



Universidade Federal de Campina Grande  
Centro de Engenharia Elétrica e Informática  
Unidade Acadêmica de Engenharia Elétrica

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**Análise da Qualidade de Vídeos Transcodificados Transmitidos por meio  
dos canais AWGN e *Rayleigh***

**Orientador:** Marcelo Sampaio de Alencar

**Aluna:** Raissa Bezerra Rocha

Campina Grande – PB  
Julho de 2010

Universidade Federal de Campina Grande  
Centro de Engenharia Elétrica e Informática  
Unidade Acadêmica de Engenharia Elétrica

Trabalho de Conclusão de Curso

**Análise da Qualidade de Vídeos Transcodificados Transmitidos por meio dos canais  
*AWGN e Rayleigh***

Relatório submetido ao corpo docente do Departamento de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Campina Grande como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Engenheira Eletricista.

**Banca Examinadora:**

---

Prof. Marcelo Sampaio de Alencar  
Orientador

Campina Grande – PB  
Julho de 2010

*A Deus!*  
*Aos meus pais, Wilson e Gláucia, e aos meus amados*  
*sobrinhos Mateus Richelle e Wilson Neto.*

---

---

# Agradecimentos

---

O mais belo agradecimento será sempre muito pouco para traduzir minha gratidão a Ele, que ilumina minha vida com seu infinito amor. Que é meu pai, meu refúgio e caminho. A Ele dedico e sempre dedicarei todas as conquistas da minha vida. Ao meu grande amigo Jesus Cristo, muito obrigada por tudo!

Aos meus pais, Wilson e Gláucia, que acreditaram nesse sonho junto comigo e me ensinaram o caminho do bem revestindo a minha vida de amor. Sem dúvida, são as maiores bênçãos que a Sabedoria Divina colocou em meu caminho.

A Thiago por tão grande amor, companheirismo, cumplincidade e por nunca ter medido esforços para me fazer feliz.

Aos meus familiares e amigos que souberam compreender minha ausência, não me abandonando em nenhum instante deste desafio. Que sempre estiveram ao meu lado, me ajudando, incentivando, me dando força e coragem para ultrapassar as adversidades da vida.

Ao meu orientador, Professor Marcelo Sampaio de Alencar, por te me aceitado como aluna de Iniciação Científica, me incentivando a procurar a pesquisa e fortalecendo o meu desenvolvimento profissional. Em especial, pelo carinho, atenção e paciência que sempre teve comigo. Pessoa que terá sempre meu respeito e admiração. Que me serviu e sempre servirá de exemplo e referência em todos os momentos da vida.

Ao meu amigo e co-orientador Danilo Regis, pela oportunidade da participação no mundo da pesquisa, pelos encentivos, paciência e transmissão de valiosos ensinamentos. Em especial, pela sincera amizade a mim dedicada nesses anos de convivência.

A todos, aceitem meus sinceros agradecimentos.

---

---

# Resumo

---

Este trabalho apresenta resultados de experimentos sobre a qualidade de sinais de vídeo utilizados em televisão digital para dispositivos móveis. Uma vez que o padrão brasileiro de televisão digital permite a manipulação de vídeos para diferentes dispositivos, os sinais de vídeos são adaptados para uma boa visualização no uso de dispositivos móveis. Estas adaptações são obtidas com o uso de transcodificadores de vídeos, com os quais é possível converter uma sequência de vídeo em uma outra com diferentes parâmetros. Neste trabalho foi realizada a transmissão por meio dos canais AWGN e *Rayleigh* de vídeos transcodificados espacialmente. Sete tipos de filtros são utilizados para a redução espacial de vídeos com resolução CIF ( $352 \times 288$ ) para vídeos com resolução QCIF ( $176 \times 144$ ). A medida de qualidade objetiva PSNR foi utilizada para avaliação da qualidade dos vídeos transcodificados.

---

---

# Abstract

---

This work presents results from experiments on the quality of video signals used in digital television for mobile devices. Since the Brazilian digital television standard allows the manipulation of videos for different devices, the video signals are adapted to allow a good visualization in the use of mobile devices. These adaptations are obtained with the use of video transcoders, which are used to convert a video sequence into another with different parameters. In this work the transmission of spatially transcoded videos through AWGN and Rayleigh channels was accomplished. Seven types of filters are used for the spatial reduction of CIF ( $352 \times 288$ ) resolution videos to videos with QCIF ( $176 \times 144$ ) resolution. The measurement of objective quality PSNR was utilized to evaluate the quality of the transcoded videos.

*"Enquanto viver, falarei da Tua bondade,  
e levantarei as minhas mãos em oração."*

*Salmo 63.*

---

---

# Sumário

---

<b>1</b>	<b>Introdução</b>	<b>2</b>
1.1	Motivação . . . . .	2
1.2	Objetivos . . . . .	3
1.3	Metodologia . . . . .	3
1.4	Organização do Texto . . . . .	4
<b>2</b>	<b>Sistema de Transcodificação</b>	<b>5</b>
2.1	O Sistema Proposto . . . . .	7
2.2	Tempo de Processamento de um vídeo: . . . . .	11
2.3	Conclusões . . . . .	12
<b>3</b>	<b>Esquemas de Modulação</b>	<b>13</b>
3.1	Modulação em Quadratura ( <i>M</i> -QAM) . . . . .	14
3.2	<i>Quadrature Phase Shift Keying</i> (QPSK) . . . . .	15
3.3	Influência dos canais AWGN e <i>Rayleigh</i> nas constelações 16-QAM, 64-QAM e QPSK: . . . . .	17
3.3.1	Canal AWGN: . . . . .	18
3.3.2	Canal <i>Rayleigh</i> . . . . .	21
3.4	Conclusões . . . . .	24
<b>4</b>	<b>Método de Avaliação</b>	<b>25</b>
4.1	PSNR ( <i>Peak Signal to Noise Ratio</i> ) . . . . .	25
4.2	Conclusões . . . . .	26
<b>5</b>	<b>Resultados</b>	<b>27</b>
5.1	Resultados obtidos para o Canal AWGN . . . . .	28
5.1.1	Modulação QPSK . . . . .	28
5.1.2	Modulação 16-QAM . . . . .	29
5.1.3	Modulação 64-QAM . . . . .	31
5.2	Resultados obtidos para o Canal <i>Rayleigh</i> . . . . .	32
5.2.1	Modulação QPSK . . . . .	32
5.2.2	Modulação 16-QAM . . . . .	34
5.2.3	Modulação 64-QAM . . . . .	35
5.3	Comparação dos resultados obtidos para os canais AWGN e <i>Rayleigh</i> . . . . .	37

---

**6 Conclusões**

**38**

**Referências Bibliográficas**

**42**

---

---

# Lista de Figuras

---

1.1	Diagrama de blocos genérico do sistema de comunicações. . . . .	3
2.1	Diagrama dos possíveis tipos de transcodificação. . . . .	5
2.2	Modelo de um transcodificador de vídeo. . . . .	6
2.3	Interpolador fracional com taxa de S/N. . . . .	6
2.4	Máscara de deslocamento. . . . .	7
2.5	Transcodificação espacial com janela $2 \times 2$ . (a) Quadro CIF $352 \times 288$ , (b) Quadro QCIF $176 \times 144$	8
2.6	Técnica da média de pixels com janela $3 \times 3$ . (a) Quadro CIF $352 \times 288$ , (b) Quadro QCIF $176 \times 144$	8
2.7	Representação da vizinhança do pixel central com valor $s$ . . . . .	9
3.1	Constelação 16-QAM. . . . .	16
3.2	Constelação 64-QAM. . . . .	16
3.3	Constelação QPSK. . . . .	17
3.4	Canal AWGN. . . . .	18
3.5	Amplitude de um ruído AWGN. . . . .	18
3.6	Influência do ruído AWGN na constelação 16-QAM (SNR = 10 dB). . . . .	19
3.7	Influência do ruído AWGN na constelação 64-QAM (SNR = 10 dB). . . . .	19
3.8	Influência do ruído AWGN na constelação QPSK (SNR = 10 dB). . . . .	19
3.9	Desempenho de erro para as modulações 16-QAM, 64-QAM e QPSK no canal AWGN. . . . .	21
3.10	Multipercursos. . . . .	21
3.11	Tipos de Desvanecimento. . . . .	22
3.12	Influência do canal <i>Rayleigh</i> na constelação 16-QAM (SNR = 10 dB). . . . .	22
3.13	Influência do canal <i>Rayleigh</i> na constelação 64-QAM (SNR = 10 dB). . . . .	23
3.14	Influência do canal <i>Rayleigh</i> na constelação QPSK (SNR = 10 dB). . . . .	23
3.15	Desempenho de erro para as modulações 16-QAM, 64-QAM e QPSK no canal <i>Rayleigh</i> . . . . .	24
5.1	Vídeos <i>News</i> e <i>Foreman</i> . . . . .	27
5.2	PSNR para o vídeo <i>News</i> transmitido pelo canal AWGN usando modulação QPSK. . . . .	29
5.3	PSNR para o vídeo <i>Foreman</i> transmitido pelo canal AWGN usando modulação QPSK. . . . .	29
5.4	PSNR para o vídeo <i>News</i> transmitido pelo canal AWGN usando modulação 16-QAM. . . . .	30
5.5	PSNR para o vídeo <i>Foreman</i> transmitido pelo canal AWGN usando modulação 16-QAM. . . . .	30
5.6	PSNR para o vídeo <i>News</i> transmitido pelo canal AWGN usando modulação 64-QAM. . . . .	31

