gomes, Diego Silva, Fabricio Barros, Hélio Oeiras, Herminio Gomes, Hugo Cruz, Igor Gomes, Iury Batalha, Joao Victor, Lesly Castro, Márcio Pinheiro, Michele Almeida, Miércio Neto, Nelson Santos, Ramz Lopes, Regina Nascimento, Rita Silva, Waldiney Barros e Walter Filho.

Aos professores do programa de pós-graduação, coordenadores e funcionários do PPGEE.

Ao Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia de Comunicações Sem Fio (INCT-CSF) e pelo CNPq pelo suporte financeiro prestado, contribuindo para a concretização deste trabalho.

A Universidade Federal do Pará, pela oportunidade dada a mim para a realização desse trabalho.

SUMÁRIO

RESUMO	7
ABSTRACT	8
LISTA DE ACRÔNIMOS	9
LISTA DE FIGURAS	10
LISTA DE TABELAS	12
CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO	13
1.1 MOTIVAÇÃO	14
1.2 OBJETIVOS	14
1.3 ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO	14
CAPÍTULO 2 – TRABALHOS CORRELATOS	16
2.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS	16
2.2 TRABALHOS CORRELATOS	16
2.3 CONSIDERAÇÕES FINAIS	19
CAPÍTULO 3 - MODELOS DE PROPAGAÇÃO	20
3.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS	20
3.2 Importância dos Modelos de Propagação	20
3.3 MODELOS EMPÍRICOS PARA AMBIENTES <i>INDOOR</i>	21
3.1.1. Modelo de Fator de Piso e Parede	21
3.1.2. Modelo ITU-R	21
3.1.3. Modelo Multi-Paredes COST231	21
3.1.4. Modelo Ericsson	22
3.1.5. Modelo Empírico Aproximante de Padè	22
3.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS	23
CAPÍTULO 4 – TÓPICOS SOBRE AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO E MÉTRICAS DE QOS E QOE	24
4.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS	24
4.2. AVALIAÇÃO DE SISTEMAS COMPUTACIONAIS	24
4.3. TÉCNICAS DE AVALIAÇÃO	24
4.3.1. Modelagem	25
4.3.2. Simulação	25
4.3.3. Experimentação ou Aferição	26
4.4. MÉTRICAS	26

4.5.	CARGA DE TRABALHO	27
4.6.	AVALIAÇÃO DE QUALIDADE DE VÍDEO	27
4.6.1.	Algumas Métricas de Desempenho de QoS e QoE.....	28
4.6.2.	<i>Perdas de pacotes</i>	28
4.6.3.	<i>Atraso</i>	29
4.6.4.	<i>Jitter</i>	29
4.6.5.	<i>MSE e PSNR</i>	30
4.6.6.	<i>SSIM (Structural Similarity Index)</i>	30
4.6.7.	<i>Métrica VQM</i>	31
4.7.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	31
CAPÍTULO 5 – CAMPANHA DE MEDIÇÕES.....		32
5.1.	CONSIDERAÇÕES INICIAIS	32
5.2.	FERRAMENTAS UTILIZADAS	32
5.2.1.	Evalvid	32
5.2.2.	MSU Video Quality	33
5.2.3.	Vídeo Utilizado	33
5.3.	CAMPANHA DE MEDIÇÕES	34
5.3.1.	Determinação da localização do ponto de acesso e dos pontos para medições.	35
5.3.2.	Tráfego concorrente na rede.....	36
5.3.3.	Transmissão, recepção e medições dos parâmetros da rede.....	36
5.4.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	40
CAPÍTULO 6 – METODOLOGIA E RESULTADOS		41
6.1.	CONSIDERAÇÕES INICIAIS	41
6.2.	METODOLOGIA E MODELO UTILIZADO.....	41
6.3.	RESULTADOS	45
6.4.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	65
CAPÍTULO 6 – CONCLUSÃO		66
6.1	TRABALHOS FUTUROS	67
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS		68

RESUMO

As tecnologias *wireless* vêm evoluindo de forma rápida nas últimas décadas, pois são uma eficiente alternativa para transmissão de informações, sejam dados, voz, vídeos e demais serviços de rede. O conhecimento do processo de propagação dessas informações em diferentes ambientes é um fator de grande importância para o planejamento e o desenvolvimento de sistemas de comunicações sem fio. Devido ao rápido avanço e popularização dessas redes, os serviços oferecidos tornaram-se mais complexos e com isso, necessitam de requisitos de qualidades para que sejam ofertados ao usuário final de forma satisfatória. Devido a isso, torna-se necessário aos projetistas desses sistemas, uma metodologia que ofereça uma melhor avaliação do ambiente *indoor*. Essa avaliação é feita através da análise da área de cobertura e do comportamento das métricas de serviços multimídia em qualquer posição do ambiente que está recebendo o serviço. O trabalho desenvolvido nessa dissertação objetiva avaliar uma metodologia para a predição de métricas de qualidade de experiência. Para isso, foram realizadas campanhas de medições de transmissões de vídeo em uma rede sem fio e foram avaliados alguns parâmetros da rede (*jitter* de pacotes/frames, perda de pacotes/frames) e alguns parâmetros de qualidade de experiência (PSNR, SSIM e VQM). Os resultados apresentaram boa concordância com os modelos da literatura e com as medições.

Palavras-Chaves:

Redes sem fio; Modelos de Propagação Empíricos; Qualidade de Serviço (QoS); Qualidade de Experiência (QoE).

ABSTRACT

Wireless technologies have evolved rapidly in recent decades. It is an efficient alternative to transmit information, whether data, voice, video and other network services. Knowledge of the propagation process of this information in different environments is a factor of great importance for the planning and development of wireless communications systems. Because of the rapid progress and popularization of these networks, the services offered become more complex and therefore need requirements for qualities that are offered to the end user in a satisfactory manner. Because of this, it is necessary to designers of these systems, a methodology that provides a better assessment of the indoor environment. This assessment is made by analyzing the coverage area and the behavior of the metrics of multimedia services anywhere in the environment that is receiving the service. The work in this study intends to evaluate a methodology for the prediction of quality metrics experience. For this, measurements of video streaming campaigns were conducted in a wireless network and network parameters (packet/frames jitter and packet/frames loss) and some quality parameters of experience (PSNR, VQM and SSIM) were evaluated. The results showed good agreement with literature data and with measurements.

Key Words:

Wireless networks; Empirical Propagation Models; Quality of Service (QoS); Quality of Experience (QoE).

LISTA DE ACRÔNIMOS

HD	<i>High Definition</i>
IEEE	<i>Institute of Electrical and Electronics Engineers</i>
QR	Qualificador de rede
ITU-R Sector	<i>International Telecommunication Union - Telecommunication Standardization</i>
LCT	Laboratório de Computação e Telecomunicações
PA	Ponto de Acesso
PSNR	<i>Peak Signal to Noise Ratio</i>
QoE	Qualidade de Experiência
QoS	Qualidade de Serviço
RMS	<i>Root Mean Square</i>
Rx	Receptor
SNR	Razão Sinal Ruído
SSIM	<i>Structural Similarity Index</i>
Tx	Transmissor
UDP	<i>User Datagram Protocol</i>
VoIP	<i>Voice Over Internet Protocol</i>
VQM	<i>Video Quality Metric</i>
WiMAX	<i>Worldwide Interoperability for Microwave Access</i>
WLAN	<i>Wireless Local Area Network</i>

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Comparação de modelos de propagação para ambientes <i>indoor</i>	16
Figura 2.2 – Valores de QR para alguns parâmetros de QoS. Considerando, ou não, o efeito da polarização [9]	18
Figura 2.3 – Mapas de nível de sinal estimado pela abordagem Bayesiana [10]	18
Figura 2.4 – Comparação da perda de PNSR prevista com os dados medidos. [11]	19
Figura 4.1 - Resultados Possíveis da execução de um sistema computacional [9].	27
Figura 4.2 – Efeito do <i>jitter</i> para as Aplicações [24].....	29
Figura 5.1 – Ilustração de entrada e saídas do Evalvid	33
Figura 5.2 – Ilustração de entrada e saídas do MSU <i>Video Quality</i>	33
Figura 5.3 – exemplos de quadros do vídeo utilizado	34
Figura 5.4 - Ambiente de Medições (corredores, vista externa e vista interna)	34
Figura 5.5 - Redes de Estudo: Notebooks (Tx-Vídeo e Rx-Vídeo) e o ponto de acesso utilizado.	35
Figura 5.6 – Esquema da planta baixa e localização dos pontos medidos e do ponto de acesso.	36
Figura 5.7 - Visualização do receptor durante transmissão de um vídeo no corredor.	36
Figura 5.8 - Telas do software WirelessMon [29] utilizado para coletar o nível de potência recebida e arquivo LOG com os resultados.....	37
Figura 5.9 - Exemplo de Frame sem degradação (Vídeo original)	37
Figura 5.10 - Exemplo de Frame com degradação (Vídeo recebido).....	38
Figura 5.11 – Telas dos processos de execução e resultados da ferramenta Evalvid.....	39
Figura 5.12 – Telas da Ferramenta de medição de qualidade de vídeo MSU	39
Figura 6.1 - Superfície interpolada a partir das medidas de nível de sinal para o ambiente estudado.	43
Figura 6.2 – Fluxograma da metodologia aplicada	44
Figura 6.3 – Esquema de planta baixa do cenário de medições. Localização dos pontos medidos e do PA.....	45
Figura 6.4 – Medidas de potência recebida interpoladas.....	46
Figura 6.5 – Predição do nível de potencia recebida dada pela simulação considerando o modelo de Padè.....	46
Figura 6.6 – Predição do nível de potencia recebida dada pela simulação considerando o modelo de Seidel e Rappaport.	47
Figura 6.7 – Jitter de Pacotes (s): a) Medidas Interpoladas. B) saída do Modelo	48
Figura 6.8 – Jitter de Frame (s): a) Medidas Interpoladas b) Saída do Modelo	48

Figura 6.9 – Perda de frames (%): a) Medidas Interpoladas b) Saída do Modelo.....	49
Figura 6.10 – Perda de Pacotes (%): a) Medidas Interpoladas b) Saída do Modelo	50
Figura 6.11 – PSNR (dB): a) Medidas Interpoladas b) Saída do Modelo	50
Figura 6.12 – SSIM: a) Medidas Interpoladas b) Saída do Modelo	51
Figura 6.13 – VQM: a) Medidas Interpoladas b) Saída do Modelo	52
Figura 6.14 – Planta baixa do pavilhão de aulas com radiais marcadas.....	52
Figura 6.15 – Potência recebida versus distância (Radiais)	54
Figura 6.16 – <i>Jitter</i> de pacotes versus distância (Radiais)	55
Figura 6.17 – <i>Jitter</i> de Frames versus distância (Radiais).....	56
Figura 6.18 – Perda de Frames versus distância (Radiais)	57
Figura 6.19 – Perda de pacotes versus distância (Radiais).....	58
Figura 6.20 – PSNR versus distância (Radiais).....	59
Figura 6.21 – SSIM versus distância (Radiais)	60
Figura 6.22 – VQM versus distância (Radiais)	61
Figura 6.23 – Esquema da metodologia baseada em abordagem em anéis.....	62
Figura 5.24 – Modelagem da equação a partir dos anéis.....	62
Figura 6.25 – Radiais dos pontos medidos/interpolados para comparar com a metodologia em anel.	63
Figura. 6.26 – Comparação dos resultados para radial 1 considerando as duas abordagens....	63
Figura. 6.27 – Comparação dos resultados para radial 2 considerando as duas abordagens....	64
Figura. 6.28 – Comparação dos resultados para radial 3 considerando as duas abordagens....	64
Figura. 6.29 – Comparação dos resultados para radial 4 considerando as duas abordagens...64	64

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 – Referências de perda em materiais para o modelo Cost231	22
Tabela 3.2 – referências de perdas para o modelo de Ericsson.	22
Tabela 4.1 - Critérios para a seleção da técnica de avaliação. [17].....	25
Tabela 4.2 – Melhores valores esperados para cada métrica.....	31
Tabela 6.1 – Conjuntos dos erros RMS para todas as métricas considerando as três radiais...	61
Tabela 6.2 - Erros RMS (dB) para a análise dos resultados em radial e em anel.....	65

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO

As comunicações *wireless* são uma das tecnologias mais avançadas atualmente e que ainda está em evolução acelerada. A moderna era *wireless* tem produzido um conjunto de tecnologias, tal como telefones móveis de última geração e redes Wi-Fi de grande valor econômico e social. Essa evolução tem por sua vez proporcionado uma demanda de oportunidades para os engenheiros, principalmente para os que compreendem os princípios básicos da transmissão da onda eletromagnética por meio da tecnologia sem fio, e os quais podem ajudar a continuar impulsionando esse campo tecnológico, e assim, atender os novos serviços ou até mesmo atender a novas capacidades e desafios esperados para o futuro [1].

Atualmente o usuário pode utilizar os serviços de rádio, televisão, acesso a internet e outros. Isso torna o estudo sobre a caracterização da área de cobertura fundamental, pois se devem fornecer uma boa qualidade de rede assegurando que os mais variados serviços sejam oferecidos com qualidade. Assim, oferecer somente um nível de sinal de potência não é suficiente e não garantirá ao usuário receber um determinado serviço com qualidade aceitável. Um exemplo disso é garantir que um usuário possa assistir a um vídeo em *streaming* com qualidade, sem interrupções e sem prejuízo tanto no áudio quanto nos *frames* do vídeo.

Por esses motivos, é fundamental e necessário que o projetista tenha o conhecimento prévio dos fatores que afetam os canais sem fio, para assim, estimar se esses serviços irão ser oferecidos com qualidade em diversas localizações dentro do ambiente.

Em um sistema de comunicação sem fio, o desempenho está associado com a caracterização da cobertura do nível de sinal em uma dada área. Essa caracterização é possível, através do uso de modelos de propagação. Esses modelos são ferramentas matemáticas desenvolvidas com o objetivo de calcular o comportamento médio do sinal.

A eficiência e a utilidade de um modelo se relacionam com o tipo de percurso estudado, obstruções no percurso, características de transmissão como frequência utilizada, altura do transmissor e receptor, entre outros.

Devido ao que foi exposto, ao crescimento dos sistemas de comunicação sem fio e a necessidade de atender as atuais e futuras demandas em cobertura e capacidade em canais de rádio, o estudo dos efeitos causados ao sinal propagado em um ambiente *indoor* é importante.

1.1 MOTIVAÇÃO

Dentro da literatura se tem pouco conhecimento, até então, da existência de uma metodologia que auxilie na caracterização de redes sem fio para ambientes *indoor* e que leve em consideração aplicações de vídeo e métricas de QoS/QoE com a distância.

Visto a importância das aplicações que envolvem tráfego de conteúdo multimídia em redes sem fio, sobretudo redes Wi-Fi, estudos que consideram o comportamento das métricas de avaliação da qualidade de conteúdo multimídia são fundamentais, tanto para os usuários quanto para os projetistas e profissionais desses sistemas. Portanto, esses estudos podem ser alcançados através de uma metodologia que melhor represente fatores como perda de propagação e os comportamentos das métricas de qualidade dos serviços oferecidos pela rede.

1.2 OBJETIVOS

O objetivo dessa dissertação é avaliar a utilização da metodologia de caracterização de cobertura para sistemas de comunicação *indoor*, levando em consideração modelos de propagação e parâmetros como potência recebida, métricas de QoS e QoE. Assim, analisar o comportamento dessas métricas com a distância, considerando número de paredes e pisos e das perdas associadas a cada obstrução.

Para a análise dos resultados, foram feitas comparações com os dados obtidos através de medições realizadas em um ambiente *indoor* em uma rede WLAN (*Wireless Local Area Network*).

1.3 ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO

Essa dissertação está dividida em 6 capítulos e a organização é dada abaixo:

- No capítulo 1 é feita a introdução da dissertação através de uma abordagem geral;
- No capítulo 2 é abordado alguns trabalhos correlatos que serviram de base para o desenvolvimento deste trabalho;
- O capítulo 3 apresenta alguns modelos de propagação existentes na literatura para a predição de perda de propagação em ambientes *indoor*;
- No capítulo 4 são abordados conceitos sobre avaliação de desempenho de sistemas computacionais e sobre as métricas de avaliação de desempenho QoS e QoE que serão utilizadas nesse trabalho;

- No capítulo 5 são apresentadas e descritas as etapas da campanha de medições para a obtenção de dados que foram utilizados nesse trabalho;
- No capítulo 6 apresentar-se-ão os resultados obtidos a partir da avaliação da metodologia que foi proposta;
- Por fim são feitas as conclusões obtidas a partir dos resultados.

CAPÍTULO 2 – TRABALHOS CORRELATOS

2.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Neste capítulo será mostrado o que há na atualidade em relação a trabalhos sobre propagação em ambientes *indoor*, modelos de propagação, trabalhos relacionadas à avaliação de desempenho em termos de QoE e QoS em ambientes *indoor*, especialmente para sistemas *Wireless*, assim como exemplos de trabalhos relacionados a esta dissertação.

2.2 TRABALHOS CORRELATOS

Diversos trabalhos encontrados na literatura estão relacionados com estudos da propagação em ambientes *indoor*. A maioria dos trabalhos encontrados não apresentam informações sobre área de cobertura em ambientes *indoor* com referência a serviços de QoS/QoE e aplicações multimídia.

No trabalho desenvolvido em [2], um estudo comparativo é feito entre diversos modelos de propagação *indoor* empíricos para redes 4G na frequência de 2.6 GHz conforme visto na Fig. 2.1. Além disso, aborda a importância dos modelos de propagação em sistemas de comunicação, pois auxiliam no planejamento e desenvolvimento desses sistemas. Esses modelos, dependendo do cenário utilizado, podem ser mais ou menos eficazes. Nesse trabalho também é mencionado sobre a carência de modelos que consideram informações do ambiente a ser estudado como perdas de penetração em pisos e paredes.

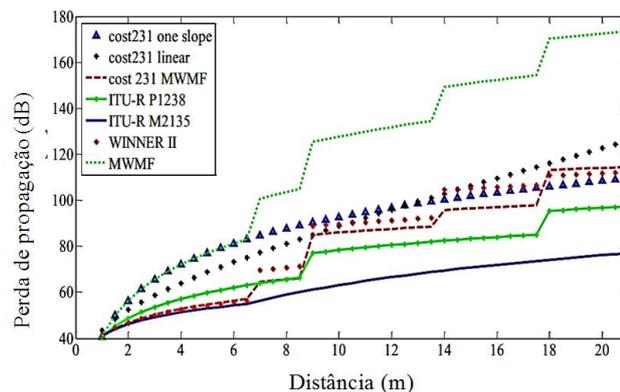


Figura 2.1 – Comparação de modelos de propagação para ambientes *indoor*.

Estudos feitos em [3] mostram alguns modelos de propagação empíricos na faixa de 0.9 GHz a 3.5 GHz, além de procedimentos de calibração de fórmulas através das medições de níveis de potência. Além disso, aborda que a implementação desses modelos em simuladores

em nível de sistema é rápida e simples, evitando assim, modelos de propagação mais complexos.

Em [4] é avaliado os efeitos provocados pela camada física nos parâmetros de QoE para VoIP em redes sem fio. Observa-se também que canais de desvanecimento tem um efeito negativo perceptível sobre QoE em comunicações VoIP, na capacidade máxima do sistema e na área de cobertura.

Em [5] é avaliado o desempenho de um sistema de comunicação baseado na qualidade de experiência (QoE) cujo parâmetro analisado é a avaliação do usuário final em relação ao serviço recebido. Nesse trabalho foi criada uma metodologia de predição de qualidade de vídeo em redes WiMAX combinando simulações e técnicas de inteligência computacional.

O trabalho desenvolvido em [6] apresenta uma pesquisa sobre a avaliação de qualidade para serviços “*web*”, sugerindo quais as métricas mais comuns de QoS e QoE utilizadas para avaliar esses serviços. Mostra que, dependendo do serviço *web* avaliado, as métricas são medidas de diferentes formas e conclui que apesar de muitas pesquisas buscarem avaliar automaticamente QoE baseado nos resultados de QoS, ainda há muito a ser entendido e avaliado.

Em [7] é apresentado um modelo de avaliação de desempenho baseado em QoE considerando serviços de vídeo *streaming*. Aborda o crescimento da demanda por transmissões de vídeo de alta qualidade. O modelo VMOS apresenta um bom desempenho na predição na qualidade do vídeo. Esse trabalho apresenta um modelo baseado nas percepções dos usuários finais e permite uma adaptação para diversos tipos de vídeos.