---

5.7	PSNR para o vídeo <i>Foreman</i> transmitido pelo canal AWGN usando modulação 64-QAM. . . . .	32
5.8	PSNR para o vídeo <i>News</i> transmitido pelo canal <i>Rayleigh</i> usando modulação QPSK. . . . .	33
5.9	PSNR para o vídeo <i>Foreman</i> transmitido pelo canal <i>Rayleigh</i> usando modulação QPSK. . . . .	33
5.10	PSNR para o vídeo <i>News</i> transmitido pelo canal <i>Rayleigh</i> usando modulação 16-QAM. . . . .	34
5.11	PSNR para o vídeo <i>Foreman</i> transmitido pelo canal <i>Rayleigh</i> usando modulação 16-QAM. . . . .	35
5.12	PSNR para o vídeo <i>News</i> transmitido pelo canal <i>Rayleigh</i> usando modulação 64-QAM. . . . .	36
5.13	PSNR para o vídeo <i>Foreman</i> transmitido pelo canal <i>Rayleigh</i> usando modulação 64-QAM. . . . .	36

## Capítulo 1

---

# Introdução

---

### 1.1 Motivação

Televisão Móvel é a tecnologia que permite a transmissão de programas televisivos ou vídeos para dispositivos móveis, como telefones celulares e PDA's (*Personal Digital Assistants*). Nos últimos anos, o uso da TV móvel vem se destacando comparado a várias aplicações de multimídia disponibilizadas aos usuários de dispositivos móveis. Entretanto, esse serviço possui certas características que podem dificultar a continuação dessa evolução, como por exemplo: o custo elevado, a cobertura imperfeita, e a vida curta da bateria dos dispositivos móveis. Deste modo, essas questões têm motivado diversas pesquisas com o objetivo de desenvolvimento de técnicas que tenham como finalidade melhorar a qualidade e aumentar a capacidade de sistemas móveis.

Os vídeos usados na transmissão da TV digital possuem diferentes formatos de codificação, resoluções (espacial e temporal) e taxa de *bits*. O tipo de transmissão utilizada (a cabo, por radiodifusão, entre outras) afeta diretamente a taxa com que os *bits* podem ser enviados e conseqüentemente, a definição do formato mais adequado para o sinal de vídeo.

Uma vez que o ISDB-Tb (*Integrated Services Digital Broadcasting Terrestrial Built-in*) prevê a recepção de sinais de vídeo em vários formatos por receptores móveis ou fixos, com transmissão simultânea dos padrões de compressão MPEG-2 e H.264 [1], torna-se necessário o uso de sistemas de transcodificação de vídeo para que os sinais de vídeo sejam adaptados para o uso em uma TV móvel.

Um sistema de transcodificação de vídeo converte uma seqüência de vídeo em uma outra com diferentes parâmetros, como codificação, resolução temporal e espacial e taxa de *bit*. A transcodificação também representa economia em espaço e tempo de produção, pois apenas o conteúdo da resolução máxima é armazenado.

Este trabalho apresenta resultados da transmissão de vídeos originais e transcodificados transmitidos pelos canais AWGN e *Rayleigh*. Além disso, são apresentados os filtros que obtiveram melhores desempenho no processo de transcodificação espacial, permitindo uma melhor qualidade dos vídeos transcodificados. Sete tipos de filtros são utilizados na redução da transcodificação da resolução espacial do vídeo CIF (*Common Intermediate Format*) para QCIF (*Quarter Common Intermediate Format*). A medida

de qualidade objetiva PSNR (*Peak Signal-to-Noise Ratio*) foi utilizada para estimar a qualidade dos vídeos transcodificados.

## 1.2 Objetivos

Este trabalho tem como objetivo apresentar resultados da avaliação da qualidade de vídeos transcodificados transmitidos pelos canais AWGN e *Rayleigh*. Em particular, a transcodificação espacial, em que é realizada a redução da dimensão da imagem de vídeos com formatos CIF para vídeos com formatos QCIF. Além disto, é também objetivo deste trabalho indicar os filtros que obtiveram melhores desempenho no processo de transcodificação de vídeos transmitidos.

## 1.3 Metodologia

O primeiro passo para alcançar o objetivo, foi a implementação do processo de transcodificação dos vídeos. Desta forma, os vídeos foram submetidos ao processo de transcodificação antes de serem transmitidos por meio dos canais AWGN e *Rayleigh*. Para isto, foram utilizados sete diferentes tipos de filtros: filtro da Média, filtro da Mediana, filtro da Média Ponderada e filtro Sigma. Em seguida, foi implementada uma simulação computacional utilizando o MatLab, para as simulações realizadas com o canal AWGN e a linguagem de programação C, para as simulações realizadas com o canal *Rayleigh*.

As simulações usaram funções que executam cada uma das etapas do sistema de comunicações, permitindo avaliar o desempenho dos vídeos originais e transcodificados sujeitos a distorções causadas pelos canais de comunicações. As modulações QPSK, 16-QAM e 64-QAM, com diferentes SNRs, foram utilizadas para verificar a transmissão em diversas situações. A Figura 1.1 ilustra o diagrama de blocos genérico do sistema de comunicação investigado.

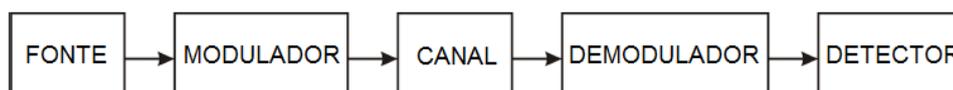


Figura 1.1: Diagrama de blocos genérico do sistema de comunicações.

## 1.4 Organização do Texto

Além deste capítulo introdutório, este trabalho é composto por mais cinco capítulos, cujos conteúdos são apresentados sucintamente a seguir.

O Capítulo 2 apresenta uma visão geral das diversas possibilidades de transcodificação, além das especificações do transcodificador utilizado. No Capítulo 3 são descritos os esquemas de modulações considerados no trabalho, as equações e curvas da probabilidade de erro de *bit* (BEP-*Bit Error Probability*), bem como as distorções provocadas nos esquemas de modulações sujeitos aos canais AWGN e *Rayleigh*.

O Capítulo 4 descreve características das medidas de avaliação subjetiva e objetiva, com ênfase na medida de avaliação objetiva, PSNR, utilizada neste trabalho como avaliação da qualidade dos vídeos. Os resultados de cada uma das três modulações para os dois tipos de canais utilizados estão descritos no Capítulo 5, assim como uma comparação entre os resultados obtidos para os canais AWGN e *Rayleigh*. Por fim, o Capítulo 6 apresenta as conclusões do trabalho.

## Capítulo 2

---

# Sistema de Transcodificação

---

Um sistema de transcodificação tem o objetivo de converter um vídeo em um outro vídeo com diferentes parâmetros. Sintaxe, resolução espacial, resolução temporal, taxa de *bits* e adição de funcionalidades, são exemplos de parâmetros usados [2].

A transcodificação pode ser classificada como homogênea, heterogênea ou com funções adicionais. A transcodificação homogênea modifica um conjunto de parâmetros do vídeo, como conversão da taxa de *bits*, da resolução espacial, da resolução temporal e mudanças da codificação VBR (*Variable Bit-Rate*) para CBR (*Constant Bit-Rate*). O padrão de compressão e a conversão entre os formatos entrelaçado e progressivo são obtidos com a transcodificação heterogênea. Além disso, um outro tipo de transcodificação consiste em incluir funções adicionais à sequência de vídeo codificada, tais como proporcionar resistência a erros (*error resilience*) e adicionar logomarcas ou marcas d'água invisíveis [3]. A Figura 2.1 ilustra um diagrama com os diversos tipos de transcodificação [3] [2] [4].

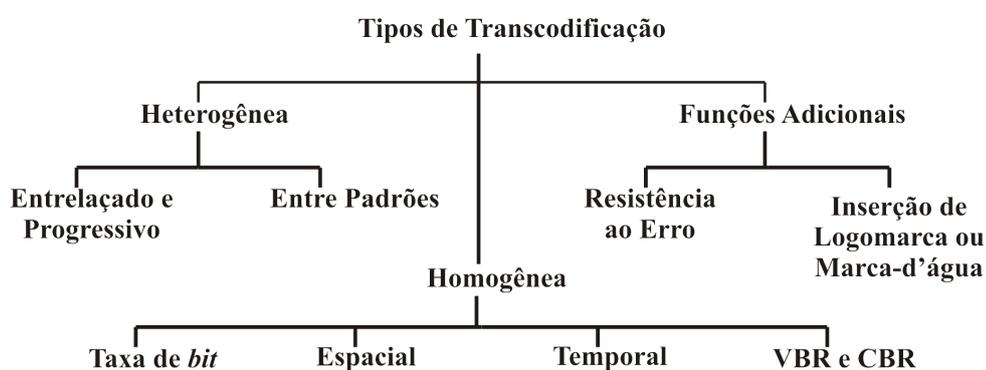


Figura 2.1: Diagrama dos possíveis tipos de transcodificação.

As referências [4] e [5] mostram um método que pode ser realizado para a transcodificação espacial, ilustrado na Figura 2.2. Como este trabalho trata de vídeos no domínio dos *pixels*, a Figura 2.2 pode ser simplificada pelos blocos que se encontram dentro área pontilhada da Figura 2.2 [6].

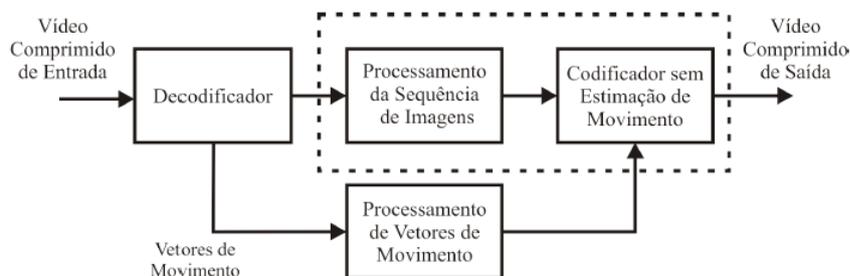


Figura 2.2: Modelo de um transcodificador de vídeo.

A referência [4] apresenta detalhadamente o bloco para processamento das sequências de imagens da Figura 2.2, apresentado na Figura 2.3. Esse processo se mostra eficaz principalmente por ter um tempo de execução baixo, se comparado como os outros métodos da transcodificação da resolução espacial de vídeos. O processamento das sequências de imagens é realizado por um interpolador fracional na qual S e N significam os fatores de aumento e diminuição espacial, com taxa S/N [6].

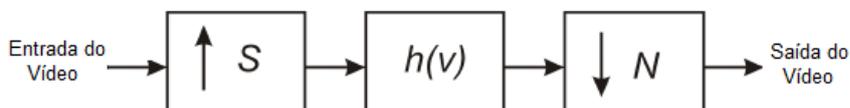


Figura 2.3: Interpolador fracional com taxa de S/N.

O bloco  $h(v)$  é um filtro passa-baixa, como o filtro da Média, da Média Ponderada, da Mediana, Sigma. Esses filtros são amplamente encontrados na literatura para filtragens de imagens e apresentam baixa complexidade [7], [8], [9], [10], [6].

O objetivo na transcodificação da resolução espacial é reduzir ou aumentar a resolução espacial do vídeo, utilizando técnicas como subamostragem ou interpolação no domínio dos *pixels*. A interpolação, subamostragem e filtragem são técnicas para reduzir ou aumentar a definição espacial. O interpolador é empregado para aumentar a taxa de amostragem de uma sequência por um fator inteiro  $N > 1$ , enquanto o subamostrador é empregado para diminuir a taxa de amostragem por um fator inteiro  $N > 1$  [11], [12]. Usa-se o interpolador e o subamostrador juntos quando é necessário a redução ou aumento por um fator não inteiro, como mostrado na Figura 2.3.

A filtragem aplicada a um vídeo digital é uma operação local que modifica os valores dos níveis de cada *pixel* do quadro, considerando o seu contexto atual. Essa técnica é uma transformação do quadro *pixel a pixel*, que depende do valor de um determinado *pixel* e do valor dos seus vizinhos, no quadro original, ou seja, o *pixel* filtrado tem um valor dependente do contexto em que ele se encontra no quadro original.

O princípio de funcionamento dos filtros que operam no domínio espacial baseia-se em relações de vizinhança entre os elementos de uma região de tamanho e formato predeterminedo. Domínio espacial refere-se ao plano do próprio quadro, sendo que nesta categoria trabalha-se diretamente com o valor dos *pixels* de um quadro. No processo de filtragem são atribuídos valores aos elementos do quadro destino em função dos elementos presentes no quadro original [7], [6].

Na filtragem é possível utilizar formatos diferentes e valores dependentes da posição no quadro. Esses formatos são conhecidos como máscara de deslocamento ou janela móvel. Na Figura 2.4, é mostrada uma máscara com dimensões horizontais e verticais idênticas e iguais a três.

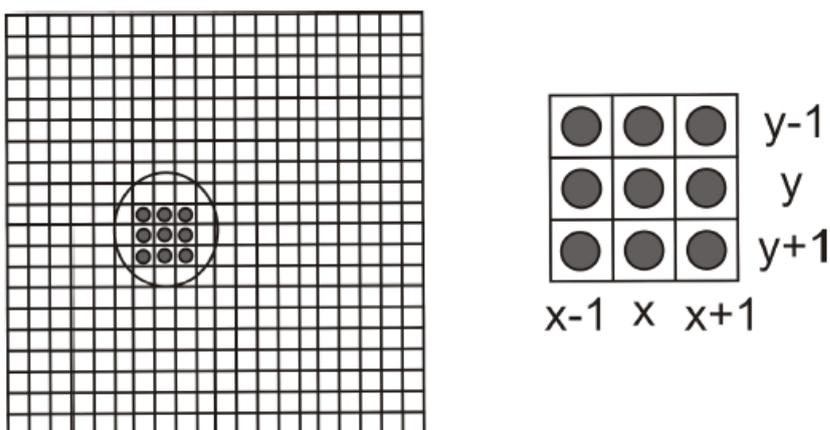


Figura 2.4: Máscara de deslocamento.

## 2.1 O Sistema Proposto

O sistema proposto realiza a conversão da resolução espacial, no domínio dos *pixels*, de vídeos com resolução CIF (*Common Intermediate Format* -  $352 \times 288$  *pixels*) para vídeos QCIF (*Quarter Common Intermediate Format* -  $176 \times 144$  *pixels*). Para isto, foi aplicado o subamostrador com valor 2 ( $352/176 = 288/144 = 2$ ), além dos filtros da Média com janelas  $3 \times 3$  e  $4 \times 4$ , filtro da Mediana com janelas  $2 \times 2$  e  $4 \times 4$ , filtro da Média Ponderada 3 e filtro Sigma com janelas  $2 \times 2$  e  $3 \times 3$ .

Com o uso das três dimensões ( $w = 2, 3$  e  $4$ ) é importante analisar se há ou não sobreposição das janelas. Essas sobreposições ocorrem quando a janela é maior do que o fator do subamostrador ( $S$ ), como pode ser mostrado nas Figuras 2.5 e 2.6. A sobreposição faz com que o *pixel* do vídeo transcodificado tenha uma maior correlação com os seus *pixels* vizinhos, o que produz uma melhor codificação desse vídeo, mas gera também uma perda na qualidade do vídeo, já que o *pixel* do vídeo transcodificado foi produzido com *pixels* que tem pouca ou nenhuma dependência com o *pixel* central.

Na Figura 2.6 é ilustrado o caso  $w = 3$ , em que o *pixel* (1,1) da Figura 2.6(b) é obtido utilizando os *pixels* (1,1) a (1,3), (2,1) a (2,3) e (3,1) a (3,3) da Figura 2.6(a). Para se obter o *pixel* (1,2) da Figura 2.6(b) se utiliza a janela (1,3) a (1,5), (2,3) a (2,5) e (3,3) a (3,5). Da mesma forma, para se obter o *pixel* (2,1) da Figura 2.6(b), utiliza-se a janela da Figura 2.6(a) (3,1) a (3,3), (4,1) a (4,3) e (5,1) a (5,3).