Em [8] foi apresentado um modelo empírico de predição de perda de propagação para ambientes *indoor*. Esse trabalho apresentou todo o processo de medição executado para a coleta de parâmetros de QoS para serviços VoIP em uma rede WLAN, processo semelhante será abordado nesta dissertação, com distinção no serviço utilizado, pois ao invés VoIP, foram feitas transmissões em vídeo na rede e assim coletados parâmetros tanto de QoS quanto de QoE. Além disso, em [8] foi realizada a avaliação de diversos parâmetros em relação a distância e apresentou a probabilidade de recebimento para cada serviço, considerando o número de pisos e/ou paredes, assim como a perda em cada um desses obstáculos.

O trabalho desenvolvido em [9], com base no trabalho desenvolvido em [8], criou-se uma metodologia para o planejamento de redes sem fio em ambientes *indoor* e foi proposto um modelo empírico, onde é considerado, além dos parâmetros de QoS da rede, os efeitos causados pela polarização das antenas em diversos tipos de materiais. Para isso foi realizada uma campanha de medições em diversos materiais e várias frequências. Os valores de perdas

encontrados em determinados materiais foram utilizados nesta dissertação. Os efeitos da polarização influenciam as métricas de QoS, conforme pode ser visto com o qualificador de rede (QR) apresentado na Fig. 2.2.

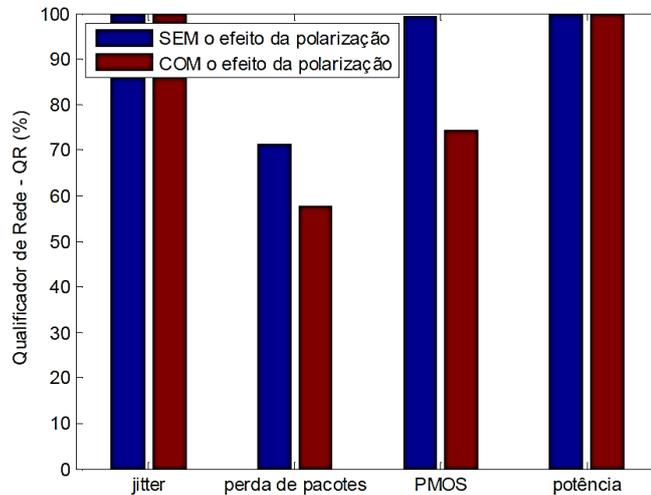


Figura 2.2 – Valores de QR para alguns parâmetros de QoS. Considerando, ou não, o efeito da polarização [9]

O trabalho desenvolvido em [10] apresenta uma proposta de planejamento de redes sem fio, considerando as influências da interferência nos parâmetros de QoS, para tal planejamento, o diagnóstico da interferência se deu através da técnica de inteligência computacional (Redes Bayesianas). Resultados para nível de sinal são mostrados na Fig. 2.3. Onde $x(m)$ e $y(m)$ são as medidas laterais de um prédio de salas de aulas.

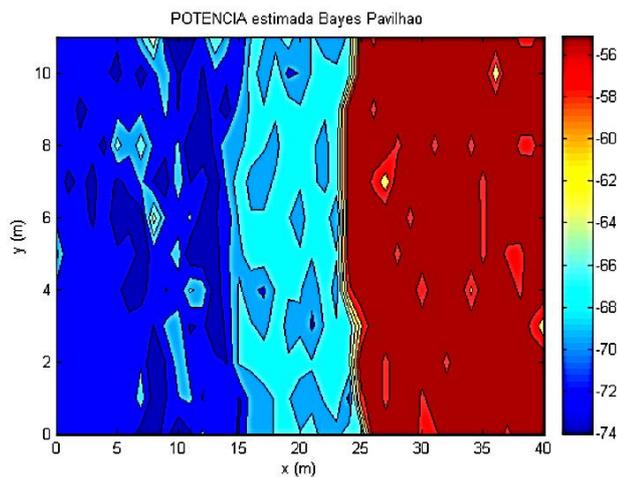


Figura 2.3 – Mapas de nível de sinal estimado pela abordagem Bayesiana [10]

O trabalho desenvolvido em [11] apresenta uma proposta de modelagem para prever a potência do sinal recebido e sugere a possibilidade para prever métricas de QoE em função da própria potência recebida. O trabalho foi feito com base em medições em ambiente *outdoor* densamente arborizado. A Fig. 2.4 apresenta o resultado do modelo de Perda de PSNR (*Peak Signal to Noise Ratio*) em função da potência recebida.

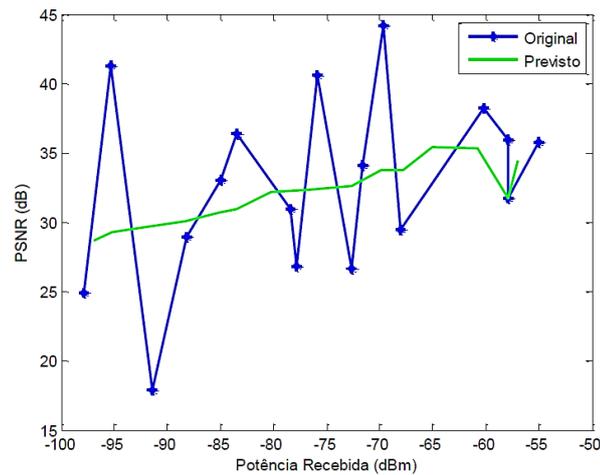


Figura 2.4 – Comparação da perda de PNSR prevista com os dados medidos. [11]

2.3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Foram abordados neste capítulo alguns trabalhos com o objetivo de facilitar para o leitor um melhor entendimento sobre a importância dos modelos de propagação no planejamento de sistemas de comunicações de rádio. Nesses sistemas, é importante considerar a avaliação de desempenho da rede e a percepção dos serviços oferecidos aos usuários. O crescimento de novas aplicações para redes sem fio e a necessidade de uma qualidade que cresça na mesma proporção é de grande interesse para projetistas na busca de técnicas que auxiliem em uma melhor caracterização do canal de rádio. Portanto, tais considerações são motivos e razões para a realização deste estudo.

CAPÍTULO 3 - MODELOS DE PROPAGAÇÃO

3.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Nos últimos anos, com o surgimento dos sistemas de comunicações pessoal, surgiu o interesse na caracterização e no entendimento da forma como o sinal de rádio se propaga dentro de ambientes fechados, tais como prédios, residências, escolas, entre outros. Diferentemente do comportamento do sinal de rádio tradicional, ou seja, em ambientes externos, as distâncias a serem percorridas são menores em ambientes fechados, mas a variabilidade do ambiente é maior. Essas características específicas do ambiente *indoor* (planta do edifício, tipos de materiais de construção e tipo de rádio) influenciam fortemente a propagação. Portanto, os valores de níveis de sinal recebidos podem variar muito dependendo do ambiente. [12].

3.2 Importância dos Modelos de Propagação

Um modelo de propagação é um conjunto de expressões matemáticas, diagramas e até algoritmos, usados para representar as características do sinal de rádio para um dado ambiente. A vantagem de utilizar um modelo de propagação empírico é que esses levam em conta todas as influências do ambiente, além da possibilidade de serem usados em outros ambientes com similaridades [13].

Os modelos de propagação *indoor* se caracterizam por levarem em consideração as rápidas flutuações que a intensidade do sinal sofre para distâncias muito curtas, alguns comprimentos de onda, ou para um tempo muito curto, alguns segundos. Como o sinal recebido é o somatório de diversas contribuições de várias direções, essas flutuações podem provocar alterações nas ordens de 30 ou 40 decibéis, e isso apenas para um pequeno deslocamento do receptor em uma fração do comprimento de onda. Por isso, esses modelos também são chamados de modelos em pequena escala ou modelos de atenuação.

Os modelos de propagação podem ter várias classificações, uma das mais utilizadas é a que divide em modelos empíricos, pois são baseados em campanhas de medições, e modelos teóricos, também chamados modelos determinísticos, pois são propostos considerando os princípios fundamentais dos fenômenos das ondas de rádio. Além disso, há modelos que combinam esses dois tipos, chamados de modelos híbridos. Neste capítulo, serão abordados alguns importantes modelos empíricos para ambientes *indoor*.

3.3 MODELOS EMPÍRICOS PARA AMBIENTES *INDOOR*

3.1.1. Modelo de Fator de Piso e Parede

Para esse modelo, a perda de propagação é dada considerando a atenuação sofrida pelo sinal ao atravessar obstáculos em um mesmo andar. Esses obstáculos podem ser paredes ou colunas. A atenuação está relacionada com a distância [14], conforme mostrado na equação 3.2.

$$L = L_1 + 20 \log r + n_f a_f + n_w a_w \quad (3.2)$$

Sendo que n_f o número de pisos, n_w é o número de paredes que estão na linha reta entre o transmissor e o receptor, a_f e a_w são os fatores de atenuação (dB) para cada piso e parede respectivamente, L_1 é a perda de propagação para a distância de referência (1 metro).

3.1.2. Modelo ITU-R

No modelo ITU-R (*International Telecommunication Union - Telecommunication Standardization Sector*), a perda de propagação é dada considerando a perda de penetração por pisos. A perda de propagação para diferentes pontos no mesmo piso é dada de forma implícita pela mudança do expoente de perda. Nesse modelo, considera-se também, a variação da perda com a frequência, conforme é feito no modelo de espaço livre. A perda em decibéis é dada pela equação 3.3:

$$L_T = 20 \log f_c + 10n \log r + L_f(n_f) - 28 \quad (3.3)$$

Sendo que n é o expoente de perda de propagação e $L_f(n_f)$ é a perda de penetração no piso que depende do número de pisos penetrados n_f .

3.1.3. Modelo Multi-Paredes COST231

A predição da perda de propagação dada pelo modelo Cost321 considera um componente linear de perda, esse componente é proporcional ao número de paredes entre o transmissor e o receptor [14]. Além disso, é adicionado um termo dependente do número de pisos atravessados. Esse modelo produz uma perda de propagação que aumenta mais devagar com o primeiro piso e mais rápido ao adicionar outros pisos depois que o primeiro foi adicionado. A equação da perda em decibéis é mostrada na equação 3.4.

$$L_T = L_F + L_C + \sum_{i=1}^w L_{wi} n_{wi} + L_f n_f^{((n_f+2)/(n_f+1)-b)} \quad (3.4)$$

Sendo que L_F é a perda do espaço livre entre o transmissor e o receptor em linha reta, o número de paredes atravessadas é representado por n_{wi} , o tipo de parede é dado por i , o número de pisos w , L_{wi} é a perda de penetração para cada tipo de parede do tipo i , n_f é o número de paredes atravessadas, b e L_C são constantes obtidas empiricamente e L_f é a perda para o piso. Para esse modelo algumas recomendações são dadas, mostrados na Tabela 3.1.

Tabela 3.1 – Referências de perda em materiais para o modelo Cost231

Frequência (MHz)	L_w (dB)	L_f ($b = 0.46$) (dB)
900	1.9	14.8
1800	3.4 (paredes finas) 6.0 (paredes grossas)	18.3

3.1.4. Modelo Ericsson

O modelo Ericsson [12] foi criado para o uso em frequências próximas de 900 MHz. Uma variável randômica e uniformemente distribuída entre os limites dos quais varia com a distância, é utilizada para representar as perdas por sombreamento, conforme mostrado na Tabela 3.2. À medida que a distância aumenta, tem-se um aumento do expoente de perda de 2 até 12, isso indica uma diminuição rápida da potência com a distância. Para ser utilizado para frequência de 1800 MHz é adicionado uma perda de 8.5 decibéis para todas das distâncias.

Tabela 3.2 – referências de perdas para o modelo de Ericsson.

Distância (metros)	Perda de Propagação para limites inferiores (dB)	Perda de Propagação para limites superiores (dB)
$1 < r < 10$	$30 + 20 \log r$	$30 + 40 \log r$
$10 \leq r < 20$	$20 + 30 \log r$	$40 + 30 \log r$
$20 \leq r < 40$	$-19 + 60 \log r$	$1 + 60 \log r$
$40 \leq r$	$-115 + 120 \log r$	$-95 + 120 \log r$

3.1.5. Modelo Empírico Aproximante de Padè

Esse modelo foi proposto por [15] e é descrito da seguinte forma na equação 3.5 e 3.6:

$$L = L_o + 10\gamma \log\left(\frac{d}{d_o}\right) + f(n_p; a, b) \quad (3.5)$$

No qual L_o é a perda no espaço livre em dB, γ é o expoente de perda de percurso, d é a distância entre o transmissor e o receptor em metros, d_o é a distância de referência em

metros e a $f(n_p; a, b)$ é o aproximante de Padè. Essa função usa um polinômio de segundo grau no numerador e no denominador, conforme a equação 3.6 a seguir:

$$f(n_p; a, b) = \frac{a + \frac{abn_p}{2} + \frac{1}{12}ab^2n_p^2}{1 - \frac{bn_p}{2} + \frac{b^2n_p^2}{12}} \quad (3.6)$$

No qual a e b são parâmetros de ajustes, n_p representa o número de pisos e paredes que são atravessadas pelo sinal propagado do transmissor até o receptor. O número de paredes agrega também as perdas associadas a cada tipo de material e é definido pela equação 3.7 dada abaixo.

$$n_p = \sum_i^N L_{fi}n_{fi} + \sum_{j=0}^M L_{wj}n_{wj} \quad (3.7)$$

Sendo que L_{fi} é a atenuação dada pelo piso de tipo i , n_{fi} é o número de pisos do tipo i , L_{wi} é a perda na parede do tipo i e n_{wi} é o número de paredes do tipo i .

3.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O canal de rádio móvel impõe limitações fundamentais ao desempenho dos sistemas de comunicações sem fio. O percurso entre o transmissor e o receptor poderá ser desde uma simples linha de visada até um percurso cheio de obstáculos, que em ambientes *indoor* podem ser paredes de diversos materiais, pisos, móveis diversos e até pessoas. Portanto, o canal de rádio tem um comportamento aleatório, tornando difícil a análise.

Nesse capítulo foi abordada a importância dos modelos de propagação nos projetos de sistemas de rádio. Alguns modelos importantes para o ambiente *indoor* foram apresentados. O próximo capítulo aborda conceitos de avaliação de desempenho de sistemas computacionais e sobre as métricas utilizadas neste trabalho.

CAPÍTULO 4 – TÓPICOS SOBRE AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO E MÉTRICAS DE QOS E QOE

4.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Nesse capítulo são abordados alguns conceitos sobre avaliação de sistemas computacionais e as três técnicas normalmente utilizadas para avaliações, que são as técnicas de simulação, medição ou também chamado aferição, e a modelagem. Além disso, são apresentados também conceitos sobre avaliação de qualidade em sistemas multimídia, mais precisamente envolvendo transmissões de vídeos. Assim, serão abordados algumas métricas relacionadas a avaliação desses sistemas e que foram utilizadas no trabalho.

A avaliação de desempenho de um sistema computacional é de grande interesse, seja para usuários, administradores ou para os próprios desenvolvedores desses sistemas. Assim, através da avaliação da qualidade, esses grupos podem atingir seus objetivos com a execução do sistema. Através da avaliação da qualidade desses sistemas, podem propor melhorias para o desempenho e principalmente com baixo custo. [17].

Segundo [16], o desempenho é a forma como o sistema se comporta ou como ele atua, sendo que a avaliação desse desempenho é dada em termos da eficiência do mesmo, ou seja, do próprio rendimento do sistema. A seguir, serão abordadas algumas questões sobre a avaliação de sistemas computacionais.

4.2. AVALIAÇÃO DE SISTEMAS COMPUTACIONAIS

O desempenho dos sistemas computacionais deve ser avaliado considerando algumas questões como, por exemplo: o tipo de requisição recebida pelos usuários, tipo de cliente atendido e o tipo de serviço que está sendo oferecido pelo sistema. Em uma rede de computadores, por exemplo, a avaliação do sistema pode ser feita através das medidas dos parâmetros da rede, como a utilização da banda ou mesmo a vazão ou perda dos pacotes. Assim, devem ser avaliados quais os *links* de rede foram mais rápidos, ou seja, tiveram um rendimento melhor para atender um determinado tipo de serviço [16].

4.3. TÉCNICAS DE AVALIAÇÃO

As escolhas das técnicas e das métricas de avaliação são passos essenciais em todo projeto de avaliação de desempenho [17]. Existem basicamente três técnicas de avaliação de

desempenho de um sistema: modelagem, simulação e medição. Cada técnica possui vantagens e desvantagens, e a escolha depende da implementação e da construção do sistema a ser avaliado. A tabela 4.1 apresenta considerações que ajudam o profissional no processo de decisão para a escolha da técnica a ser utilizada.

Tabela 4.1 - Critérios para a seleção da técnica de avaliação. [17]

Critério	Modelagem Analítica	Simulação	Medição
Etapa	Qualquer	Qualquer	Protótipo
Tempo Requerido	Pequeno	Médio	Variado
Ferramentas	Analista	Linguagem de computadores	Instrumentação
Precisão	Baixa	Moderada	Variada
Compromisso de avaliação	Fácil	Moderada	Difícil
Custo	Pequeno	Médio	Alto
Negociabilidade	Baixa	Média	Alta

4.3.1. Modelagem

O uso da técnica de modelagem de um sistema permite a abstração de detalhes de baixo nível que não são importantes quando o objetivo é fazer análises do desempenho de alto nível. Isso torna essa utilização mais simples em comparação a outras técnicas. Assim, deve-se no processo de modelagem, identificar os componentes do sistema mais relevantes, a forma como esses componentes se correlacionam e realizar algumas suposições sobre o funcionamento do sistema. Em situações em que há a existência e operação do sistema, a modelagem é aconselhada para avaliar o desempenho em larga escala. Isso é feito através de uma representação simplificada e os detalhes que não tem grande relevância são desprezados. [16]

4.3.2. Simulação

A simulação é a modelagem de um processo ou sistema, sendo possível imitar ao longo do tempo as respostas reais do sistema [18]. A simulação permite ao analista estudar um determinado sistema ou comparar os diversos sistemas relacionados. Alguns questionamentos de projeto podem ser solucionados sem que qualquer mudança física no

ambiente tenha sido realizada. Uma vez criado o modelo de simulação, esse pode ser utilizado inúmeras vezes para avaliar outros projetos ou propostas.

Para os casos de sistemas de grande complexidade, não pode ser modelado de forma analítica. Assim, se faz do uso de simulações, para isso, utilizam-se linguagens de programação, pois essas são flexíveis e tem muitos recursos. [16].

A técnica de simulação, devido ser de fácil aprendizado e de uso, é uma das técnicas de avaliação mais utilizada. Contudo, uma simulação pode conter modelos falhos, estes podem não representar adequadamente o ambiente que se deseja analisar, tais problemas ocorrem quando não se possui o conhecimento estatístico necessário ou quando as técnicas de simulação são escolhidas de forma inadequada. Portanto, é fundamental a utilização de simuladores que tenham sido validados previamente pela comunidade científica ou pela indústria, tendo assim uma maior segurança e confiabilidade nos resultados [16].

Os modelos de simulação são divididos em vários tipos, os modelos dinâmicos, que envolvem variações contínuas no tempo e se caracterizam por ter retroalimentação, ou seja, os próprios resultados são utilizados na entrada para a realização de novos ajustes. Os modelos estáticos apenas trabalham com o tempo e valores pré-determinados [16]. Os modelos determinísticos possuem simulação fechada, ou seja, imune a fatores externos. Quando essas influências externas são agregadas para a simulação, o modelo é chamado de probabilístico ou estocástico.

4.3.3. Experimentação ou Aferição

As situações em que um sistema é avaliado de forma real, a técnica de aferição é mais recomendada. Para isso, é necessário que, caso não exista o sistema em operação, um protótipo do mesmo seja criado e testado. Esse tipo de técnica permite capturar por um determinado tempo, as métricas que representam o comportamento do sistema para que sejam posteriormente analisadas. [16].

4.4. MÉTRICAS

Segundo [19], as seleções das métricas devem estar relacionadas com os possíveis resultados da execução do sistema. Deve-se considerar tanto o caso do funcionamento correto do sistema, assim como situações em que o sistema apresenta erros ou falhas. Os resultados podem ser classificados em três categorias: Execução correta do serviço, execução incorreta e

não execução do serviço. A Fig. 4.1 mostra os resultados possíveis da execução de um sistema e algumas métricas possíveis de serem coletadas de acordo com o resultado.

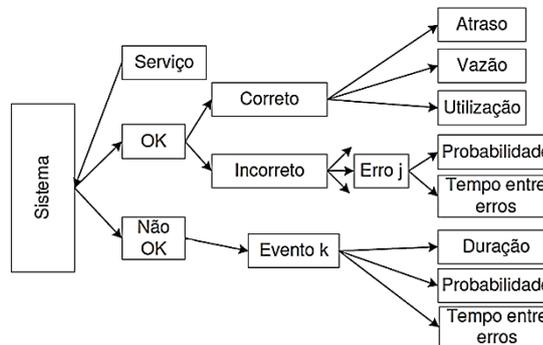


Figura 4.1 - Resultados Possíveis da execução de um sistema computacional [9].