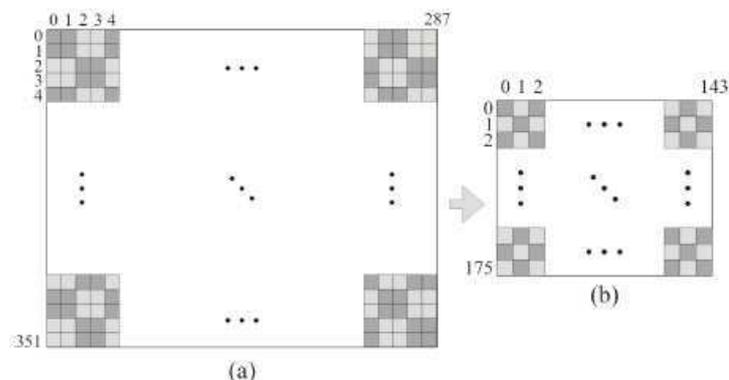


Figura 2.5: Transcodificação espacial com janela  $2 \times 2$ . (a) Quadro CIF  $352 \times 288$ , (b) Quadro QCIF  $176 \times 144$

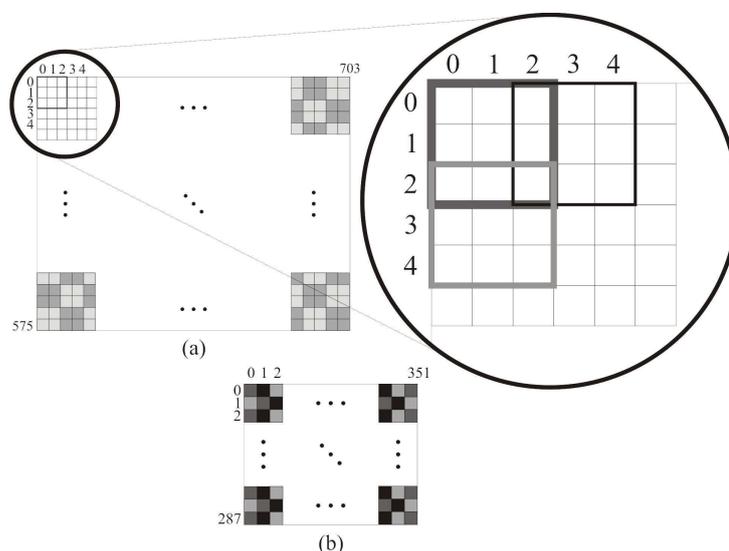


Figura 2.6: Técnica da média de pixels com janela  $3 \times 3$ . (a) Quadro CIF  $352 \times 288$ , (b) Quadro QCIF  $176 \times 144$

A seguir, são descritos os filtros utilizados neste trabalho [6]:

### Filtro da Média

O filtro da média é um dos filtros mais simples que podem ser definidos no domínio espacial. O valor da função  $g(x,y)$ , que representa o quadro filtrado, é definido pela média aritmética de todos os pontos superpostos à janela ou máscara.

O objetivo desse filtro é a atenuação do ruído de alta frequência e suavização espacial dos quadros pelo cálculo da média, pois cada ponto no quadro resultante é função de todos os pontos dentro de uma janela.

Apesar de conseguir atenuar o ruído, apresenta bons resultados apenas em regiões homogêneas, devido ao efeito de degradação de bordas. Esse filtro pode ser implementado com janelas de formato

e tamanhos diversos, embora sejam mais comumente utilizadas as janelas quadradas de dimensões ímpares.

Essa técnica substitui os valores de uma janela  $M \times M$  do vídeo por um único *pixel*, que representa a média aritmética dos *pixels* dentro desta janela  $M \times M$ . Para cada janela  $M \times M$  tem-se as seguintes equações:

- Média com janela  $3 \times 3$

$$g(x, y) = \frac{1}{N} \sum_{s=-m}^m \sum_{t=-n}^n f(x + s, y + t), \forall W, \quad (2.1)$$

em que  $N$  é o número total de *pixels*,  $W$  é a janela que esta sendo usada,  $m = n = (w - 2)$ , na qual  $w$  é a dimensão da janela e  $(x, y)$  representa a coordenada espacial.

- Média com janela  $4 \times 4$

$$g(x, y) = \frac{1}{N} \sum_{s=-m}^{m+1} \sum_{t=-n}^{n+1} f(x + s, y + t), \forall W, \quad (2.2)$$

em que  $N$  é o número total de *pixels*,  $W$  é a janela que esta sendo usada,  $m = n = (w - 2)/2$ , na qual  $w$  é a dimensão da janela e  $(x, y)$  representa a coordenada espacial.

### Filtro da Média Ponderada

Uma média ponderada usa pesos diferentes para um conjunto de dados. Cada peso depende da ordem de vizinhança do *pixel* a ser observado em relação ao *pixel* central  $s$ , como ilustrado na Figura 2.7. Nesse caso, a suavização é menos intensa porque o *pixel* central tem importância maior que os outros *pixels* da janela.

	$o_1$	$m$	$q_1$	
$o_2$	$v$	$u$	$z$	$q_2$
$l$	$t$	$s$	$t'$	$l'$
$q'_1$	$z'$	$u'$	$v'$	$o'_1$
	$q'_2$	$m'$	$o'_2$	

Figura 2.7: Representação da vizinhança do pixel central com valor  $s$ .

A filtragem linear com esse filtro, de um quadro  $f$  de tamanho  $M \times N$  por uma janela  $W$  de dimensão  $(w \times w)$ , é dada por [13].

$$g(x, y) = \sum_{s=-m}^{m+1} \sum_{t=-n}^{n+1} \alpha(s, t) f(x + s, y + t), \forall W, \quad (2.3)$$

Considerando a Figura 2.7, o peso pode ser determinado por [14].

$$g(x, y) = \frac{1}{4}x_s + \frac{1}{8}(x'_t + x_t + x'_u + x_u) + \frac{1}{16}(x'_v + x_v + x'_z + x_z), \quad (2.4)$$

em que  $x$  e  $y$  representam as posições horizontais e verticais do quadro, respectivamente.

### Filtro da Mediana

O filtro da mediana suaviza o quadro, preservando a informação de suas bordas. Entretanto, possui a desvantagem de ter um algoritmo mais complexo, uma vez que utiliza ordenamento de valores. Além disso, introduz distorções verticais e *aliasing*. Seu funcionamento envolve a verificação dos valores dos *pixels* vizinhos, em comparação com o *pixel* a ser calculado. Essa verificação consiste em ordenar os valores vizinhos de forma crescente e escolher a mediana dessa ordenação como o novo valor do *pixel* considerado [15][16].

Seu princípio de funcionamento baseia-se no fato de que elementos não pertencentes ao quadro tendem a se localizar nos extremos do conjunto ordenado. Isso ocorre pela expectativa de que os níveis de cinza dos pontos dentro de uma janela do quadro, de dimensões relativamente pequenas, apresentem um certo grau de similaridade. Como os pontos ruidosos dificilmente serão retornados como o valor da mediana, o filtro tem um bom desempenho na eliminação de ruídos, embora em alguns casos possa degradar os objetos da janela que tem uma variação rápida [17].

Resultados apresentados em [7] [18] indicam que o filtro da mediana é mais efetivo na redução de ruído impulsivo do que de ruído branco. Em relação ao filtro da média, o filtro da mediana se mostra melhor por ser relativamente insensível aos valores mais distantes do *pixel* central da janela, esses valores mais distantes do *pixel* central geralmente produzem erros no filtro da média [19].

### Filtro Sigma

O filtro Sigma utiliza a distribuição estatística dos contadores digitais de uma janela móvel para estimar o valor do *pixel* central da janela, dito *pixel* de interesse [10]. O filtro sigma [7] [20] é motivado pela probabilidade da distribuição gaussiana. A suavização do ruído no quadro é alcançada pelo cálculo da média com apenas aqueles elementos que têm seus níveis de cinza ou intensidades dentro de uma faixa  $\sigma$  de intensidade, determinada pelo *pixel* central.

A distribuição do ruído em quadros é assumida gaussiana e a probabilidade dos  $2\sigma$  é definida como sendo a probabilidade de uma variável aleatória estar dentro de uma faixa de dois desvios padrões do seu valor médio.

Sejam  $p(i)$  a intensidade, ou nível de cinza, do  $i$ -ésimo *pixel* em uma janela  $w \times w$  e  $\sigma$  o desvio padrão, dado pela Equação 2.5, e  $\mu_f$  é a média dos valores de  $p(i)$ . O desvio é dado por

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N} \sum (p(i) - \mu_f)^2} \quad (2.5)$$

O procedimento para se calcular o filtro sigma é:

1. Estabeleça uma faixa de intensidade  $(p(i) - T, p(i) + T)$ , em que  $T = 2\sigma$  (lembrando que  $p(i) - T$  tem como limite o valor 0 e  $p(i) + T$  tem como limite o valor 255);
2. Some todos os pixels da janela  $w \times w$  que têm seus níveis de cinza dentro da faixa de intensidade;
3. Calcule a média, dividindo a soma pelo número de *pixels*;
4. Então,  $g(x, y) = \text{média}$ .

$$g(x, y) = \frac{1}{N_T} \sum_{f_T} (x, y) \quad (2.6)$$

em que  $f_T(x, y)$  é o quadro limitado pela faixa de intensidade usada.

A faixa de intensidade dos dois-sigmas é geralmente grande o suficiente para incluir 95,5% dos *pixels* da mesma distribuição na janela, e ainda, na maioria das vezes, pequena o necessário para excluir *pixels* que representam bordas de contraste alto e pequeno.

## 2.2 Tempo de Processamento de um vídeo:

Na Tabela 2.1 encontram-se os tempos de processamentos de um vídeo para cada um dos filtros utilizados [14]. Esses valores foram obtidos usando um computador que operava apenas o programa do transcodificador e que tem a seguinte configuração: Processador AMD Athlon(tm) 64 X2 Dual Core Processor 4400+, 231 GHz, 2.00 Gbytes de RAM.

De acordo com a Tabela 2.1 é possível observar que o aumento da janela deslizante do filtro acarreta o aumento do tempo de processamento. Além disso, verifica-se um aumento no tempo de processamento entre o filtro da Média e o filtro da Mediana. o filtro da Média Ponderada 3 obteve um tempo de processamento próximo ao tempo de processamento do filtro da Média  $4 \times 4$ , enquanto os filtros Sigma  $2 \times 2$  e  $3 \times 3$  obtiveram os maiores tempos de processamento de um vídeo.

Tabela 2.1: Tempo de processamento de um vídeo.

Metodo de Transcodificação	Tempo (s)
Média $3 \times 3$	1.13
Média $4 \times 4$	3.89
Mediana $2 \times 2$	1.59
Mediana $4 \times 4$	13.69
Média Ponderada 3	3.42
Sigma $2 \times 2$	5.76
Sigma $3 \times 3$	12.06

## 2.3 Conclusões

Este capítulo apresenta uma visão geral dos tipos de transcodificações existentes, além do sistema proposto para redução da resolução espacial dos vídeos. A transcodificação espacial é realizada a partir de vídeos com resolução CIF para vídeos com resolução QCIF, utilizando sete tipos de filtros diferentes: filtro da Média com janelas  $3 \times 3$  e  $4 \times 4$ , filtro da Mediana com janelas  $2 \times 2$  e  $4 \times 4$ , filtro da Média Ponderada 3 e filtro Sigma com janelas  $2 \times 2$  e  $3 \times 3$ .

Ainda é feita uma descrição dos filtros utilizados, além do tempo de processamento de cada filtro para realizar a transcodificação de um vídeo. Deste modo, é possível observar que os filtros que apresentam menores tempos de processamentos são os filtros da Média  $3 \times 3$  e o filtro da Média Ponderada 3. Esses filtros também têm um algoritmo de implementação mais simples que os demais apresentados.

## Capítulo 3

---

# Esquemas de Modulação

---

A modulação corresponde a um processo de variação de sinais para fins de transmissão, sendo definido como um sistema que recebe duas entradas (informação e portadora) e fornece um sinal de saída que será utilizado no transporte da informação. A portadora é o sinal de entrada do sistema responsável pelo transporte de informação no meio de transmissão.

As principais vantagens da modulação são:

- Redução de ruído e interferência. Certos tipos de modulação possuem a propriedade de reduzir efeitos causados tanto pelo ruído como pela interferência. Esta redução, entretanto, é obtida à custa de uma maior largura de faixa para a transmissão do sinal que a necessária para o sinal original.
- Eficiência na irradiação eletromagnética. Uma vez que os elementos irradiantes (antenas) devem ser no mínimo  $1/10$  do comprimento de onda, sinais que possuem componentes de baixas frequências necessitam de antenas de grandes comprimentos. Utilizando a propriedade de translação de frequência da modulação, os sinais de baixas frequências podem ser sobrepostos em uma onda portadora de alta frequência, permitindo uma redução substancial do tamanho da antena.
- Permite a seleção de uma das diferentes estações existentes. Isto é possível porque cada uma das estações tem uma diferente frequência atribuída para sua onda portadora. Sem a modulação, apenas uma estação poderia operar numa determinada área. Duas ou mais estações, transmitindo no mesmo meio sem modulação, produziriam uma superposição de sinais interferentes.
- Multiplexação. As técnicas de multiplexação inerentes a modulação, permitem a transmissão de múltiplos sinais por meio de um mesmo canal, de modo que cada sinal possa ser recuperado com sucesso no outro extremo de recepção.
- Supera as limitação de equipamentos. O projeto de um sistema, é normalmente restrito ao equipamento disponível, equipamento cujo desempenho quase sempre depende das frequências envolvidas. A modulação pode ser utilizada para transladar um sinal até o espectro de frequência onde

as limitações do equipamento são mínimas. Com esta finalidade, os dispositivos de modulação são encontrados tanto em transmissores como em receptores.

Em grande parte, o êxito de um sistema de comunicação depende da escolha do tipo de modulação. Muitas e diferentes técnicas de modulação são utilizadas para satisfazer as especificações e requisitos de um sistema de comunicação. Independente do tipo de modulação utilizado, o processo da modulação deve ser reversível de modo que a mensagem possa ser recuperada no receptor pela operação complementar da demodulação.

Existem dois tipos básicos de modulação, de acordo com o tratamento da portadora pelo sinal modulante: modulação analógica e digital

A modulação digital, utilizada no trabalho, consiste em mapear símbolos em formas de onda para a transmissão em um dado canal. As principais considerações usadas na escolha de um determinada técnica de modulação digital são [21]:

- alta taxa de dados;
- elevada eficiência espectral (mínima ocupação de largura de faixa);
- elevada eficiência de potência (mínima potência de transmissão requerida);
- robustez a imperfeição do canal;
- robustez a imperfeições do *hardware*;
- baixo custo de implementação.

O esquema de modulação pode ser determinado pelo nível de potência transmitida. Normalmente a escolha do esquema de modulação se dá pelo compromisso entre a taxa de dados transmitida e a robustez contra ruídos inseridos pelo canal.

Existem três tipos principais de modulação digital [21]:

- Modulação por amplitude de pulso (M-PAM): a informação modula somente a amplitude da portadora;
- Modulação com chaveamento por deslocamento de fase (M-PSK): a informação modula somente a fase da portadora;
- Modulação em Quadratura: a informação modula tanto a amplitude quanto a fase da portadora.

Neste trabalho, foram utilizadas as modulações QPSK, 16-QAM e 64-QAM, cujas características são sucintamente destritas a seguir.

### 3.1 Modulação em Quadratura (*M*-QAM)

No esquema *M*-QAM, em que *M* representa a ordem da modulação, os *bits* de informação são utilizados para modular a fase e a amplitude do sinal transmitido. Assim, enquanto os esquemas *M*-PAM

(*Pulse Amplitude Modulation*) e *M-FSK* (*Frequency Shift Keying*) têm um grau de liberdade para codificar os *bits* de informação (amplitude e fase respectivamente), o esquema *M-QAM* tem dois graus de liberdade. Como resultado, o *M-QAM* tem melhor eficiência espectral do que os esquemas *M-PAM* e *M-PSK*, ou seja, para uma dada largura de faixa e uma dada potência média, o esquema *M-QAM* consegue codificar um número maior de *bits* por símbolo [21].

O sinal transmitido é dado por

$$s_m(t) = A_m g(t) \cos(2\pi f_c t + \theta_m), \quad 0 \leq t \leq T_s. \quad (3.1)$$

em que  $A_m$  é a amplitude do sinal a ser transmitido,  $g(t)$  é o formato do pulso e  $\theta_m$  são as possíveis fases da portadora que contém os *bits* de informação.

A energia de  $s_m(t)$  é

$$E_{s_m} = \frac{1}{2} A_m^2 E_g \quad (3.2)$$

A distância entre dois símbolos da constelação *M-QAM* é dada por

$$d_{mn} = \sqrt{\frac{1}{2} E_g [(a_m - a_n)^2 + (b_m - b_n)^2]} \quad (3.3)$$

em que  $a_k = A_k \cos \theta_k$  e  $b_k = A_k \sin \theta_k$  para  $k = m, n$ .

Considerando constelações *M-QAM* quadradas, nas quais  $a_n$  e  $b_n$  assumem valores iguais a  $(2m - 1 - L)d$  para  $m = 1, 2, \dots, L = 2^l$ , a menor distância entre dois símbolos é  $d_{min} = d \sqrt{2E_g}$ . O número de símbolos nas constelações *QAM* quadradas é  $M = d^{2l}$ . São transmitidos  $2l$  *bits*/símbolo, ou seja,  $l$  *bits* por dimensão [21].

Os esquemas de modulação *16-QAM* e *64-QAM*, utilizados neste trabalho, são tipos de modulações coerente com 16 e 64 símbolos, respectivamente. As sequências de *bits* são divididas em quatro e seis fluxos distintos, uma vez que cada símbolo da constelação é formado por 4 e 6 *bits*, respectivamente. Os esquemas de entrelaçamento são adaptados para inserir um atraso diferente em cada um dos diferentes fluxos de informações. Os mapas destas constalações são apresentados nas Figuras 3.1 e 3.2.

## 3.2 Quadrature Phase Shift Keying (QPSK)

O *QPSK* é um esquema de modulação coerente em que a sequencia de *bits* é separada em dois canais paralelos, denominados canal I e canal Q.

Nesta modulação, a fase da onda portadora é alterada em função do sinal digital a ser transmitido. Ao se transmitir uma sequência binária, a fase é chaveada entre  $0^\circ$  e  $180^\circ$ , além de  $90^\circ$  e  $270^\circ$ . O sinal

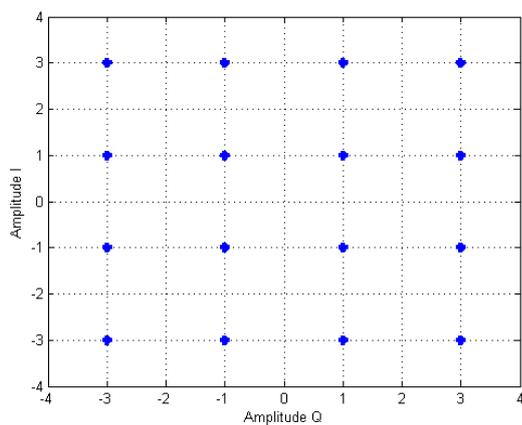


Figura 3.1: Constelação 16-QAM.