O desempenho de um sistema computacional é quantificado pelo comportamento dessas métricas. Geralmente algumas métricas são escolhidas e coletadas para a comparação de vários cenários e essa escolha depende do tipo de sistema a ser avaliado [16].

4.5. CARGA DE TRABALHO

O termo carga de trabalho ou *workload* é a quantidade de requisições que o sistema pode atender. A escolha adequada da carga de trabalho é determinante para que os resultados sejam aceitáveis, assim, caso a determinação da carga de trabalho não seja feita de forma representativa, o sistema provavelmente será avaliado de forma inadequada [16].

A determinação das cargas de trabalho deve estar relacionada com cenários reais, seja quantitativa quanto qualitativamente. Para isso, é importante ter a visão do sistema como um provedor de diversos serviços, ou seja, listar os serviços oferecidos e analisá-los de forma adequada [19].

4.6. AVALIAÇÃO DE QUALIDADE DE VÍDEO

Em sistemas que envolvem tráfego de dados multimídia, a qualidade dos dados é um dos fatores fundamentais em relação a satisfação do usuário ao sistema. Diversos são os fatores que influenciam na qualidade de um vídeo, ou seja, que são responsáveis pela degradação da qualidade do vídeo. Fatores como taxas de quadros por segundo, perda de quadros, variação no atraso dos quadros, entre outros, contribuem diretamente na qualidade final do vídeo recebido pelo usuário.

A avaliação da qualidade de vídeo pode ser feita baseada na percepção do vídeo recebido pelos usuários, para isso, existem dois métodos para medir a qualidade de vídeo digital, chamados de métodos de qualidade subjetiva e métodos de qualidade objetiva. As métricas objetivas são obtidas através do auxílio de sistemas computacionais, esses programas calculam os resultados através das análises de entradas, que são amostras do vídeo degradado e do vídeo de referência. Essas métricas são desenvolvidas considerando as características da percepção humana.

As métricas de qualidade subjetivas captam o fator essencial, ou seja, a impressão dos usuários que estão assistindo o vídeo. Esse processo demanda tempo, custo alto, mão de obra e equipamentos especiais necessários, porém, os resultados são mais precisos.

4.6.1. Algumas Métricas de Desempenho de QoS e QoE

O tráfego de dados multimídia em redes sem fio sofre degradação de desempenho em particular devido às características inerentes ao próprio meio de transmissão que é diferente dos meios de comunicações com fio. Ao realizar a avaliação do nível de qualidade oferecido a um serviço de multimídia, não somente a qualidade de uma perspectiva de rede é considerada (QoS), mas também a percepção de qualidade para os usuários (QoE), que é também fator importante para fins de planejamento. [4]

O termo QoE refere-se à medida de desempenho de um sistema em relação às perspectivas dos usuários sobre um determinado serviço oferecido. A estimativa com precisão da qualidade de experiência QoE é crítico para o desenvolvimento e gestão de serviços de vídeo *streaming*[21]. O QoE para serviços de *streaming* é dependente de métricas da rede convencional como taxa de bits, taxa de pacotes perdidos, atrasos de pacotes e *jitter* [22].

4.6.2. Perdas de pacotes

A perda de pacotes tem efeito direto na qualidade do serviço final que é apresentado ao usuário, sejam serviços de voz, imagem, vídeo ou dados. Estudos realizados por [20] indicam que as perdas podem ocorrer em vários tipos de pacotes e podem causar efeitos no quadro até mesmo a perda do quadro inteiro. Alguns tipos de quadros levam a maiores distorções em métricas de QoE e caso o pacote perdido pertença ao início de um quadro, todo o quadro será perdido. De modo geral, um pacote é classificado como perdido quando ele não

chega ao destino e isso ocorre por diversos motivos, seja através de erro na transmissão, congestionamento nos *buffers* ou vencimento do tempo limite para a transmissão do vídeo.

4.6.3. Atraso

Em sistema de comunicação, podem ocorrer diversos tipos de atrasos. O atraso de propagação está relacionado com o tempo de propagação gasto em um determinado canal. O atraso de comutação está ligado com o tempo gasto para encaminhamento dos pacotes. O atraso de acesso está relacionado com o tempo gasto ao esperar para o acesso seja liberado ao meio de transmissão. A soma de todos esses atrasos é chamada de latência e tem um impacto direto na satisfação do usuário do sistema, e que para aplicações multimídia de vídeo, influenciam na qualidade e, conseqüentemente, na percepção do usuário. [23]

4.6.4. Jitter

As aplicações multimídia em tempo real possuem alguns fatores próprios como uma maior sensibilidade em relação a atrasos. No caso de vídeo, o atraso dos pacotes na rede dentro do limite estabelecido pela rede pode não interferir muito na qualidade, pois esse atraso é tratado pelos *buffers* de *jitter* que removem esses atrasos causados pela rede. Em alguns casos, o atraso é muito maior do que o atraso previsto e o *buffer* não é mais suficiente para manter a reprodução do vídeo normal, ocasionando interrupções na exibição do mesmo. O *jitter* é uma variação estatística do atraso na entrega de dados em uma rede, ou seja, pode ser definida como a medida da variação do atraso entre os pacotes sucessivos de dados. É causada por vários fatores como as flutuações nas filas ou no agendamento dos atrasos nos elementos de uma rede, pois o pacote pode trafegar por diferentes rotas e em diferentes meios, logo o tempo de chegada pode variar. Na Fig. 4.2 pode-se compreender o efeito do *jitter* entre a ordem dos pacotes na origem e como eles estão ordenados no destino, percebe-se que além do atraso dos pacotes, pode também ter pacotes fora de ordem. [24]

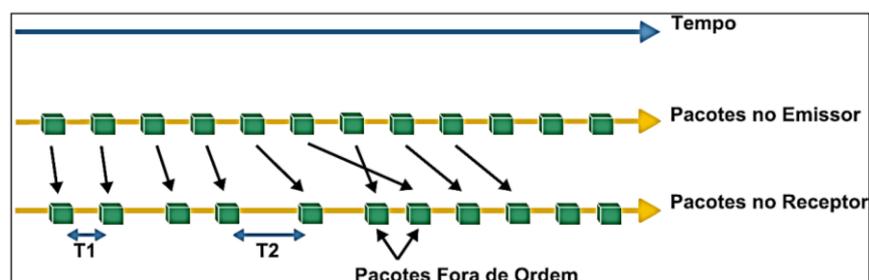


Figura 4.2 – Efeito do *jitter* para as Aplicações [24]

4.6.5. MSE e PSNR

A mais tradicional métrica de qualidade de vídeo objetivo, a PSNR (*Peak Signal to Noise Ratio*) tem sido amplamente utilizada em diversas aplicações para avaliar a qualidade de vídeo. A PSNR compara a energia da máxima possível do sinal com a energia do ruído, o qual possui uma maior correlação com a percepção subjetiva da qualidade do que com a SNR convencional. O erro de cada pixel contribui para a degradação da PSNR. [23]

O cálculo da PSNR é dado com base no erro médio quadrático em relação com o maior valor possível de luminância, conforme mostrado na equação 4.1.

$$MSE = \frac{1}{lc} \sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^c [Y_0(i, j) - Y_r(i, j)]^2 \quad (4.1)$$

Na qual, l e c são o número de linhas e de colunas respectivamente do quadro. $Y_0(i, j)$ e $Y_r(i, j)$ representam a luminância do pixel (i, j) do quadro original e do quadro recebido. O PSNR é calculado conforme a equação a seguir 4.2. [7]

$$PSNR = 20 \log_{10} \left(\frac{MAX_I}{\sqrt{MSE}} \right) \quad (4.2)$$

4.6.6. SSIM (Structural Similarity Index)

A métrica SSIM (*Structural Similarity Index*) é baseada na medição de três componentes (similaridade de luminância, similaridade de contraste e similaridade estrutural). Esses três componentes são combinados, e então é gerado um único valor chamado de índice. Assim, pode-se dizer que a métrica representa informações das imagens e vídeos, pois considera as características que possuem mais prioridade assim como o sistema de visão humana. O índice varia de 0 a 1, onde quanto mais próximo de 1, maior a qualidade e índices próximos de 0, menor é a qualidade. A métrica SSIM é dada pela equação 4.3 dada a seguir:

$$SSIM_{(x,y)} = \frac{(2\mu_x\mu_y+c_1)(2\sigma_{xy}+c_2)}{(\mu_x^2+\mu_y^2+c_1)(\sigma_x^2+\sigma_y^2+c_2)} \quad (4.3)$$

No qual μ_x e μ_y são as médias de x e y respectivamente, onde x e y são as dimensões do quadro. σ_x^2 e σ_y^2 são as variâncias, σ_{xy} é a variância entre x e y , c_1 e c_2 são variáveis para estabilizar a divisão por um valor mínimo.

4.6.7. Métrica VQM

A VQM (*Vídeo Quality Metric*) é uma métrica objetiva de qualidade de vídeo cuja função é prever as classificações subjetivas que seriam obtidas caso fossem feitas através das opiniões dos usuários [25]. Ela mede os efeitos de percepção do vídeo como distorções de cor, distorção de pixel, ruído e nível de embaçamento do vídeo. Todos esses parâmetros são combinados em uma única métrica. O modelo geral de VQM foi proposto para ser uma métrica de propósito geral, que abrangesse sistemas com uma vasta gama de qualidades e taxas de bits. Através do vídeo original e do vídeo processado como entradas, a métrica é calculada calibrando o vídeo amostrado, extraindo as características de qualidade, calculando os parâmetros de qualidade e usando a combinação linear de parâmetros calculados. Os resultados variam de 0 a 1, quanto mais próximos de zero, melhor é a qualidade do vídeo.

A tabela a seguir apresenta as condições dos resultados esperados para cada métrica.

Tabela 4.2 – Melhores valores esperados para cada métrica.

Métrica	Melhores Valores
Perda de Pacotes e <i>frames</i>	Menor possível
Atraso	Menor possível
<i>Jitter</i>	Menor possível
PSNR	Maior possível
VQM	Menor possível
SSIM	Maior possível

4.7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esse capítulo abordou alguns conceitos sobre avaliação de desempenho de sistemas computacionais, as vantagens e desvantagens das técnicas de avaliação: simulação, modelagem e medição. Foi mostrado algumas métricas de QoS que influenciam diretamente a qualidade do vídeo transmitido em uma rede sem fio, além de métricas utilizadas para avaliação da qualidade do vídeo. No próximo capítulo são mostradas e descritas as etapas de coleta e tratamento dos dados que foram utilizados nessa dissertação.

CAPÍTULO 5 – CAMPANHA DE MEDIÇÕES

5.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Para a realização deste trabalho foi necessário obter dados referentes a medidas de uma rede real com o objetivo de verificar quais influências que a camada física exerce na qualidade do serviço prestado. Para isso, utilizou-se um conjunto de ferramentas e aplicações. Esse capítulo tem o objetivo de fazer a descrição das características principais de cada ferramenta utilizada e de cada etapa do processo realizado para a obtenção das medidas.

5.2. FERRAMENTAS UTILIZADAS

Como o objetivo é avaliar a metodologia proposta para serviços multimídia, foi escolhido um vídeo em HD para ser transmitido na rede e assim ser coletado os parâmetros e métricas de qualidade dos vídeos. Na literatura o Evalvid é referência para realizar esse tipo transmissão pela rede, além de também permite extrair duas métricas importantes de vídeo e outras do comportamento da rede, métricas essas que são utilizadas nesta dissertação.

5.2.1. Evalvid

Evalvid é um *framework* completo, pois contém um conjunto de ferramentas que são utilizadas para avaliar a qualidade de vídeos transmitidos em uma rede de comunicação simulada ou real. Essas ferramentas permitem obter os parâmetros de QoS da rede como taxa de erros, atrasos e *jitter*, tanto dos pacotes quanto em relação aos *frames* que compõem o vídeo. Além disso, permite avaliar a qualidade do vídeo recebido através de métricas objetivas obtidas da comparação do vídeo recebido com o vídeo original. As métricas calculadas são a PSNR e do SSIM. A utilização do Evalvid é útil para pesquisadores e projetistas de rede, pois através da utilização da ferramenta, podem avaliar o comportamento da rede e caso seja necessário, podem configurar as redes em termos das métricas obtidas [26]. Uma Ilustração das entradas e saídas do Evalvid é mostrada na Fig. 5.1

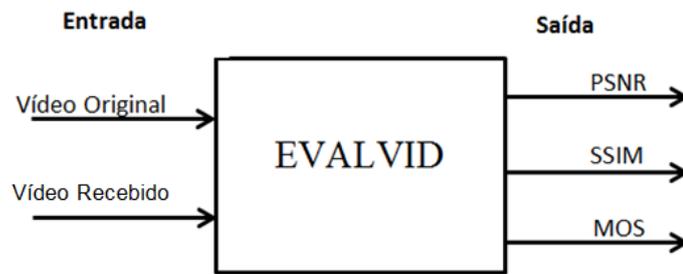


Figura 5.1 – Ilustração de entrada e saídas do Evalvid

5.2.2. MSU Video Quality

MSU é uma ferramenta de avaliação da qualidade do vídeo e faz a avaliação do vídeo de forma objetiva. O programa possui licença gratuita para os tratamentos das métricas de medições que envolvem vídeo. As métricas de desempenho que podem ser avaliadas são: MSE, PSNR, SSIM, VQM, entre outras. Além disso, é compatível com mais de 30 formatos de vídeo [27]. Essa ferramenta ainda possui funcionalidade de visualização das métricas de forma separada. A ilustração de entradas e saídas do programa é mostrada na Fig. 5.2. O vídeo original pode ser comparado com um ou dois vídeos de referências e como saídas vários arquivos com valores por *frames*, valores médios e um arquivo do tipo de vídeo com visualização da métrica.

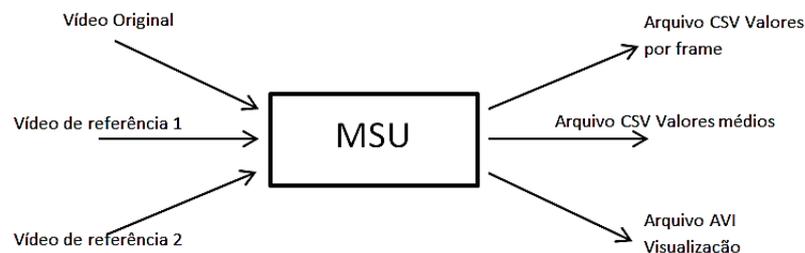


Figura 5.2 – Ilustração de entrada e saídas do MSU *Video Quality*

5.2.3. Vídeo Utilizado

O vídeo escolhido de duração de 20 segundos apresenta intensa movimentação na imagem por toda a área do quadro. Amostras de *frames* do vídeo estão presentes na Fig. 5.3. Outras configurações são dadas abaixo:

Codificação utilizada: H264 - MPEG-4 AVC

Resolução: 1920x1080

Taxa de quadros: 25

Formato decodificado: Planar 4:2:0 YUV



Figura 5.3 – exemplos de quadros do vídeo utilizado

5.3. CAMPANHA DE MEDIÇÕES

Para a obtenção de uma base de dados, uma campanha de medições foi realizada em um dos prédios da UFPA, que é um pavilhão de salas de aulas. Fig. 5.4. As medições foram realizadas no segundo andar do prédio. A dimensão do prédio é de 40x11 metros. Esse andar consiste de seis salas com 6x8 metros cada. As cadeiras e mesas dentro das salas são de materiais plástico e metal.

O prédio de sala de aulas é composto por paredes de tijolos e concreto. De um lado as salas possuem janelas de vidro e a outra lateral é de madeira e vidro. Essas características contribuem tanto de maneira positiva quanto negativa na composição do sinal recebido nos pontos de medição. As perdas de intensidade de sinal em ambientes *indoor* são causadas por elementos de vários formatos e materiais como: paredes, pisos, pessoas, mobília, entre outros.



Figura 5.4 - Ambiente de Medições (corredores, vista externa e vista interna)

Para o processo de medição, foi criada uma rede WLAN que utilizou o seguinte conjunto de equipamentos: Um ponto de acesso, quatro *notebooks*, sendo que dois para transmissão e recepção do vídeo (Tx-vídeo e Rx-Vídeo) Fig. 5.5 e os outros dois para utilização do simulador de tráfego concorrente (Tx-Iperf e Rx-Iperf) [28]. A medição do nível de potência no receptor foi feita pelo software WirelessMon [29].

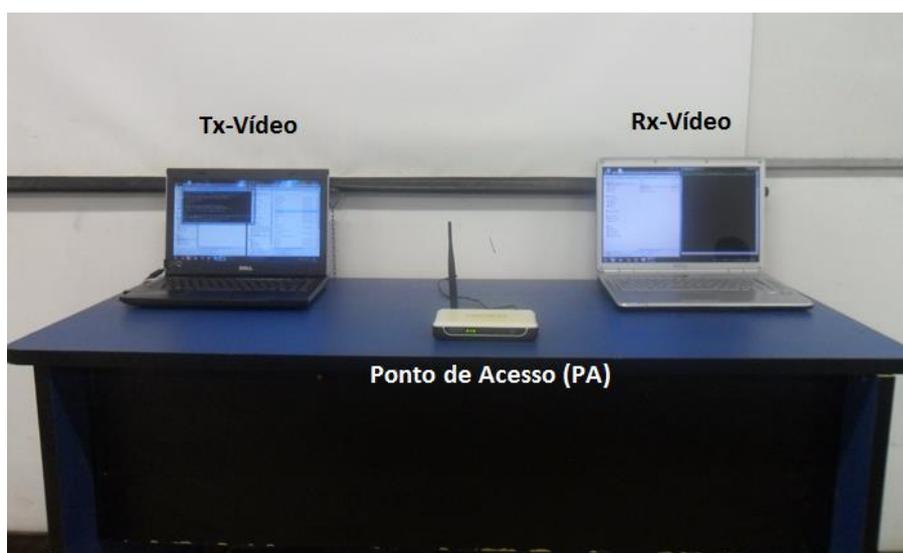


Figura 5.5 - Redes de Estudo: Notebooks (Tx-Vídeo e Rx-Vídeo) e o ponto de acesso utilizado.

5.3.1. Determinação da localização do ponto de acesso e dos pontos para medições.

A Fig. 5.6 mostra um esquema da planta baixa do cenário onde foram realizadas as medições. Estão marcadas as localizações dos 27 pontos (vermelho), assim como a localização do PA. Na Fig. 5.7 mostra o receptor no corredor onde foram transmitidos os vídeos. As características do Roteador são:

- Roteador: SIROCO NETWORKS Wireless N BroadBand Router
- Modelo No: Evo-W301AR
- Nome (SSID): LCT_TESTE
- Canal 3: 2422 MHz
- Modo: 802.11g
- Largura do canal: 20 MHz
- Taxa de Transmissão Máxima: 54 Mbps
- Potência de Transmissão: Máxima (20 dBm)



Figura 5.6 – Esquema da planta baixa e localização dos pontos medidos, ponto de acesso e do tráfego concorrente.



Figura 5.7 - Visualização do receptor durante transmissão de um vídeo no corredor.

5.3.2. Tráfego concorrente na rede.

Para competir pela largura de banda disponível com a transmissão do vídeo, uma simulação de tráfego (T-Iperf e R-Iperf) [28] no modo cliente foi gerada na rede. Essa competição ocorre entre o tráfego gerado pelo Iperf com o próprio tráfego da transmissão do vídeo. Para isso, foi criado um fluxo UDP artificial de 4 Mbps. O objetivo desse tráfego é caracterizar a rede com comportamentos mais próximos de uma rede real, onde há competição dos serviços pela largura de banda disponível. Os notebooks TX-Iperf e RX-Iperf foram utilizados para transmitir e receber a aplicação Iperf na rede.

5.3.3. Transmissão, recepção e medições dos parâmetros da rede.

Durante o processo de medição, foram coletados os seguintes parâmetros e métricas: nível de potência recebida (dBm), distância (metros) entre o ponto de acesso (PA) e o receptor,

além dos arquivos de log do Evalvid. A partir desse arquivo, foram extraídas métricas da rede como *jitter*, perda de pacotes, e as métricas de qualidade de experiência como PSNR e SSIM. A métrica VQM foi calculada através do software MSU.

O nível de potência recebida foi coletado com o auxílio da ferramenta *WirelessMon* [29], conforme visto nas telas da Fig. 5.8. A potência recebida foi coletada por um período médio de três minutos e cada procedimento foi realizado três vezes. Amostras do *frame* original e do *frame* com distorções são mostrados nas Fig. 5.9 e Fig. 5.10.