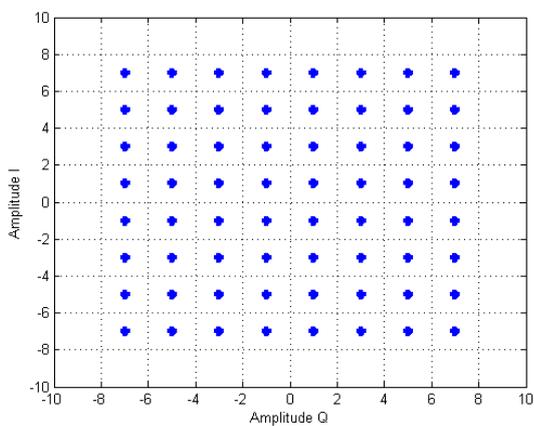


Figura 3.2: Constelação 64-QAM.

transmitido é obtido pela Equação 3.4, em que o *bit* 1 é representado pela transmissão de uma portadora co-senoidal de amplitude fixa  $A_c$  e frequência fica  $f_c$  pelo intervalo de  $t$  segundos, enquanto que o *bit* 0 é representado pela portadora com fase de  $180^\circ$  durante  $t$  segundos.

$$\begin{aligned} s(t) &= A_c \cos(2\pi f_c t), \text{ para o bit 1,} \\ s(t) &= A_c \cos(2\pi f_c t + \pi), \text{ para o bit 0.} \end{aligned} \quad (3.4)$$

Uma vez que este esquema de modulação é similar ao 4-QAM [22, 23], a energia do sinal e a distância entre dois símbolos da constelação são obtidos pelas Equações 3.2 e 3.3, respectivamente. O mapa desta constelação é apresentado na Figura 3.3.

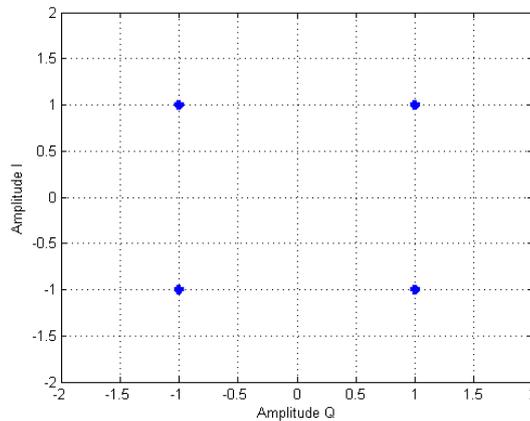


Figura 3.3: Constelação QPSK.

### 3.3 Influência dos canais AWGN e *Rayleigh* nas constelações 16-QAM, 64-QAM e QPSK:

Em comunicações móveis sem fio, os sinais de informação são submetidos a distorções causadas por reflexões e difrações geradas pela interação do sinal com obstáculos. As distorções sofridas por um sinal de comunicação incluem atraso de propagação, ruído térmico, atenuação na potência do sinal, desvanecimento por multipercurso e efeito *Doppler*. Os modelos de canal utilizados neste trabalho são o *Additive White Gaussian Noise* (AWGN) e o *Rayleigh*, cuja influência nas constelações são descritas a seguir.

### 3.3.1 Canal AWGN:

Em locais distantes de recepção, o ruído térmico é o tipo de ruído predominante na ausência de multipercursos e interferências. O ruído térmico pode ser considerado um ruído AWGN, ou seja, um ruído aditivo com distribuição gaussiana de largura de banda infinita, média nula e correlação nula entre suas amplitudes tomadas a instantes de tempos distintos. Ou seja, o valor da amplitude do ruído em um determinado instante independe daquele observado em outro instante de tempo qualquer. A Figura 3.4 apresenta um modelo para canais AWGN.

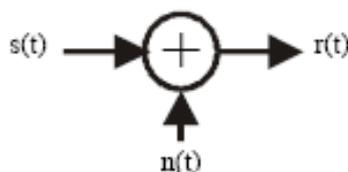


Figura 3.4: Canal AWGN.

De acordo com a Figura 3.4, o sinal recebido,  $r(t)$  é definido como

$$r(t) = s(t) + n(t), \quad (3.5)$$

em que  $s(t)$  é o sinal recebido e  $n(t)$  é o ruído AWGN introduzido pelo canal.

A Figura 3.5 ilustra a amplitude de um ruído AWGN com 10 dB de potência.

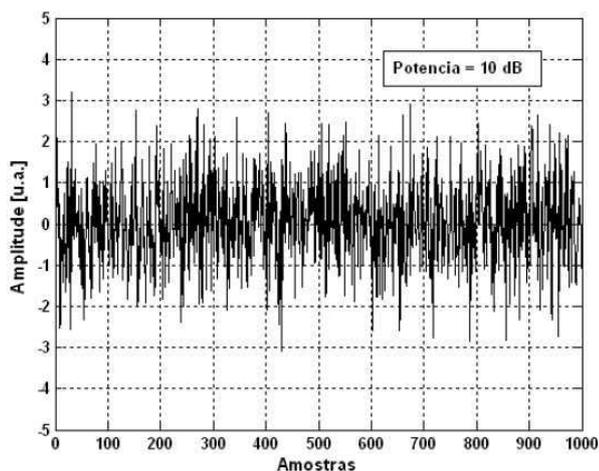


Figura 3.5: Amplitude de um ruído AWGN.

A Figuras 3.6, 3.7 e 3.8 ilustram o efeito do canal AWGN nas constelações 16-QAM, 64-QAM e QPSK, respectivamente.

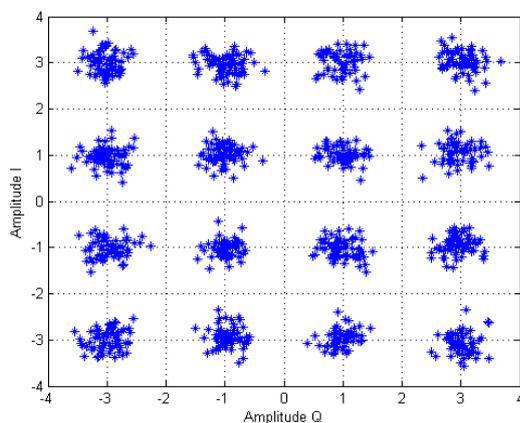


Figura 3.6: Influência do ruído AWGN na constelação 16-QAM (SNR = 10 dB).

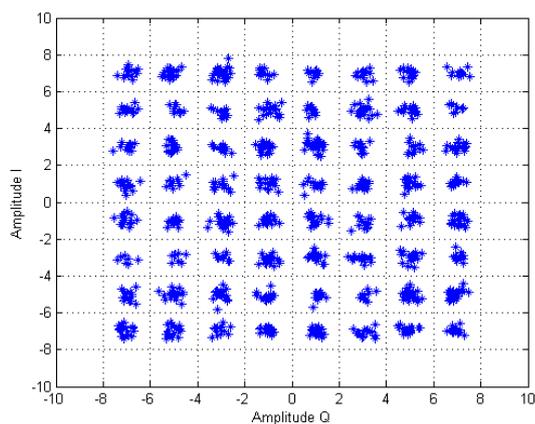


Figura 3.7: Influência do ruído AWGN na constelação 64-QAM (SNR = 10 dB).

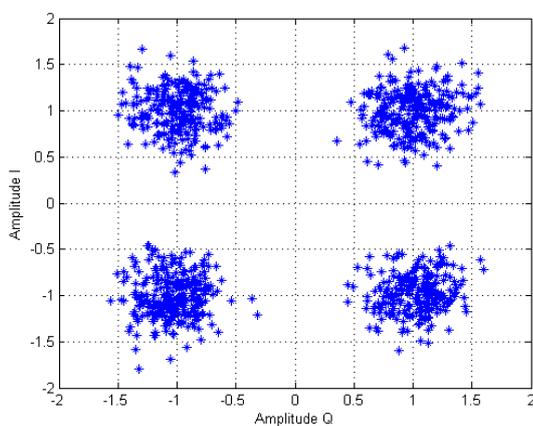


Figura 3.8: Influência do ruído AWGN na constelação QPSK (SNR = 10 dB).