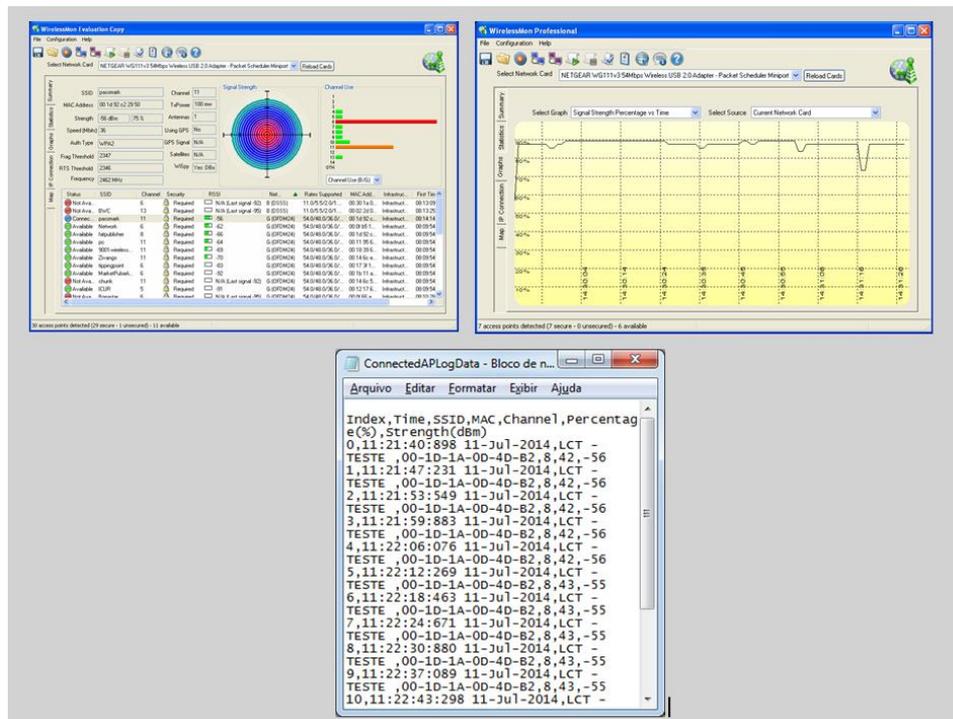


Figura 5.8 - Telas do software *WirelessMon* [29] utilizado para coletar o nível de potência recebida e arquivo LOG com os resultados.



Figura 5.9 - Exemplo de Frame sem degradação (Vídeo original)



Figura 5.10 - Exemplo de Frame com degradação (Vídeo recebido)

O software Evalvid [26], conforme mencionado anteriormente, foi utilizado para transmitir o vídeo na rede. Durante o processo, foram gerados três arquivos de configuração, um no receptor (rd.txt) e dois no transmissor (st.txt e sd.txt). Através do programa etmp4 (*Evaluate Traces of MP4-file Transmission*), que também faz parte do conjunto de ferramentas do evalvid, é feita a reconstrução do vídeo recebido para o formato MPEG4 (.mp4).

Os arquivos MP4 reconstruídos são decodificados para produzir o arquivo YUV. Além de outros arquivos de configurações, entre os quais de importância para esse trabalho, o arquivo delay.txt, onde contém informações como número de *frame*, *flags* perdidos, atraso fim a fim e *jitter* acumulado em segundos. Outro arquivo gerado é o loss.txt, esse arquivo possui as perdas dos pacotes ou frames. Para a obtenção das métricas de PSNR e SSIM é necessário primeiro converter os arquivos reconstruídos do formato MP4 para o formato YUV através do aplicativo ffmpeg [30]. Assim, com o arquivo original de referência e o arquivo reconstruído, ambos no formato YUV, são realizados os cálculos da PSNR e do SSIM através do aplicativo “psnr”, também integrante do evalvid. As janelas do Evalvid e janelas dos logs são mostrados na Fig. 5.11.

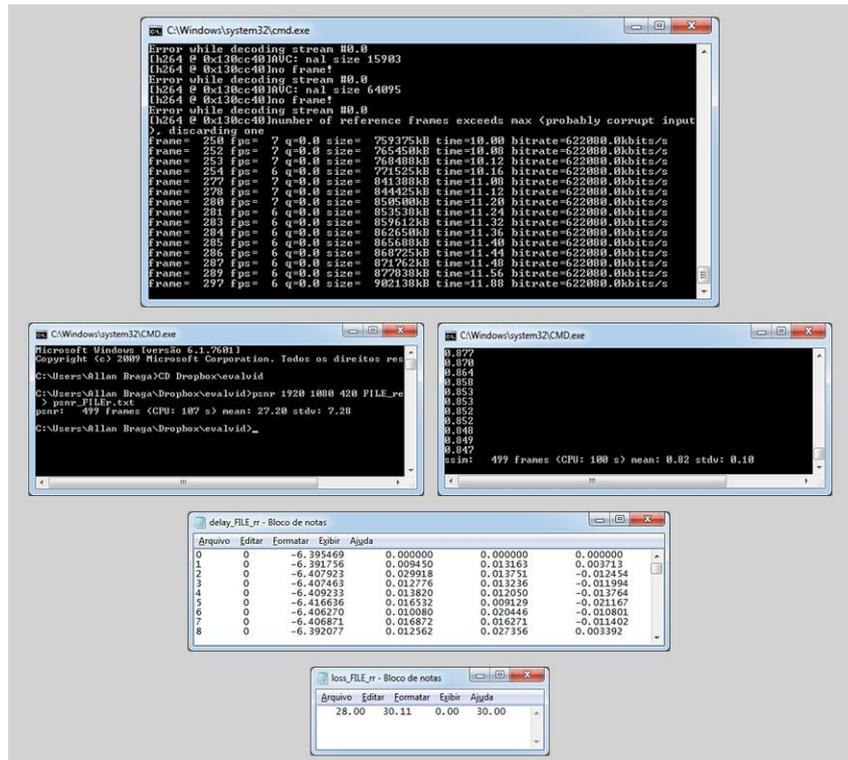


Figura 5.11 – Telas dos processos de execução e resultados da ferramenta Evalvid

A métrica VQM foi calculada utilizando o *software* MSU. Para isso, o programa recebe como entrada dois vídeos no formato YUV (vídeo original de referência e vídeo recebido com a degradação dos quadros). Como resultado, o programa pode gerar arquivos CSV com informações sobre os frames, valores médios e um arquivo do tipo AVI com a visualização da degradação. Na Fig. 5.12 é mostrada a tela inicial do programa, tela de visualização dos resultados e do processo de execução.

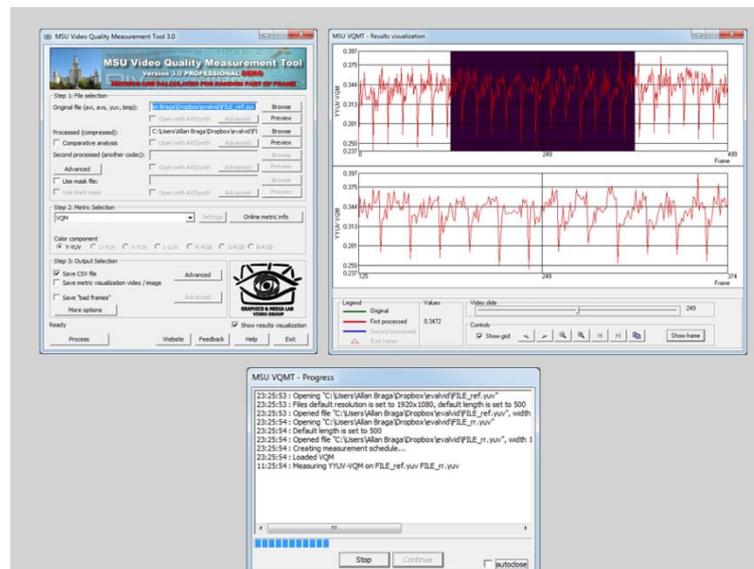


Figura 5.12 – Telas da Ferramenta de medição de qualidade de vídeo MSU

5.4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste capítulo foi mostrado como as medições foram realizadas. Foram abordadas as características principais das ferramentas utilizadas e assim formar um entendimento da coleta dos parâmetros da rede. Além disso, também foram abordadas questões sobre os equipamentos utilizados e as configurações escolhidas. No próximo capítulo serão apresentados a metodologia e os resultados obtidos.

CAPITULO 6 – METODOLOGIA E RESULTADOS

6.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Este capítulo tem por finalidade apresentar os resultados obtidos a partir das medições de parâmetros de uma transmissão multimídia em uma rede real. Serão mostrados os resultados desde o tratamento dos dados até a aplicação da metodologia proposta. As etapas para a atualização do modelo também serão apresentadas, assim como a descrição por meio de gráficos do comportamento das métricas de QoS/QoE e da potência recebida, todas em função da distância entre o ponto de acesso e o receptor.

6.2. METODOLOGIA E MODELO UTILIZADO

Todo o processo da campanha de medição abordado no capítulo anterior, proporcionou a obtenção de diversos tipos de dados. Para cada ponto do ambiente analisado, foram realizadas três vezes e em cada uma, foi transmitido um vídeo HD de duração de 20 segundos. Após isso, iniciou-se o processo de tratamento dos dados. Para cada ponto, foi considerada a média dos parâmetros para três transmissões.

Uma tabela foi gerada com todos os parâmetros. As colunas contêm as seguintes informações: identificação do ponto medido, distância em metros entre a localização do transmissor e da localização do ponto medido, nível de potência recebida em dBm, *jitter* em segundos para pacotes e para *frames*, porcentagem de perda de pacotes e de *frames*. A tabela também contêm as médias das métricas de QoE como PSNR, SSIM e VQM.

O modelo de propagação criado em [8], que usa um aproximante de Padè [31][32], foi empregado neste trabalho para auxiliar na predição da perda de propagação em um ambiente *indoor*. Em [8] foi realizada uma modificação para predição de métricas de QoS, como *jitter*, perda de pacotes e atrasos, com a distância entre o ponto de acesso (PA) e o receptor. Esse ajuste possibilitou inserir informações sobre o ambiente *indoor* a ser estudado, possibilitando fazer estimativas dos valores dessas métricas para áreas específicas do ambiente.

Em [9], foi realizada outra modificação no modelo dado em [8], onde foi adicionado um novo termo na equação de perda. Esse termo considera os diversos efeitos causados no sinal pela polarização das antenas transmissora e receptora e conseqüentemente o impacto causado tanto na área de cobertura quanto nas métricas de QoS. Neste trabalho não foi considerado o efeito da polarização.

Nesta dissertação, a modificação realizada em [8] é aplicada para predição das métricas de qualidade de experiência QoE. Assim, será verificada a eficiência do modelo ao realizar

predições não apenas para o nível de potência recebida, mas, sobretudo as informações sobre o nível de potência e sobre os parâmetros de QoS e QoE associados a esse valor de potência. Por exemplo, em um ponto qualquer do ambiente, o usuário poderá realizar uma transmissão de vídeo em *streaming* HD sem grande perda de percepção ou para um determinado ponto do ambiente, prever a variação nas métricas de QoS e QoE e assim caracterizar melhor o serviço oferecido.

Como visto no capítulo 4, o modelo de propagação Aproximante de Padè é um modelo que utiliza como base o modelo de perda de espaço livre com adição de uma função empírica baseada no Aproximante de Padè [15].

No trabalho realizado em [8], foi criado um modelo específico para as métricas de QoS, ou seja, foi verificado o comportamento dessas métricas em relação a distância, número de obstáculos (pisos, paredes e divisórias) e com as perdas relacionadas ao material de cada obstáculo. A equação geral do modelo é dada na equação 6.1 e 6.2.

$$PL = PL_0 + 10\gamma \log\left(\frac{d}{d_0}\right) + f(n_p; a, b) \quad (6.1)$$

$$PL_{QoS/QoE} = QoS/QoE(n_p; a', b', c', e') \quad (6.2)$$

Nesse trabalho, os dados coletados e tratados foram dados de QoS (*jitter* entre frames/pacotes e perda de frames/pacotes) e de métricas de QoE (PSNR, SSIM e VQM). Os dados foram modelados conforme equações 6.3, 6.4 e 6.5 a seguir:

$$QoS/QoE_{zero} = \text{gama} * \text{lambda}/d_0 \quad (6.3)$$

$$QoS/QoE_{zero}(n_p; a', b') = QoS/QoE_{zero} + a' \text{distm} + b' \quad , \text{ para } n_p = 0; \quad (6.4)$$

$$QoS/QoE_{zero}(n_p; a', b', c', e') = QoS/QoE_{zero} + a'n_p^2 + b'n_p + c' \text{distm} + e' \quad , \text{ para } n_p \neq 0; \quad (6.5)$$

$e' = QoS \text{ ou } QoE \text{ min}; a', b' \text{ e } c' \text{ estimados};$

Sendo:

gama: o coeficiente de perda de propagação obtido a partir dos dados de potência recebida;

lambda: o comprimento de onda transmitida;

d_0 : distância de referência;

$a', b' \text{ e } c'$ são parâmetros estimados, no caso de perda (potência) recebida foi utilizado o aproximante de Padè e para as outras métricas, os parâmetros foram calculados através de uma rotina de mínimos quadrados lineares. Nesse caso, adotou-se o seguinte método descrito

pelas equações 6.3, 6.4 e 6.5. Para distâncias sem obstáculos entre o PA e o receptor, foi adotado um polinômio linear para a modelagem. Para distâncias com obstáculos, utilizou-se um polinômio quadrático para a modelagem. Os parâmetros a' , b' e c' servem para ajustar o modelo aos dados medidos.

As etapas para a utilização da metodologia são definidas da seguinte forma:

- 1) Fazer o levantamento de informações sobre o ambiente a ser estudado e estabelecer as localizações dos pontos a serem medidos e a localização do ponto de acesso. Ter o conhecimento sobre o tipo de material e da quantidade de pisos e paredes presentes no ambiente. Isso normalmente é fácil de obter através da planta baixa do prédio;
- 2) Realizar algumas medidas do serviço a ser testado. Coletar dados referentes a medições e entrada dos parâmetros de transmissão. Para cada métrica foi feito o tratamento de dados. Uma tabela foi organizada com as colunas contendo a localização em coordenadas X e Y de cada ponto e o valor da métrica medida;
- 3) Utilização de um algoritmo de interpolação. A próxima etapa consiste na verificação de como as métricas se comportam em relação a distância. Para que esse comportamento tenha uma maior significância, a quantidade de dados foram aumentadas. Essa interpolação foi feita através de uma rotina do MATLAB chamada *newgrnn* e utiliza uma rede neural artificial do tipo rede radial de base. O resultado da interpolação e dos pontos medidos são apresentados na figura 6.1;

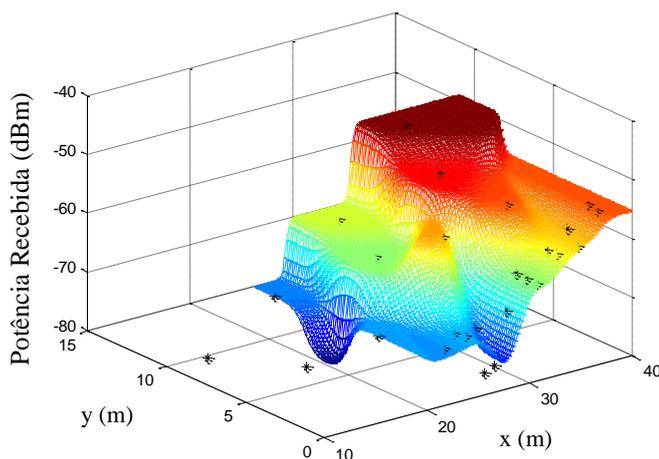


Figura 6.1 - Superfície interpolada a partir das medidas de nível de sinal para o ambiente estudado.

- 4) Determinação dos parâmetros do modelo. A partir desse conjunto de dados interpolados para cada métrica estudada, foi feita a modelagem: Modelo de Padè [15] para perda (potência) e Modelo QoS/QoE para as demais métricas;

- 5) Análise dos resultados. Para cada métrica estudada, foi feito a comparação entre os valores gerados e com a aplicação do modelo com os valores obtidos através de medições. A validação foi possível através do cálculo do erro RMS. Para isso foram traçadas radiais a partir do modelo e de medidas interpoladas. Outra abordagem, em forma de anéis, também foi realizada e será mostrada no decorrer deste capítulo. Um fluxograma das etapas descritas é apresentado na Fig. 6.2.



Figura 6.2 – Fluxograma da metodologia aplicada

No ambiente avaliado, conforme foi mostrado no capítulo 5 existem dois tipos de paredes, as salas são divididas por paredes de tijolos (cor preta) e as paredes laterais das salas (cor verde) que fazem fronteira com todo o corredor são divisórias de madeira.

Neste trabalho utilizou os valores de perdas obtidas através de Josiane [9], sendo que a perda de associada a paredes de tijolos foi de 11,86 dB e a perda associada a divisórias foi de 1,42 dB. Por motivos de simplificação nessa metodologia não são considerados o efeito das janelas e portas.

Um esquema do cenário de medição e da localização dos pontos medidos é mostrado na Fig. 6.3.



Figura 6.3 – Esquema de planta baixa do cenário de medições. Localização dos pontos medidos e do PA.

6.3. RESULTADOS

As figuras de 6.4 até 6.13 mostram o comportamento das diversas métricas analisadas com a distância. É destacado a localização do ponto de acesso na sala 1 e as paredes que dividem as salas (linha amarela contínua) e as paredes que separam as salas do corredor (linhas amarelas tracejadas). As cores representam as variações das métricas dentro da escala definida. Para o caso de potência recebida, as cores mais próximas do vermelho escuro significam níveis mais altos de potência e áreas com cores próximos do azul significam níveis mais baixo.

A Fig. 6.4 mostra o resultado das medidas interpoladas dos níveis de potência recebida em dBm. Percebe-se que as regiões mais próximas do ponto de acesso estão com uma tendência do nível de sinal maior e regiões mais afastadas a tendência vai diminuindo.

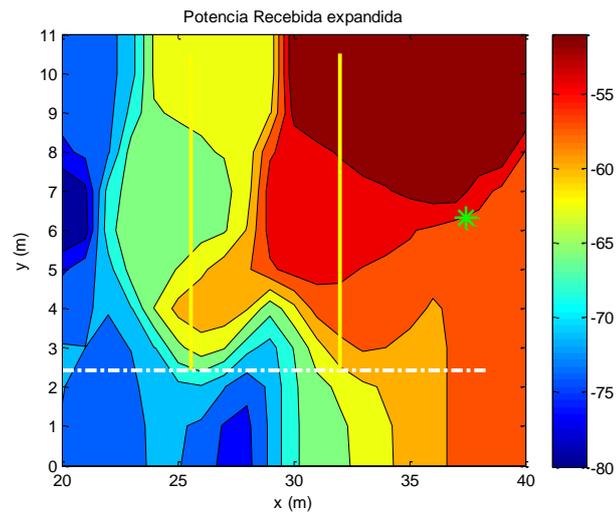


Figura 6.4 – Medidas de potência recebida interpoladas

As Fig. 6.5 e Fig. 6.6 apresentam respectivamente, os resultados da potência recebida quando é aplicado o modelo de Padè e o modelo do fator de atenuação de Seidel e Rappaport [33]. A escolha do modelo de Seidel e Rappaport se deu devido ao grande uso na literatura e por isso, é geralmente utilizado como modelo de referência para a criação de novos modelos. Também se observa analisando as Fig. 6.5 e 6.6 que ambos os resultados dos modelos possuem a mesma tendência. A metodologia permite inserir as perdas associadas a cada parede assim como o número de paredes do que serão atravessadas pelo sinal. Nota-se que o efeito da atenuação nas paredes é maior para o modelo de Padè do que para o modelo de Seidel e Rappaport.

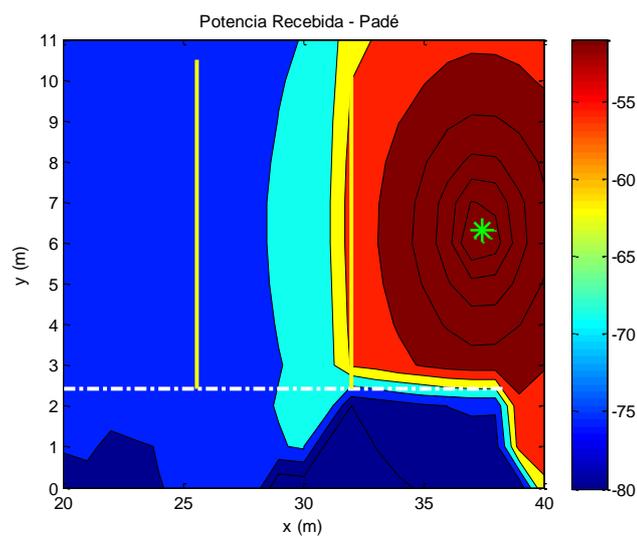


Figura 6.5 – Predição do nível de potencia recebida dada pela simulação considerando o modelo de Padè.

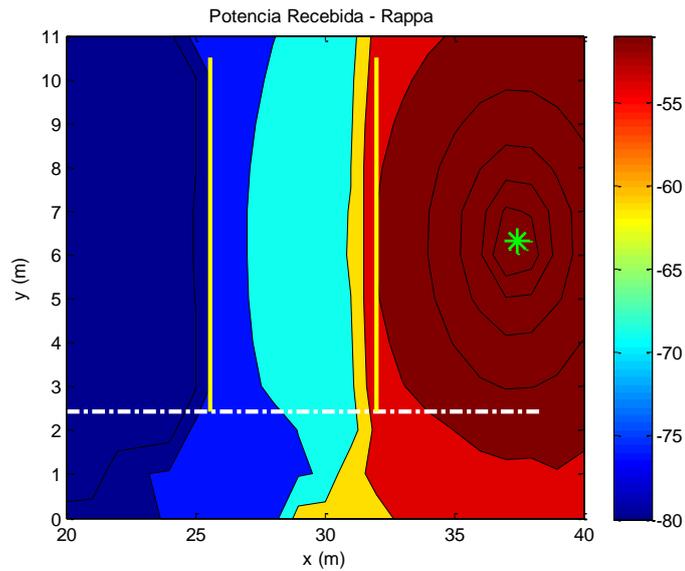
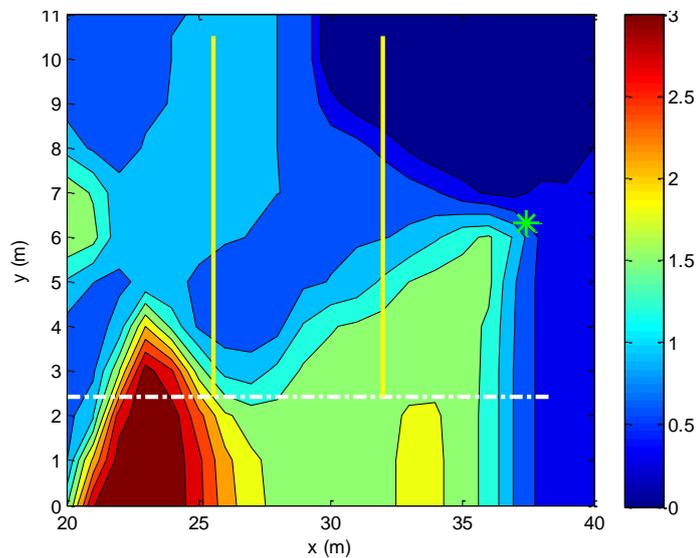


Figura 6.6 – Predição do nível de potencia recebida dada pela simulação considerando o modelo de Seidel e Rappaport.

Em cada ponto marcado na Fig. 6.3 como foi abordado no inicio desse capítulo, foram realizados três transmissões de um vídeo e foram coletados parâmetros sobre o comportamento da rede e parâmetros relacionado com a qualidade do vídeo recebido. Nas Fig. de 6.7 até Fig. 6.12, são mostrados os resultados para cada parâmetro estudado, tanto para medidas expandidas quanto os resultados do modelo aplicado para cada métrica.



(a)

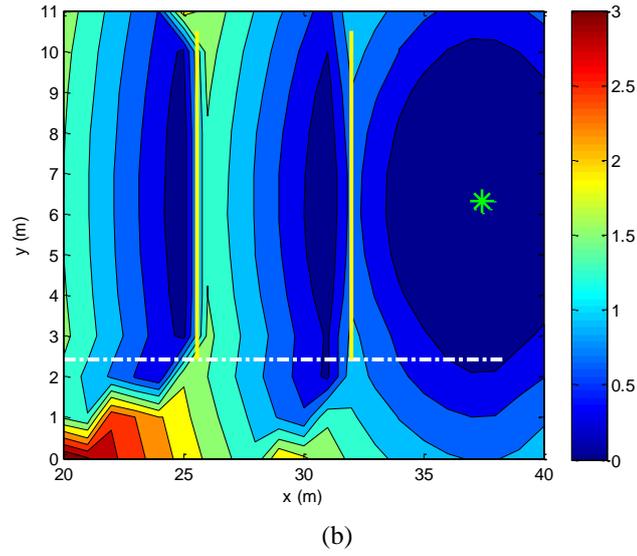


Figura 6.7 – Jitter de Pacotes (s): a) Medidas Interpoladas. B) saída do Modelo

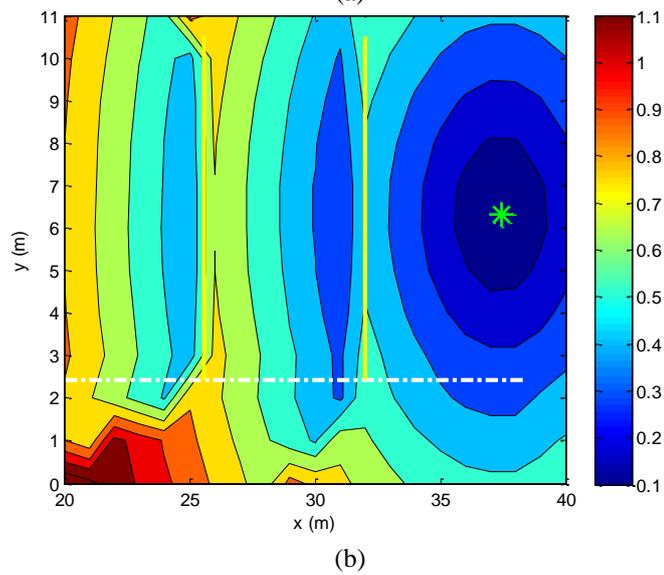
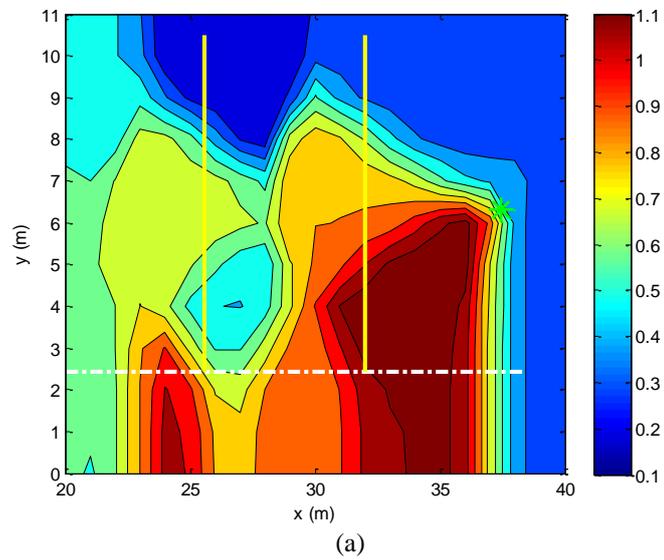
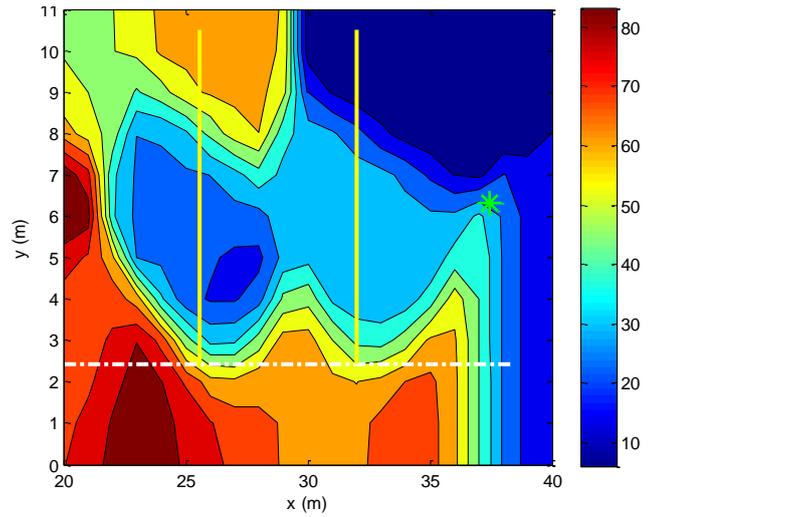
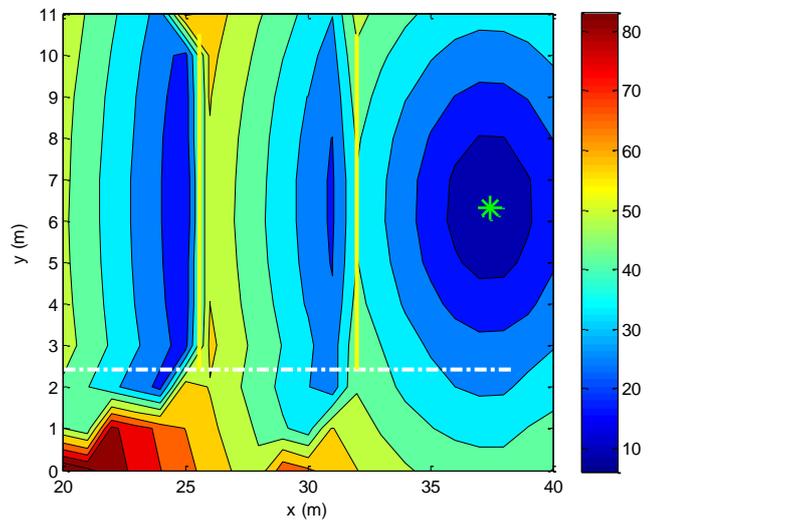


Figura 6.8 – Jitter de Frame (s): a) Medidas Interpoladas b) Saída do Modelo

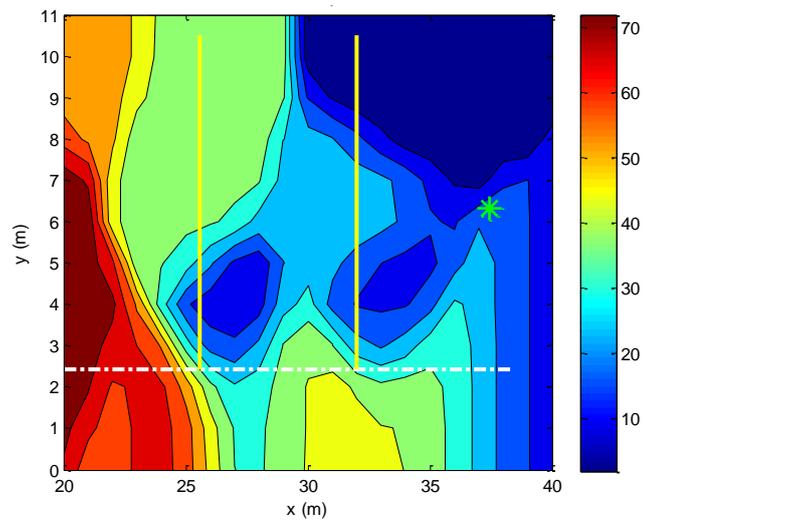


(a)

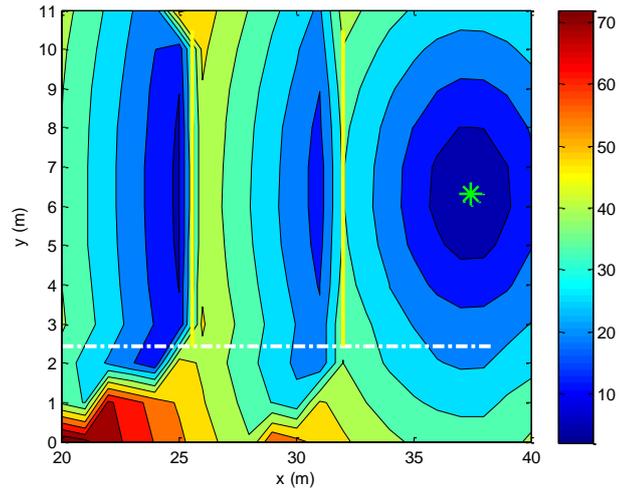


(b)

Figura 6.9 – Perda de frames (%): a) Medidas Interpoladas b) Saída do Modelo

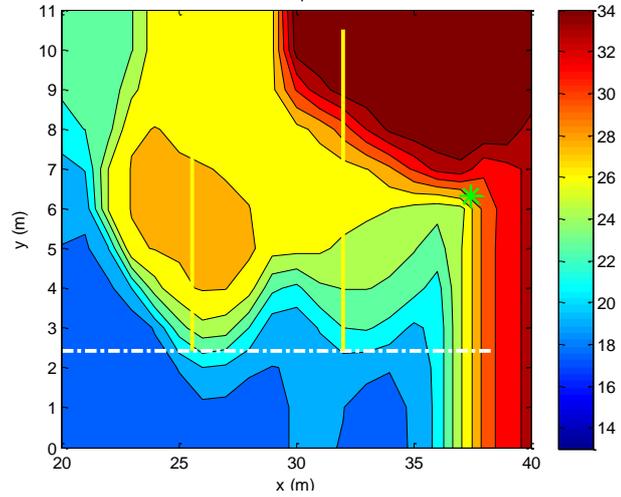


(a)

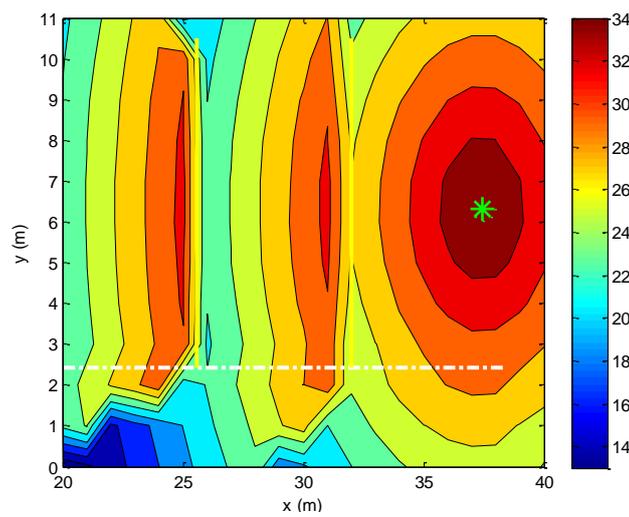


(b)

Figura 6.10 – Perda de Pacotes (%): a) Medidas Interpoladas b) Saída do Modelo



(a)



(b)

Figura 6.11 – PSNR (dB): a) Medidas Interpoladas b) Saída do Modelo

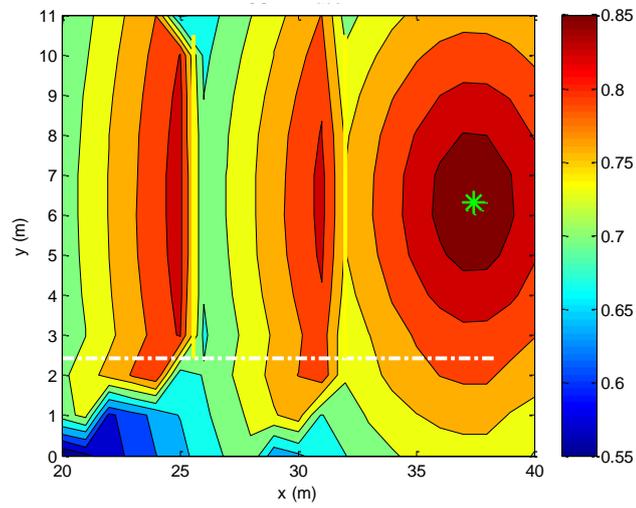
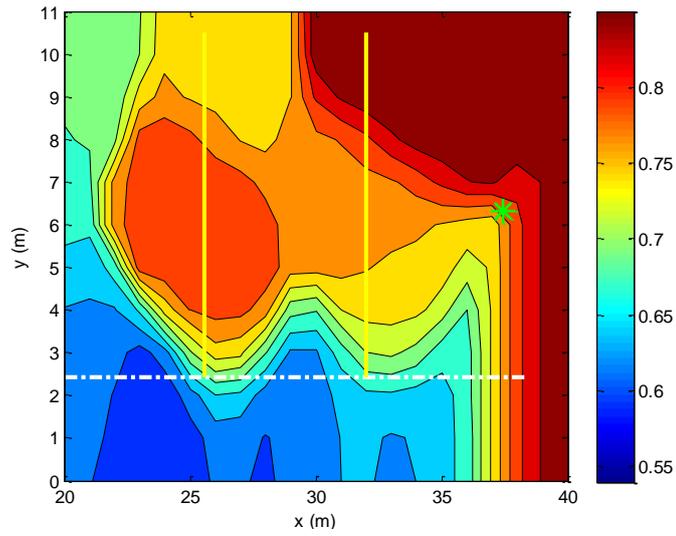
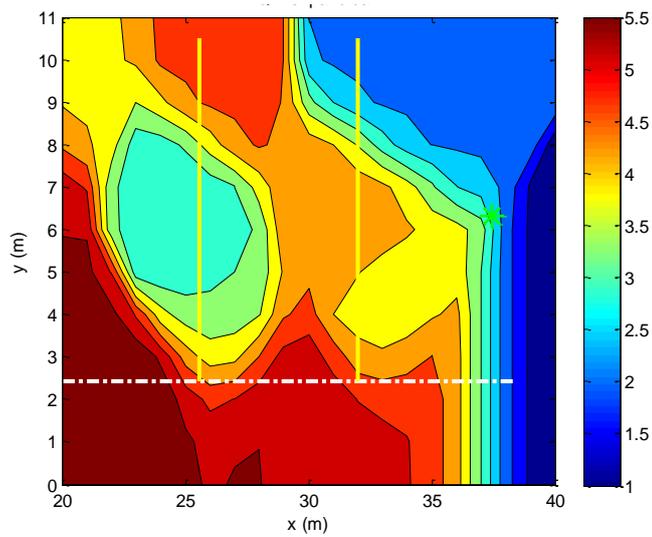
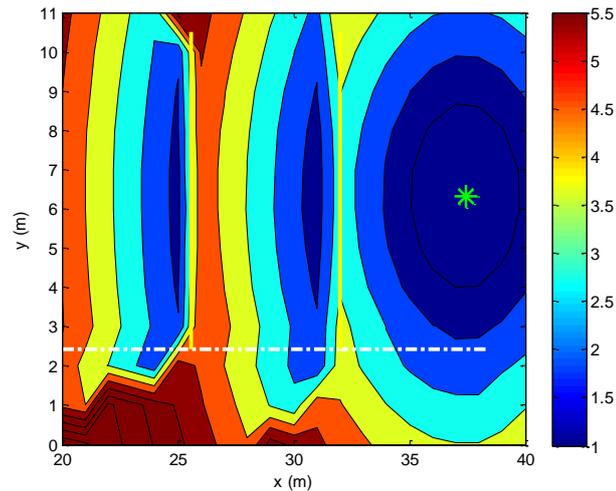


Figura 6.12 – SSIM: a) Medidas Interpoladas b) Saída do Modelo





(b)

Figura 6.13 – VQM: a) Medidas Interpoladas b) Saída do Modelo

O comportamento geral do modelo para cada métrica é adequado, ou seja, o modelo tem o comportamento esperado para cada métrica medida. Pode ser verificado que quanto mais próximo do ponto de acesso, melhor é o valor da métrica e conforme aumenta a distância, os valores tendem a piorar. Para as métricas *jitter* de pacotes/frames, perda de pacotes frames e VQM, os resultados possuem a mesma tendência, ou seja, quanto mais próximo do ponto de acesso, menores são os valores de *jitter*, perdas e o valor do VQM, essa região é caracterizada pela cor azul, conforme escala de cores da barra lateral dos gráficos. Além disso, conforme a distância vai aumentando, os valores dessas métricas aumentam também representados graficamente com aproximações para a cor vermelho escuro.

De forma semelhante, mas com tendência contrária, as métricas de PSNR, SSIM e a potência (sobre a potência já foi abordada anteriormente), possuem valores maiores (cor vermelho escuro) próximos ao ponto de acesso e esses valores vão piorando (cor azul) conforme se afasta do ponto de acesso. Portanto, o modelo é adequado, pois para cada métrica medida, o modelo consegue se ajustar e isso ocorre mesmo para um número reduzido de dados medidos.

Para validação dos resultados, foi adotada uma metodologia através do uso de radiais como mostrado na Fig. 6.14 para o ambiente estudado.