Analisando as Figuras 3.6, 3.7 e 3.8, é possível observar que há uma nuvem de pontos em torno de uma média, ou seja, das coordenadas de cada símbolo, que são símbolos transmitidos em um meio perturbado pelo ruído branco. Uma vez que o ruído possui uma distribuição gaussiana, a função densidade de probabilidade que descreve a probabilidade de ocorrência de um evento pode ser descrita por:

$$p(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\cdot\sigma} \exp\left(-\frac{1}{2}\left(\frac{x - \mu}{\sigma}\right)^2\right), \quad (3.6)$$

em que  $p(x)$  é a função que demonstra como a probabilidade do ruído assumir valores de  $x$  está distribuída em torno da média,  $\mu$  é a média e  $\sigma$  é o desvio padrão.

O valor de  $\sigma$  está relacionado com a potência do ruído presente no canal, de forma que aumentando o seu valor, a probabilidade do ruído assumir valores maiores aumenta. O valor de  $\sigma$  é fornecido indiretamente por meio da relação sinal ruído ( $\text{SNR} = E_b/N_0$ ), que denota a relação entre a energia de *bit* pela densidade espectral do ruído. Deste modo, é possível determinar seu valor e utilizá-lo para determinar como o ruído irá influenciar nos símbolos transmitidos. O símbolo recebido é a soma vetorial dos símbolos transmitidos. O valor absoluto do ruído é aleatório e é por isso que ao se transmitir diversas vezes, os símbolos recebidos formam uma nuvem em torno do símbolo originalmente transmitido. Quanto maior a relação  $E_b/N_0$ , menor o valor de  $\sigma$  e portanto a probabilidade do ruído assumir grandes amplitudes diminui, de forma que a nuvem de pontos se concentra mais em torno do símbolo transmitido.

A probabilidade de erro de *bit* (BER) para as modulações 16-QAM and 64-QAM no canal AWGN é ilustrada na Figura 3.9 e dada por [22].

$$P(e) = 4 \left(1 - \frac{1}{\sqrt{M}}\right) Q \left( \sqrt{\frac{3 \log_2 M \bar{E}_b}{(M-1) N_0}} \right), \quad (3.7)$$

em que  $M$  é a ordem da modulação,  $E_b/N_0$  é a SNR por *bit* e a função  $Q$  é obtida de [22].

$$Q(z) = \int_z^\infty \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-y^2/2} dy. \quad (3.8)$$

A probabilidade de erro de *bit* (BER) para a modulação QPSK no canal AWGN é ilustrada na Figura 3.9 e obtida de [22, 24]

$$P(e) = 2Q \left( \sqrt{\frac{E_b}{N_0}} \right) - Q^2 \left( \sqrt{\frac{E_b}{N_0}} \right), \quad (3.9)$$

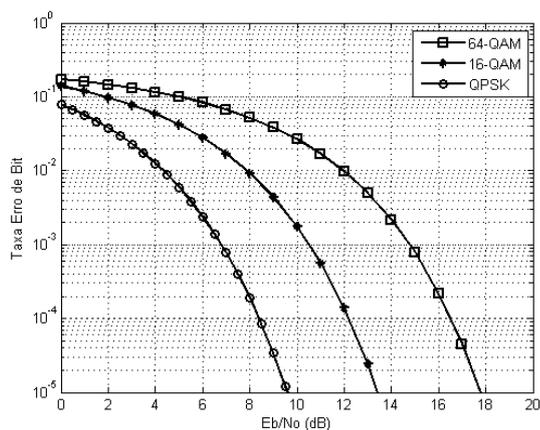


Figura 3.9: Desempenho de erro para as modulações 16-QAM, 64-QAM e QPSK no canal AWGN.

### 3.3.2 Canal Rayleigh

Em um canal de rádio móvel, devido aos diversos obstáculos presentes entre transmissor e receptor, na maioria das vezes não existe linha de visada entre o transmissor e o receptor. Os obstáculos presentes nas vizinhanças do receptor funcionam como espalhadores do sinal enviado. Como resultado, chegam ao receptor diversas cópias do sinal transmitido com amplitudes e fases aleatórias. Esse ambiente de propagação é conhecido como transmissão com multipercurso ou multi-caminhos, conforme ilustra a Figura 3.10.

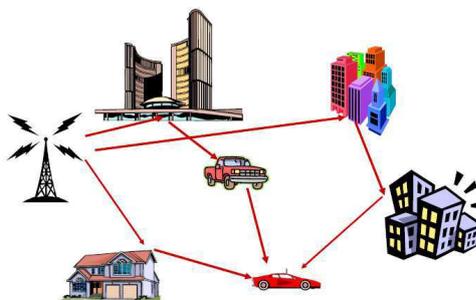


Figura 3.10: Multipercurso.

Esta alteração na intensidade e fase do sinal é denominado de *fading* ou desvanecimento. O termo *Rayleigh* deve-se pelo fato deste fenômeno comportar-se de acordo com a distribuição de probabilidade de *Rayleigh*.

No domínio da frequência, a propagação pode ser caracterizada em dois tipos de desvanecimento: o plano e o seletivo [25], como ilustrados na Figura 3.11. Se o canal de rádio móvel tem ganho constante e fase linear sobre uma largura de banda maior que a largura de banda do sinal transmitido, então o sinal

recebido irá sofrer um desvanecimento plano. Se o canal de rádio móvel tem ganho constante e fase linear sobre uma largura de banda menor que a largura de banda do sinal transmitido, então o sinal recebido irá sofrer um desvanecimento seletivo.

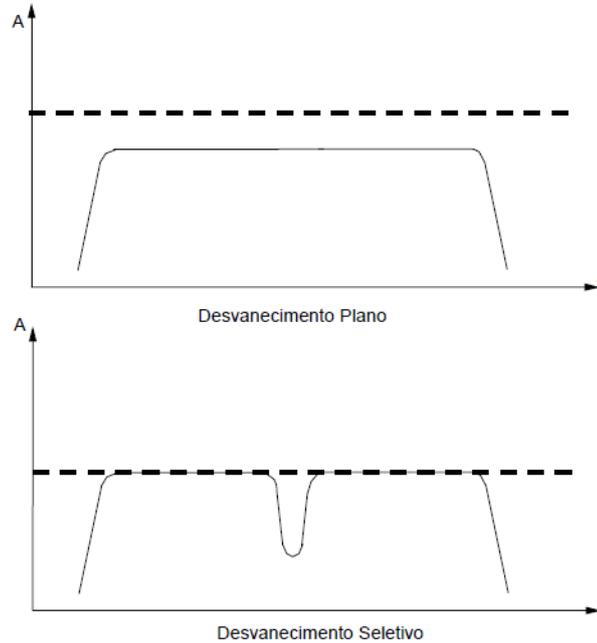


Figura 3.11: Tipos de Desvanecimento.

Convém destacar dois importantes parâmetros que caracterizam um canal sem fio. São eles, o atraso de propagação provocado por multipercurso,  $\tau_{max}$ , que é determinado pela resposta impulsiva do canal, e a largura de banda de coerência,  $B_c = 1/\tau_{max}$ , que define uma largura de banda de ganho constante.

A Figuras 3.12, 3.13 e 3.14 ilustram o efeito do desvanecimento *Rayleigh* nas constelações 16-QAM, 64-QAM e QPSK, respectivamente.

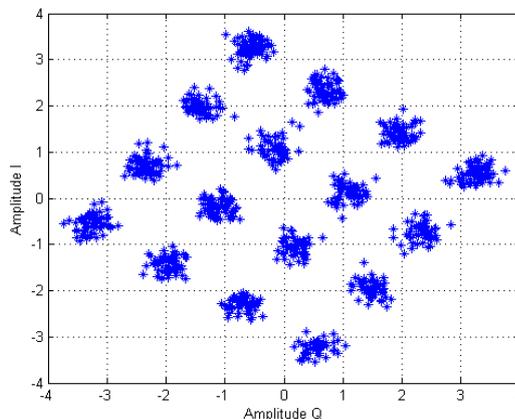


Figura 3.12: Influência do canal *Rayleigh* na constelação 16-QAM (SNR = 10 dB).

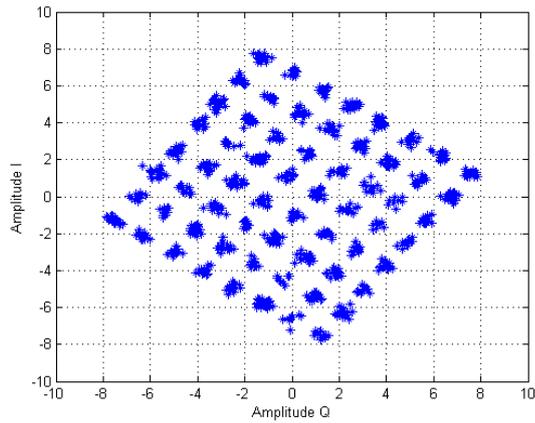


Figura 3.13: Influência do canal *Rayleigh* na constelação 64-QAM (SNR = 10 dB).