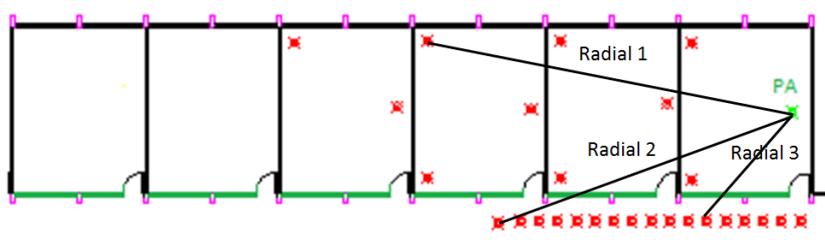
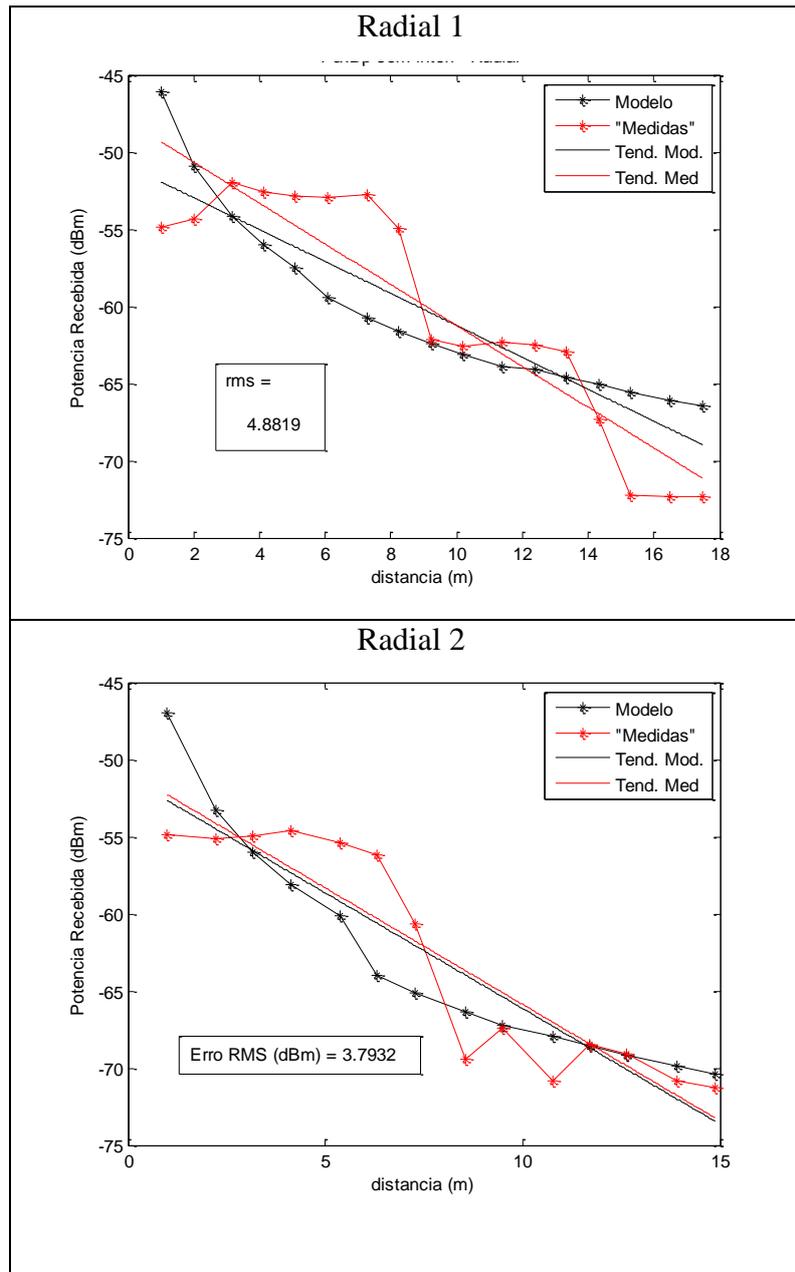


Figura 6.14 – Planta baixa do pavilhão de aulas com radiais marcadas.

O objetivo da análise através de radiais é estudar o comportamento dos valores das métricas geradas em função da distância. Uma comparação com os dados medidos/interpolados também é realizada. Os gráficos das Fig. 6.15 até Fig. 6.22 apresentam os resultados de três radiais para cada métrica. O valor do erro RMS para cada radial é mostrado no próprio gráfico e o conjunto com todos os erros para todas as métricas é mostrado na tabela 6.1.



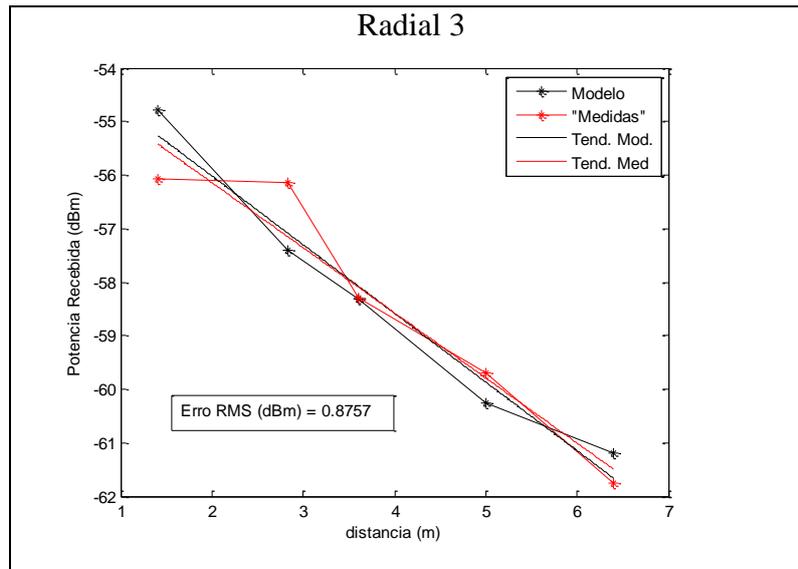
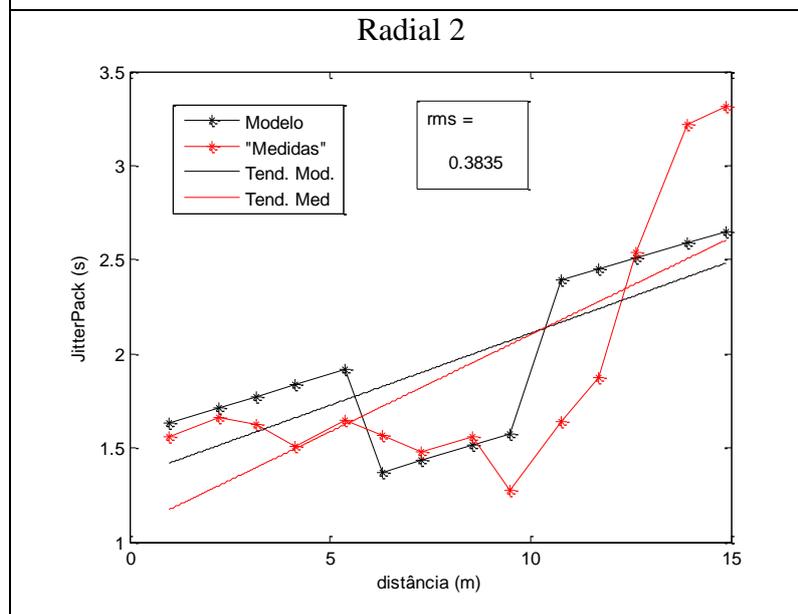
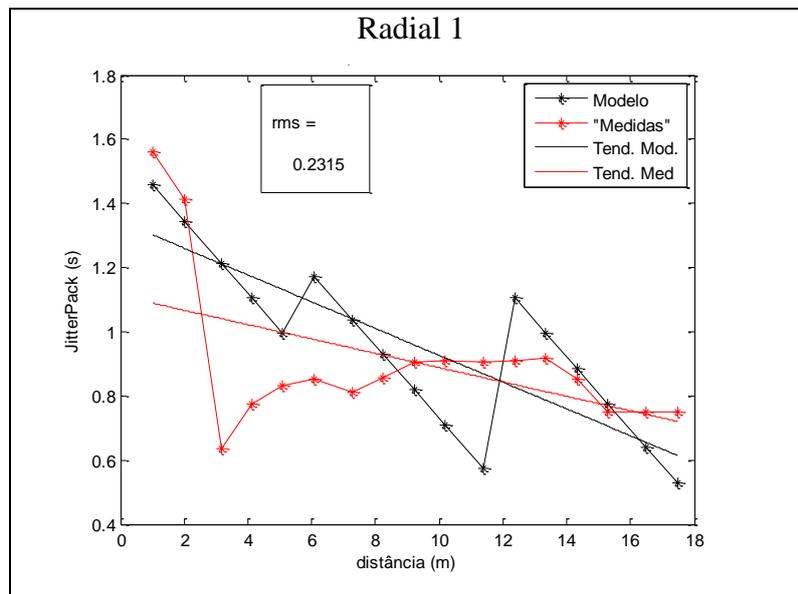


Figura 6.15 – Potência recebida versus distância (Radiais)



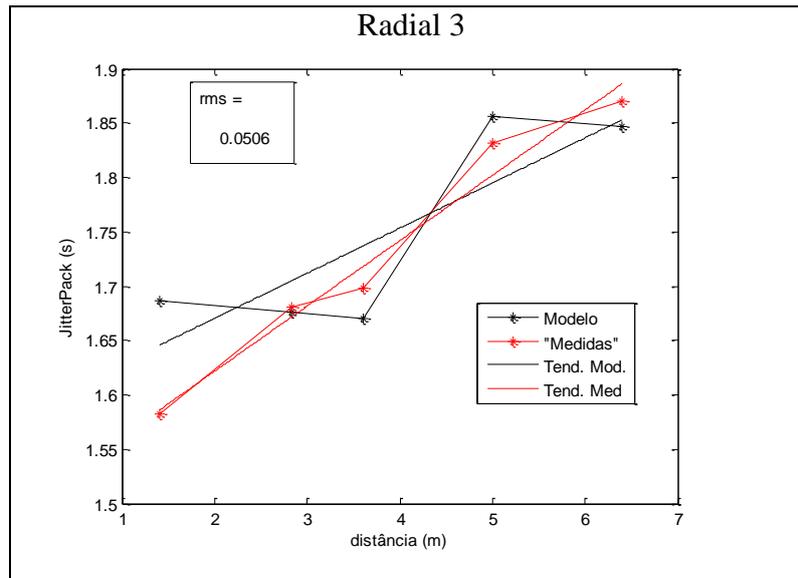
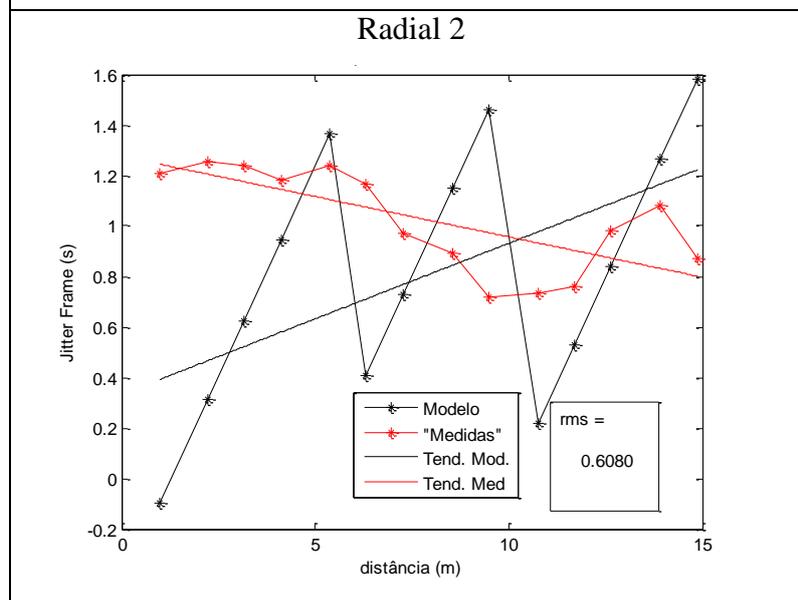
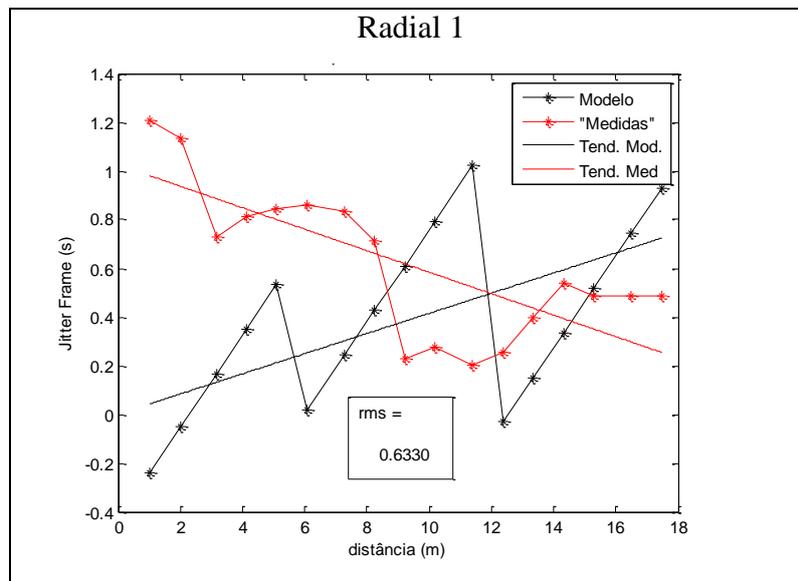


Figura 6.16 – Jitter de pacotes versus distância (Radiais)



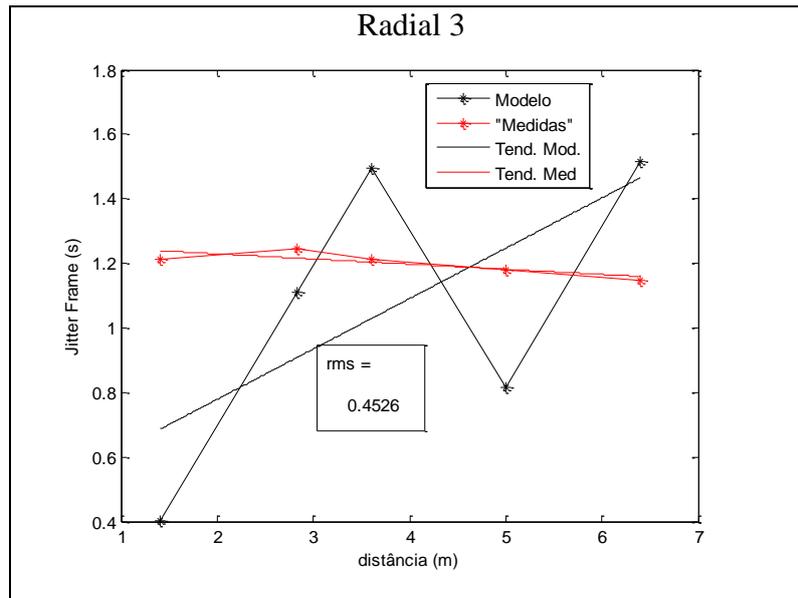
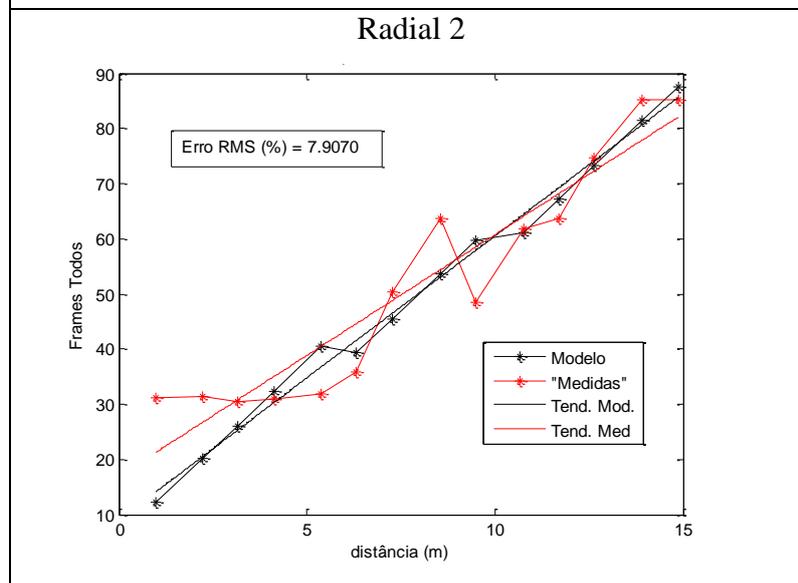
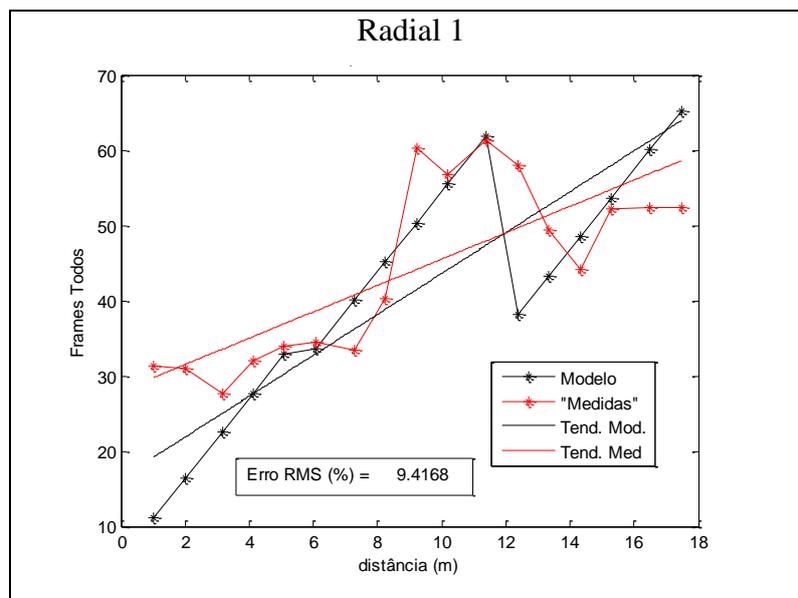


Figura 6.17 – Jitter de Frames versus distância (Radiais)



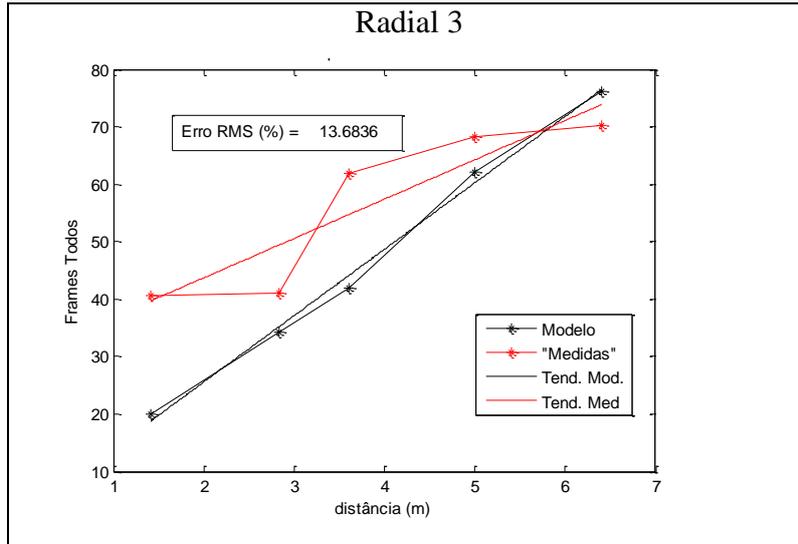
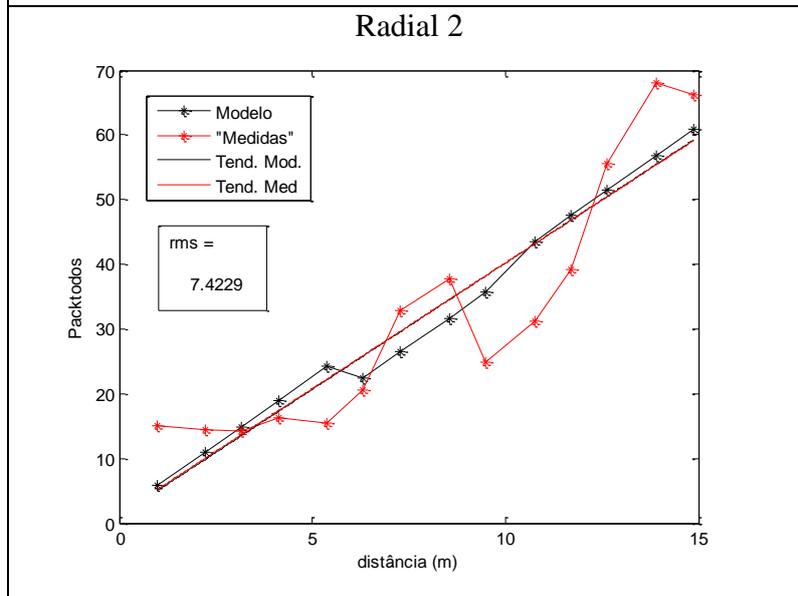
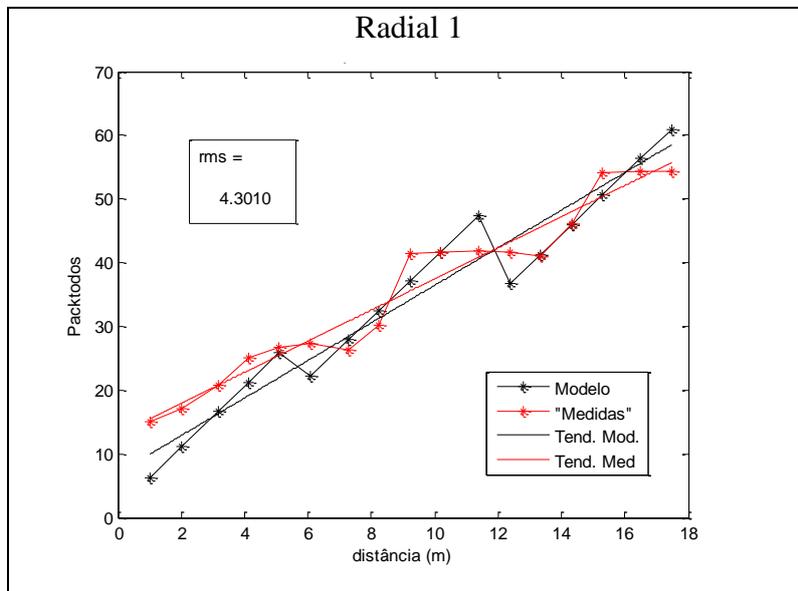


Figura 6.18 – Perda de Frames versus distância (Radiais)



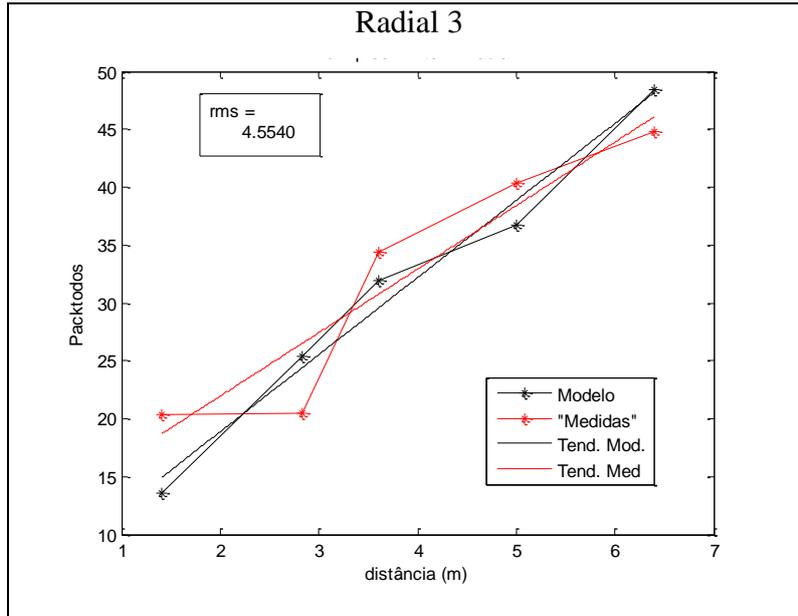
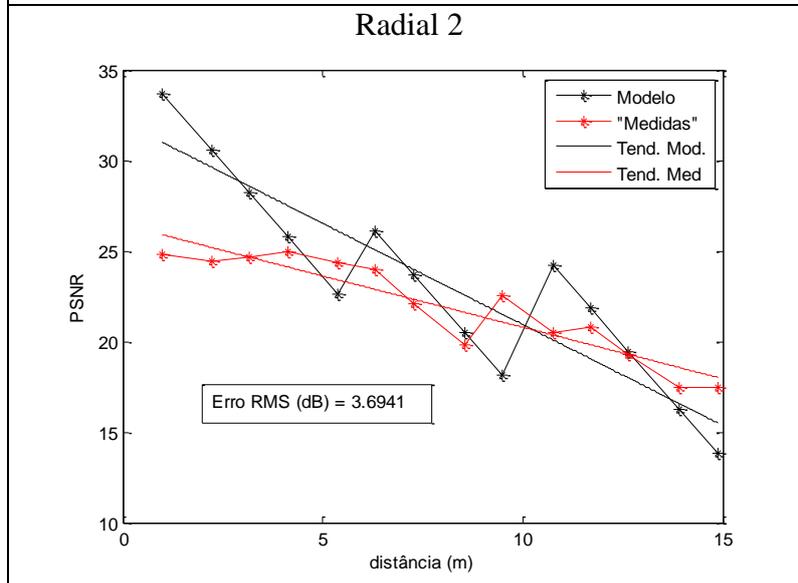
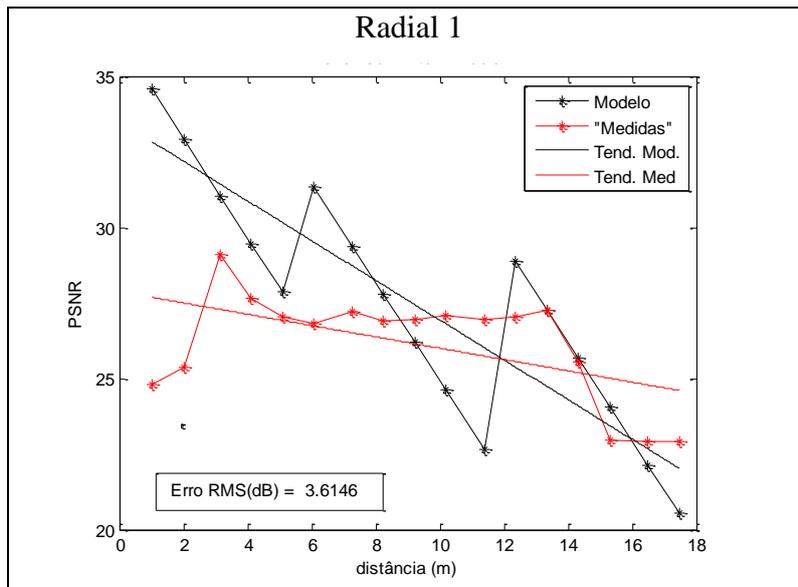


Figura 6.19 – Perda de pacotes versus distância (Radiais)



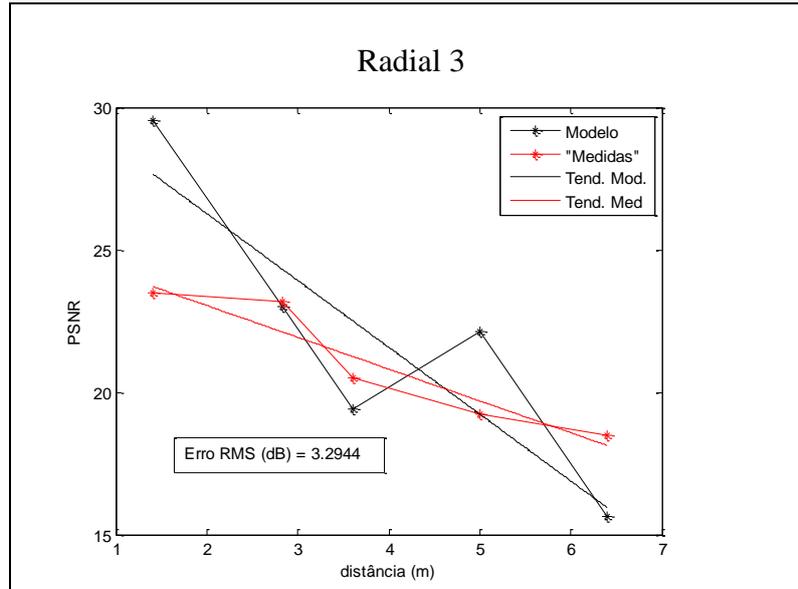
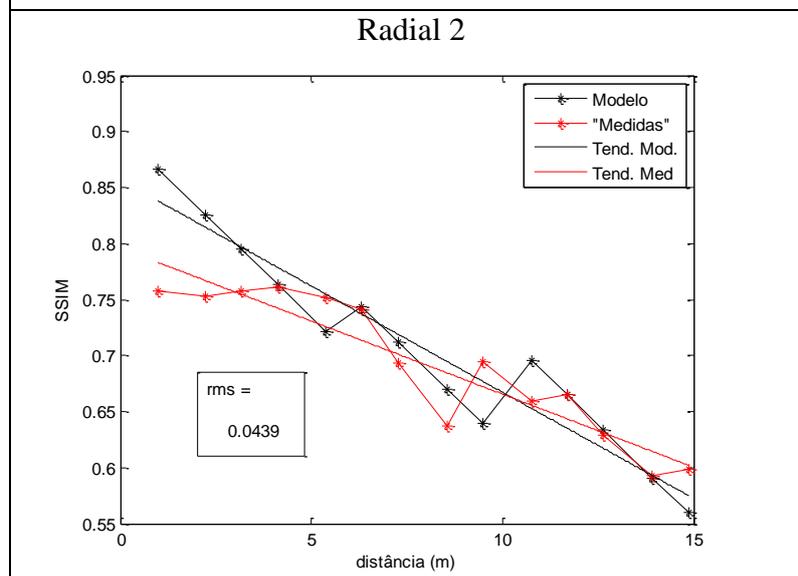
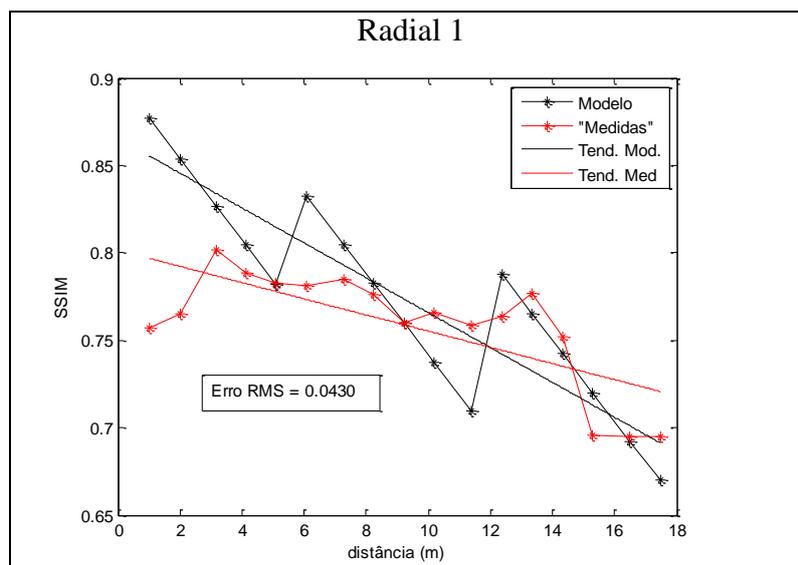


Figura 6.20 – PSNR versus distância (Radiais)



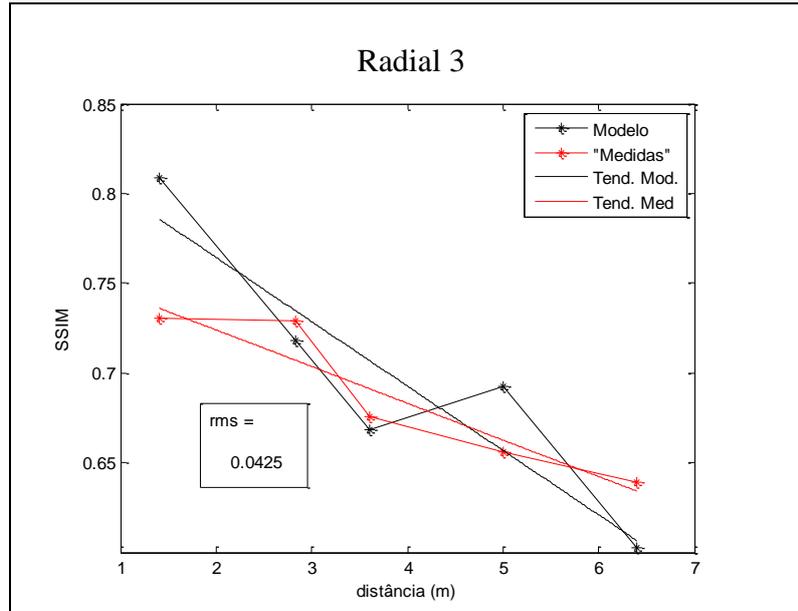
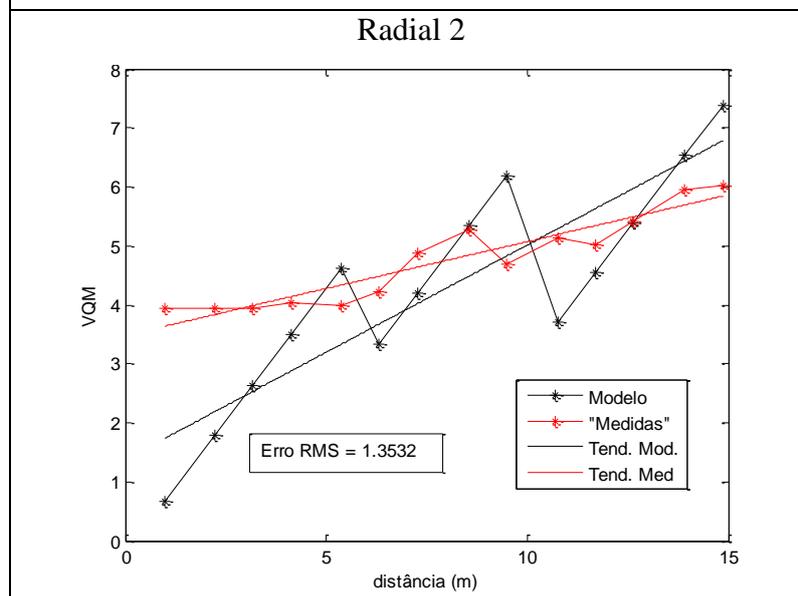
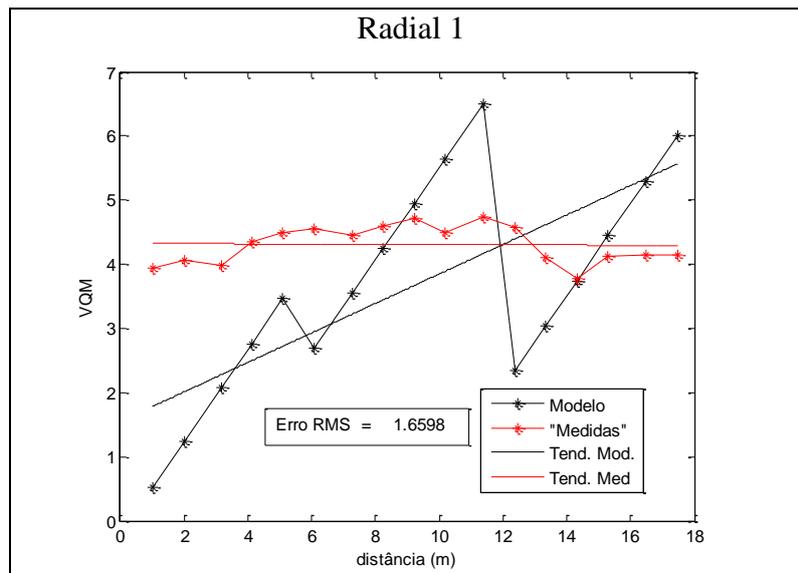


Figura 6.21 – SSIM versus distância (Radiais)



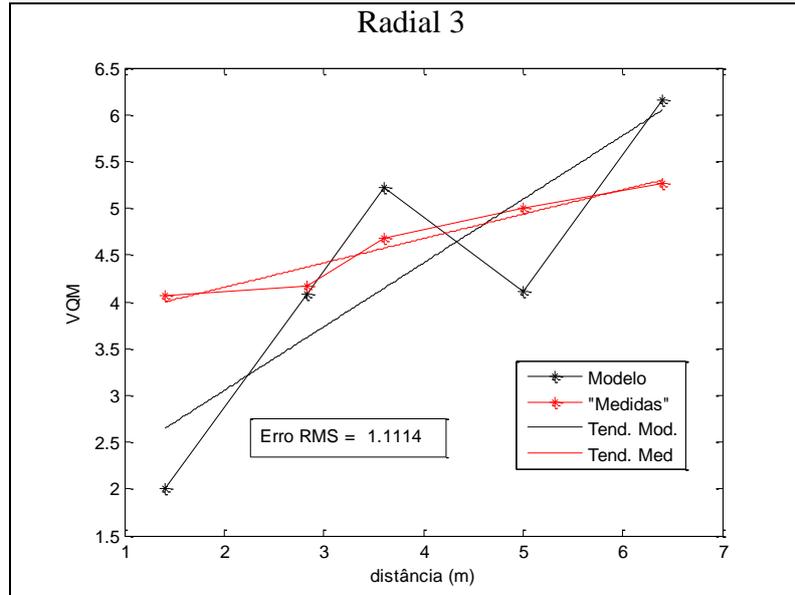


Figura 6.22 – VQM versus distância (Radiais)

Tabela 6.1 – Conjuntos dos erros RMS para todas as métricas considerando as três radiais.

Erro RMS	Radial 1	Radial 2	Radial 3
Potência Recebida (dB)	4,8819	3,7932	0,8757
Jitter de Pacotes (s)	0,2315	0,3835	0,0506
Jitter de frames (s)	0,6330	0,6080	0,4526
Perda de Pacotes (%)	9,4168	7,9070	13,6836
Perda de Frames (%)	4,3010	7,4229	4,5540
PSNR (dB)	3,6146	3,6941	3,2944
SSIM	0,0430	0,0439	0,0425
VQM	1,6598	1,3532	1,1114

Para o cenário de estudo, a avaliação da metodologia apresentou erros toleráveis de RMS e em geral permite caracterizar o ambiente onde os testes foram realizados de forma adequada. Para o *setup* de rede utilizado, algumas métricas tem um comportamento esperado, porém em alguns casos, métricas como *jitter* podem variar de forma mais sensível a outros aspectos da rede, como taxa de erros de bits, codificação ou mesmo pelo fato de que o pacote pode trafegar por diferentes rotas dentro de uma rede, logo esses fatores podem dificultar a

caracterização do comportamento com a distância. Para essas métricas é necessário um estudo mais detalhado considerando outras configurações de redes e cenários.

Outra abordagem realizada para analisar os resultados foi feita através do estudo do ambiente através de anéis, conforme visto na Fig. 6.23. Assim, cada área do anel pode ser caracterizada de forma a considerar o ambiente como homogêneo. Sendo assim, o ambiente onde foram realizadas medições foi dividido em três anéis.

Para cada anel foi calculada a média dos valores de potência recebida e calculado o desvio padrão. Através disso é possível compreender quais medidas estão afetando mais a variação dos dados e assim estabelecer análises pontuais. Uma vez tendo os valores das médias para cada anel, é possível modelar os valores médios encontrados, que no caso dos dados de potência recebida, foi modelada por uma equação logarítmica (EQLA, equação log. obtida a partir das médias dos anéis) conforme observado no gráfico 5.24.

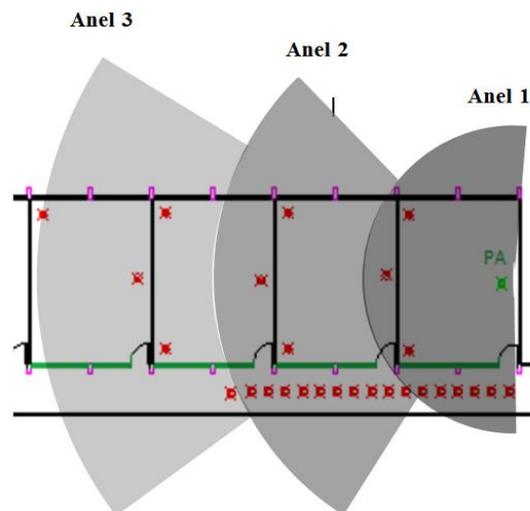


Figura 6.23 – Esquema da metodologia baseada em abordagem em anéis.

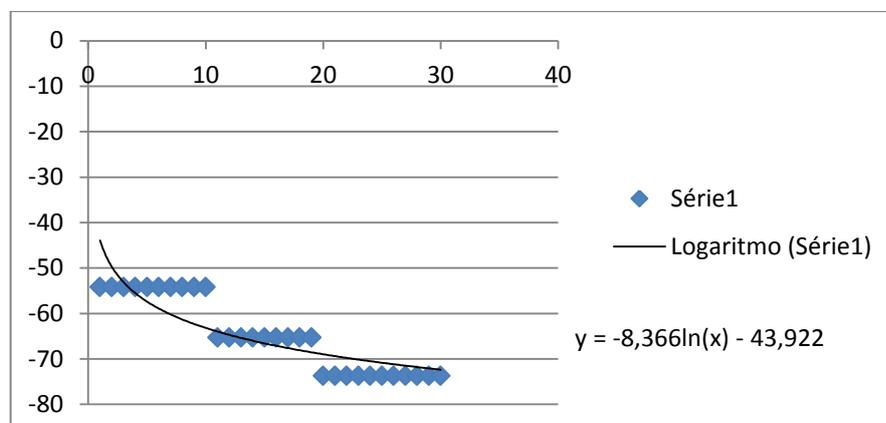


Figura 5.24 – Modelagem da equação a partir dos anéis.

Após essa etapa, pode-se então comparar os valores obtidos pela função (EQLA) em função da distância com os valores obtidos pela metodologia proposta para cada radial separadamente. Para ter uma maior representatividade, foram escolhidas as radiais que abrangessem os três anéis, conforme pode ser visto na Fig. 6.25.

Os gráficos das Fig. 6.26 até Fig. 6.29 mostram a comparação da curva dada através da abordagem em anel com os valores preditos tanto para as radiais quanto com os dados medidos/interpolados para a potência recebida.

Para a análise, foi escolhido o parâmetro de potência recebida, pois é um parâmetro específico do *setup* da rede de estudo, e na metodologia, utilizam-se os dados de potência para criar um fator de correção para todas as outras métricas. Assim, é possível aplicar a metodologia a outros *setups* através do ajuste desse fator de correção.

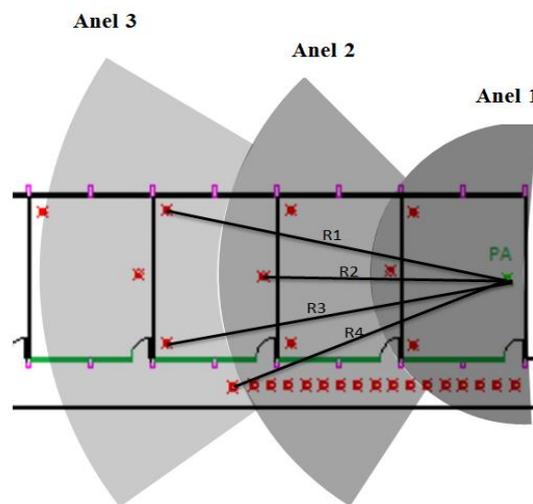


Figura 6.25 – Radiais dos pontos medidos/interpolados para comparar com a metodologia em anel.

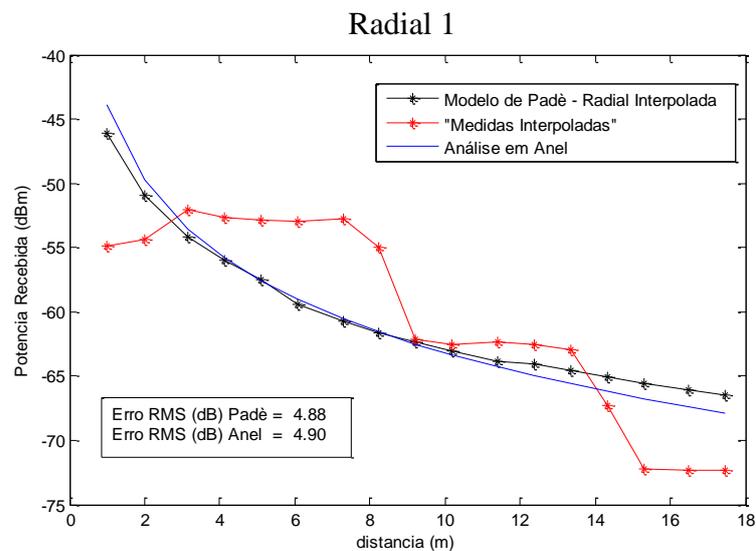


Figura. 6.26 – Comparação dos resultados para radial 1 considerando as duas abordagens.

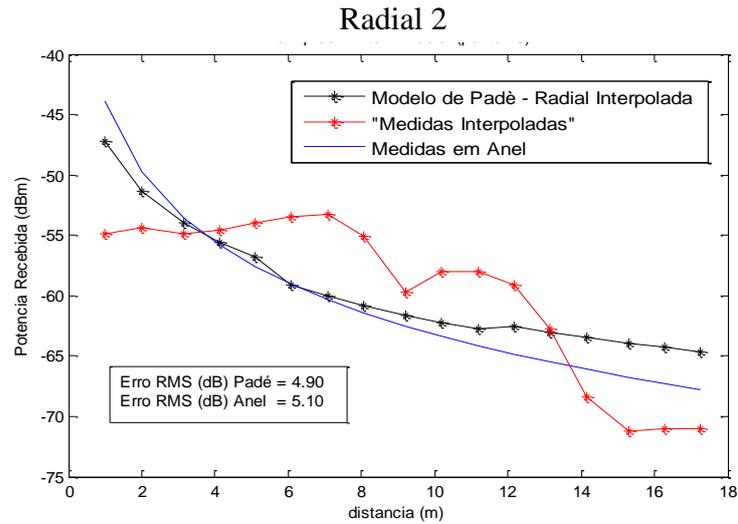


Figura. 6.27 – Comparação dos resultados para radial 2 considerando as duas abordagens.

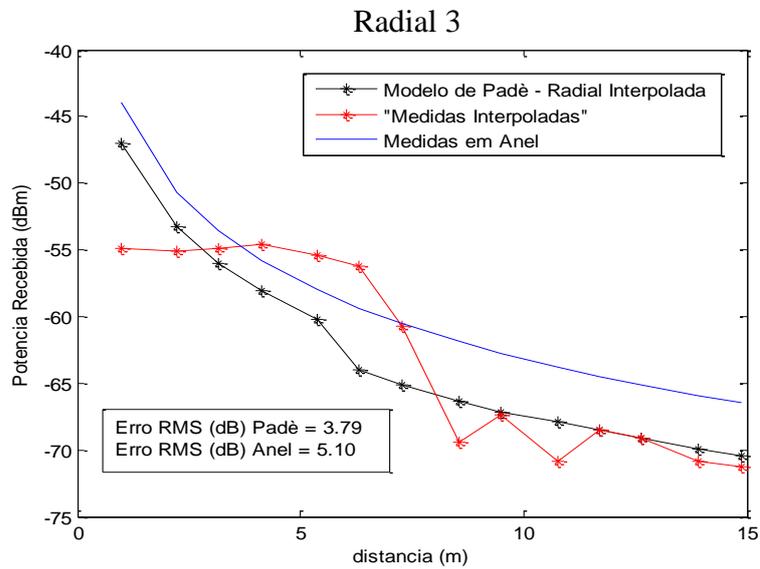


Figura. 6.28 – Comparação dos resultados para radial 3 considerando as duas abordagens.

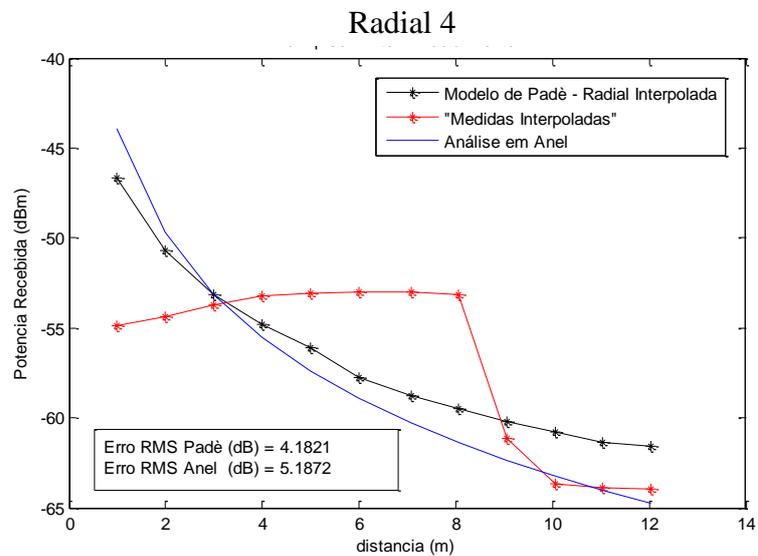


Figura. 6.29 – Comparação dos resultados para radial 4 considerando as duas abordagens.

Os valores de erro RMS são mostrados na tabela 6.2 a seguir:

Tabela 6.2 - Erros RMS (dB) para a análise dos resultados em radial e em anel.

	Erro RMS (dB) Abordagem em Radial	Erro RMS (dB) Abordagem em Anel
Radial 1	4,88	4,90
Radial 2	4,90	5,10
Radial 3	3,79	5,10
Radial 4	4,18	5,18

Conforme observado na tabela 6.2, o erro RMS das duas abordagens em relação aos dados medidos são considerados razoáveis, ou seja, a expansão dos pontos medidos para potência recebida está coerente.

6.4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nesse capítulo foi abordada a metodologia utilizada na dissertação. Foram mostradas as etapas realizadas e os resultados foram apresentados para cada métrica estudada. Os resultados foram validados através da comparação entre duas abordagens e os erros RMS foram calculados para todos os parâmetros. Conclusões sobre esses resultados e sugestões de trabalhos na mesma área serão discutidas nas conclusões.

CAPÍTULO 6 – CONCLUSÃO

O trabalho desenvolvido tem como objetivo avaliar, em termos de parâmetros de QoS/QoE obtidos de transmissões de vídeo em uma rede sem fio. Foi utilizada a metodologia proposta em [8] que caracteriza a rede sem fio em termos de parâmetros de QoS a partir de medidas de transmissões de serviços VoIP.

Essa metodologia leva em consideração alguns parâmetros de qualidade de serviços e parâmetros de qualidade de experiência. Foi feita uma campanha de medições em um dos prédios da Universidade Federal do Pará e foi proposta uma adição de um fator em um modelo empírico para estimar a área de cobertura a partir de uma abordagem nas campanhas de medições realizadas.

Essas campanhas foram feitas no prédio de salas de aulas, pertencente ao Instituto de Tecnologia da UFPA. A rede montada foi uma WLAN, com frequência em 2.4 GHz. Foram realizadas campanhas de medições no prédio de pavilhão de aulas. Dessas medições, foram coletados parâmetros de transmissões de vídeo em alguns pontos, valores de nível de potência, distância em metros até o ponto de acesso. Esses dados foram tratados e foram obtidas algumas métricas que caracterizam o desempenho da rede para os serviços, que no caso de transmissões em vídeo foram *jitter* entre os pacotes/frame e perda de pacotes/frames.

Outras métricas também foram coletadas referentes a percepção do usuário quanto a qualidade do vídeo recebido. Essas métricas são o PSNR, SSIM, VQM. Esses dados foram utilizados para verificação da metodologia proposta.

Confirma-se neste trabalho que os modelos empíricos são de simples aplicabilidade, evitando assim, ter que sempre obter muitas medidas das redes reais, diminuindo custos de implantação de redes para testes. Outra vantagem desses modelos é em relação ao baixo esforço computacional exigido em comparação com outros modelos determinísticos. Uma possível dificuldade dessa metodologia é o fato de usar o conhecimento das plantas baixas dos imóveis, o que pode ser facilmente adquirida pelos responsáveis desses imóveis.

Para a avaliação da metodologia proposta, foi realizada uma abordagem através de radiais e, para verificar se essa abordagem é válida, foi feito também uma análise que permitisse dividir o ambiente em anéis. Assim, foi possível separar o ambiente em várias áreas homogêneas onde foi comparada tanto a curva dada pela função de ajuste desses anéis, quanto os valores obtidos das radiais dadas pelo modelo, ambas comparando com os dados interpolados.

A aplicação da metodologia mostrou ser adequada para avaliar serviços de vídeo em uma rede *indoor*. O comportamento de cada métrica foi verificado e para esse *setup* de rede escolhido foi possível avaliar essas métricas em função da distância através do uso de um fator de correção (QoS/QoE_{zero}) dado a partir das medidas de potência recebida, permitindo a possível avaliação de outros ambientes *indoor*.

6.1 TRABALHOS FUTUROS

Algumas recomendações para os próximos trabalhos nessa área sugerem-se:

- Tornar a metodologia apresentada nesse trabalho mais acessível de ser utilizada, ou seja, permitir ter como entrada do sistema, arquivos de planta baixa e algumas informações como a frequência de operação, número de pisos e paredes, perdas dos materiais. Assim, auxiliando projetos de redes sem fio.
- Aumentar a base de dados com novas campanhas de medições no mesmo ambiente e em outros cenários *indoor* e testar o modelo para cenários diferentes.
- Reforçar o modelo através de um estudo mais aprofundado das métricas e de que forma elas podem se correlacionar. Verificar a(s) métrica(s) de maior correlação e estabelecer novos domínios de análise.
- Estudos de outras métricas que qualidade de QoS/QoE e a correlação com a potência recebida e a distância.
- Implementação do Modelo de Padè com ajuste de QoS/QoE em softwares comerciais e open-sources objetivando melhorar o desempenho de simulação desses simuladores.
- Avaliar os parâmetros de QoS/QoE para outros serviços, outros ambientes e outras frequências.

Trabalhos completos publicados em anais de congressos:

1. **BRAGA, A. S.**; LOPES, R. L. F.; RODRIGUES, J. C.; ARAUJO, J. P.; FRAIHA, S. G. C.; GOMES, H.; CAVALCANTE, G. P. S.; *Coverage Area Simulation for Indoor 4G Networks in 2.6 GHz and 3.5 GHz*. The 8th European Conference on Antennas and Propagation, The Hague, 2014.
2. **BRAGA, A. S.**; ARAUJO, J. P.; RODRIGUES, J. C.; COSTA, A. B.; LOPES, R. L. F.; GOMES, H.; FRAIHA, S. G. C.; CASTROS, B. S. L.; CAVALCANTE, G. P. S.; *Implementation of a New Propagation Model for 5.8GHz Systems in OPNET Simulator*. The 7th European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP), Gothenburg. 2013.
3. LOPES, R. L. F.; COSTA, A. B.; **BRAGA, A. S.**; GOMES, H.; RODRIGUES, J. C.; ARAUJO, J. P.; CASTRO, B. S. L.; CAVALCANTE, G. P. S.; *Empirical ARMA Outdoor Propagation Model for Amazon Cities*. The 7th European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP), Gothenburg, 20

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] K. Daniel Wong, “Fundamentals of wireless communication engineering technologies”, Wiley, 2012.
- [2] Zyoud, A. H., Chebil, J., Habaebi, M. H., Islam, M. R., Zeki, A. M., “Comparison of Empirical Indoor Propagation Models for 4G Wireless Networks at 2.6 GHz”, International Conference on Control, Engineering & Information technology, Vol. 3, pp. 7-11, 2013.
- [3] Valcarce, A., Zhang, J., “Empirical Indoor-to-Outdoor Propagation Model for Residential Areas at 0.9–3.5 GHz” IEEE Antennas and Propagation Letters, Vol. 9, 2010.
- [4] Iborra, R. S., Cano, M. D., Haro, J. G., “On the effect of the physical layer on VoIP Quality of user Experience in wireless networks” IEEE ICC’13 – 3rd IEEE International Workshop on Smart Communication Protocols and Algorithms, 2013.
- [5] Oliveira, R. S., “Predição de Qualidade de Experiência em Redes WiMAX em Aplicações de Vídeo baseada em Aspectos de Qualidade de Serviço”, Dissertação de Mestrado, PPGEE-UFPA, 2011.
- [6] Kondratyeva, O., Cavalli, A., Kushik, N., Yevtushenko, N., “Evaluating Quality of Web Services: a Short Survey”, IEEE 20th International Conference on Web Services, 2013.
- [7] Shen, Y., Liu, Y., Qiao, N., Sang, L., Yang, D., “QoE-based Evaluation Model on Video Streaming Service Quality”, GC’12 Workshop: Quality of Experience for Multimedia Communications, 2012.
- [8] Fraiha, S. G. C., “Localização Ótima de Pontos de Acesso em Ambientes Indoor em Projetos de Sistemas Wireless” Tese de Doutorado, PPGEE-UFPA, 2009.
- [9] Rodrigues, J. C., “Planejamento de Redes de Comunicação Sem Fio para Ambiente Indoor Considerando os Efeitos da Polarização das Antenas: Abordagem Baseada em medições” Tese de Doutorado, PPGEE-UFPA, 2011.
- [10] Araújo, J. P. L., “Estratégia de Planejamento e Otimização de Sistemas Sem Fio, Considerando Redes Interferentes: Abordagem Baseada em Cross-Layer” Tese de Doutorado, PPGEE-UFPA, 2011.
- [11] Lopes, R. L. F., “Modelagem Paramétrica Linear Aplicada à Faixa de Sinal de Televisão Digital Para Cidades Densamente Arborizadas” Dissertação de Mestrado, PPGEE-UFPA, 2011.
- [12] Rappaport, T. S., “Comunicações Sem Fio: Princípios e Práticas”, 2. ed., São Paulo Prentice Hall, 2009.

- [13] Neskovic, A., Neskovic, N., Paunovic, D. “Modern approaches in Modeling of Mobile Radio Systems Propagation Environment”. IEEE Communication Surveys, Third Quarter 2000, pp. 2-12.
- [14] Saunders, S., “Antennas and Propagation for Personal Communications”, Artech House, Inc., 1995.
- [15] Fraiha, S. G. C., Rodrigues, J. C., Barbosa, R. N. S., Gomes H. S., Cavalcante, G. P. S., “An Empirical Model for Propagation-Loss Prediction in Indoor Mobile Communications Using the Padé Approximant”, Microwave and Optical Technology Letters, vol. 48, no 2, p. 255-261, February 2006.
- [16] Johnson, T., Margalho, M., “Avaliação de Desempenho de Sistemas Computacionais”, Rio de Janeiro, LTC, 2011.
- [17] Jain, R. K., “The Art of Computer Systems Performance Analysis: Techniques for Experimental Design, Measurement, Simulation, and Modeling”, Wiley, 1991
- [18] Filho, P.J.F., “Introdução à modelagem e Simulação de Sistemas: com Aplicação em Arena”, 2. Ed., Florianopolis, Visual Books, 2008.
- [19] Carvalho, E. M., “Modelagem e Simulação de Desempenho de Redes de Computadores” Especialização, UEL, Londrina, 2005.
- [20] Greengrass, J., Evans, J. Begen, A. C.; “Not All Packets Are Equal, Part I Streaming Video Coding and SLA Requirements” IEEE Internet Computing, 2009.
- [21] Zhou, Y. D. W., Chen, B., Song. J., Du, Y., “A QoE Based Evaluation of Service Quality in Wireless Communication Network” International Conference on New Trends in Information and Service Science, 2009.
- [22] Vishwanth, A., Gupta, P., Dutta, P., Kalyanaraman, S. Chetlur, M., Ghosh, A., “Perspectives on Quality of Experience for Video Streaming Over WiMAX” Mobile Computing and Communications Review, 2010.
- [23] Kin, H. J., Choi, S. G., “A Study on a QoS/QoE Correlation Model for QoE Evaluation on IPTV Service”, 12th International Conference on Advanced Communication Technology, 2010.
- [24] Costa, G. C., “Métricas para Avaliação de Desempenho em Redes QoS Sobre IP”, especialização, UFRS, 2008.
- [25] Xiao, F. “DCT-based Video Quality Evaluation”, Final Project for EE392J, Winter 2000.
- [26] Evalvid - Video Evaluation tool, disponível em <http://www2.tkn.tuberlin.de/research/evalvid/EvalVid/docevalvid.html> Acessado em 07 de Junho de 2014.

- [27] MSU Graphics & Media Lab (Video Group). Disponível em: http://compression.ru/video/quality_measure/video_measurement_tool_en.html, Acessado em 07 de Junho de 2014.
- [28] IPERF. Disponível em: <https://iperf.fr/> Acessado em 07 de Junho de 2014.
- [29] WirelessMon. Disponível em: <http://www.wirelessmon.com>. Acessado em 07 de Junho de 2014.
- [30] FFmpeg. Disponível em: <http://ffmpeg.org/>. Acessado em 07 de Junho de 2014.
- [31] Brezinski, C., “Padé – Type Approximation and General Orthogonal Polynomials”, Birkhauser Verlag Basel, 1980.
- [32] Baker, G. A. J., Morris, P. G., “Padé Aproximants”, New York: Cambridge University Press, 1996.
- [33] S.Y. Seidel, T. S. Rappaport; “914 MHz Path Loss Prediction Models for Indoor Wireless Communications in Multifloored Buildings”, IEEE Transactions on Antennas and Propagation, vol. 40, no. 2, pp. 207-217, Fev. 1992.