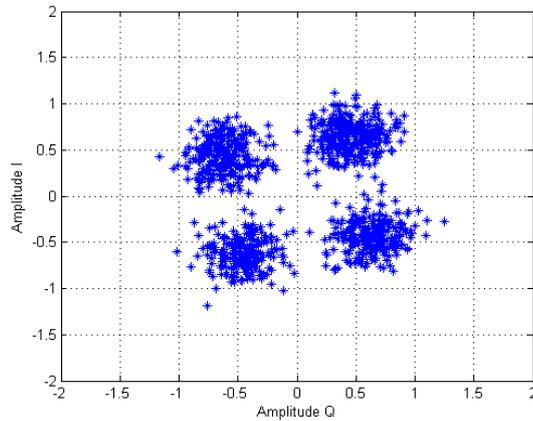


Figura 3.14: Influência do canal *Rayleigh* na constelação QPSK (SNR = 10 dB).

A probabilidade de erro de *bit* (BER) para as modulações 16-QAM, 64-QAM e QPSK, que é semelhante ao 4-QAM, no canal *Rayleigh* são dadas pela Equação 3.10 [26] e ilustradas na Figura 3.15.

$$P_{\text{Ray}} = \frac{1}{\log_2 \sqrt{M}} \sum_{k=1}^{\log_2 \sqrt{M}} P_{\text{Ray}}(k), \quad (3.10)$$

com

$$P_{\text{Ray}}(k) = \frac{1}{\sqrt{M}} \sum_{i=0}^{(1-2^{-k})\sqrt{M}-1} \left\{ w(i, k, M) \cdot \left( 1 - \frac{\sqrt{\frac{3(2i+1)^2 \log_2 M \cdot \gamma}{2(M-1)}}}{\sqrt{\frac{3(2i+1)^2 \log_2 M \cdot \gamma}{2(M-1)} + 1}} \right) \right\}. \quad (3.11)$$

em que  $M$  é a ordem da modulação.

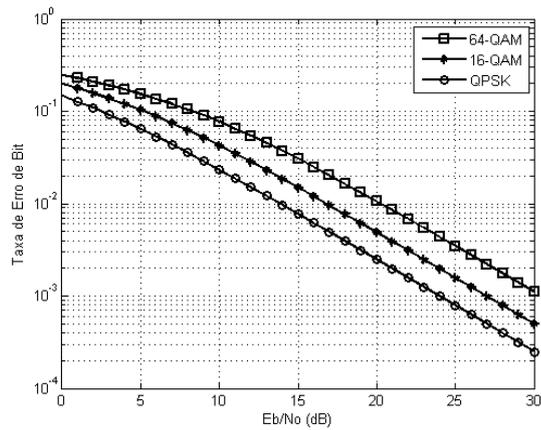


Figura 3.15: Desempenho de erro para as modulações 16-QAM, 64-QAM e QPSK no canal *Rayleigh*.

### 3.4 Conclusões

Este capítulo apresenta os conceitos básicos sobre as modulações digitais utilizadas no trabalho: QPSK, 16-QAM e 64-QAM. Além disso, descreve as equações e curvas da probabilidade de erro de *bit* e as influências provocadas aos esquemas de modulações sujeitos aos canais AWGN e *Rayleigh*, em que o primeiro adiciona ruído ao sinal, enquanto que o segundo altera a amplitude e fase das portadoras.

## Capítulo 4

---

# Método de Avaliação

---

A qualidade de serviço é essencial quando se leva em conta a diversidade de serviços disponíveis utilizando vídeo. Deste modo, com os métodos de avaliação é possível qualificar um sinal de vídeo, além de realizar ajustes nos vídeos de forma que o serviço tenha os parâmetros que atendam às expectativas dos usuários.

A qualidade de um vídeo pode ser medida utilizando métricas de qualidade objetiva ou de forma subjetiva. As medidas de avaliação subjetiva são realizadas por meio de experimentos com observadores humanos que subjetivamente classificam a qualidade do sinal processado de acordo com uma escala pré-determinada, comparando-o com outro sinal [27] [28]. Os procedimentos utilizados em um experimento da qualidade subjetiva de vídeo são descritos na recomendação BT.500 do ITU-T e a BT.500-11 do ITU-R para serviços de TV e a P.910 da ITU-T para aplicações multimídia [29].

As medidas objetivas como SNR (*Signal-to-Noise Ratio*), PSNR (*Peak Signal to Noise Ratio*) ou MSE (*Mean Squared Error*) fazem medições em tempo real, comparando à imagem sob teste como a imagem original. Essas medidas mostram uma variação em relação à qualidade verificada por observadores humanos, por consistirem de uma comparação matemática entre o sinal original e o sinal processado. Desta forma, um quadro deslocado de um *pixel* tem um PSNR baixo, mas um observador não nota a diferença entre a imagem deslocada e a original.

As medidas de avaliação objetiva são mais rápidas e de menor custo do que as soluções subjetivas. Elas mostram degradações ainda imperceptíveis, e são fundamentais na organização de padrões. O conhecimento da existência da distorção imperceptível é importante para o isolamento de sistemas defeituosos e na formação do conceito de limiares, a partir de que um determinado defeito passa a ser visível, e o quanto longe o sistema em teste está deste limiar.

### 4.1 PSNR (*Peak Signal to Noise Ratio*)

O PSNR é uma estimativa de qualidade de vídeo quando comparada com o vídeo original, de baixa complexidade. Seu uso é bastante comum em função da facilidade de obtenção desta medida.

Para vídeos codificados com 8 *bits*, a PSNR é definida pela Equação 4.1.

$$\text{PSNR} = 10 \log_{10} \left[ \frac{255^2}{\text{MSE}} \right], \quad (4.1)$$

em que o MSE é dado pelo valor médio dos erros quadráticos entre os *pixels* do quadro original e do quadro decodificado. O MSE é obtido pela equação

$$\text{MSE} = \frac{1}{P \cdot f} \sum_f \sum_{x,y} [F_1(x,y,f) - F_2(x,y,f)]^2, \quad (4.2)$$

em que P é o número total de *pixels*, x e y os índices das linhas e colunas, respectivamente, f o número de quadros,  $F_1$  e  $F_2$  representando o quadro original e o transcodificado, respectivamente.

## 4.2 Conclusões

Este capítulo descreve sucintamente características das medidas de avaliação objetiva e subjetiva, com ênfase na medida de avaliação objetiva PSNR, utilizada neste trabalho. A escolha da PSNR para uma estimativa da qualidade dos vídeos transmitidos foi devido ao fato de ser uma medida de qualidade objetiva comum, confiável e de baixa complexidade de implementação.

## Capítulo 5

---

# Resultados

---

Este capítulo apresenta os resultados obtidos nas simulações realizadas para análise da qualidade dos vídeos transcodificados. Para avaliar a qualidade dos vídeos transcodificados transmitidos por meio dos canais AWGN e *Rayleigh*, foram selecionados os vídeos *News* e *Foreman*, ilustrados na Figura 5.1.



Figura 5.1: Vídeos *News* e *Foreman*.

Os vídeos *News* e *Foreman* foram escolhidos devido ao fato de existirem esses vídeos padrões nas resoluções CIF e QCIF, sendo possível usá-los como fonte original para os vídeos transcodificados na realização dos testes objetivos.

As técnicas de transcodificação utilizadas nos vídeos transmitidos são apresentadas na Tabela 5.1, em que foram usados os filtros da Média com janelas  $3 \times 3$  e  $4 \times 4$ , filtro da Mediana com janelas  $2 \times 2$  e  $4 \times 4$  e filtro da Média Ponderada 3 descrito pela equação 2.4. Além destes, foi utilizado o filtro Sigma com janelas  $2 \times 2$  e  $3 \times 3$ . Para as janelas  $3 \times 3$  e  $4 \times 4$  o vídeo foi gerado pelos *pixels* em torno do *pixel* de referência.

Tabela 5.1: Filtros usados na transcodificação espacial.

Número	Filtro
1	Vídeo Original
2	Média $3 \times 3$
3	Média $4 \times 4$
4	Mediana $2 \times 2$
5	Mediana $4 \times 4$
6	Média Ponderada 3
7	Sigma $2 \times 2$
8	Sigma $3 \times 3$

Estas técnicas de transcodificação e suas respectivas janelas deslizantes foram escolhidas por apresentarem os melhores resultados na transcodificação de vídeos com resolução CIF para vídeos com resolução QCIF [14]. O principal objetivo da simulação foi analisar a PSNR média dos vídeos transcodificados e transmitidos, considerando os esquemas de modulações QPSK, 16-QAM e 64-QAM, com diferentes valores de SNRs.

## 5.1 Resultados obtidos para o Canal AWGN

### 5.1.1 Modulação QPSK

Esta seção descreve os resultados das simulações obtidos para o canal AWGN utilizando a modulação QPSK. Para esta modulação, as seguintes SNRs foram escolhidas: 2.5 dB, 5 dB, 7.5 dB e 10 dB.

Observando as Figuras 5.2 e 5.3 é possível notar que os vídeos originais obtiveram maiores valores de PSNR em relação aos vídeos transcodificados. Entretanto, a medida que a SNR diminui, os valores de PSNR dos vídeos originais se aproximam dos valores de PSNR dos vídeos transcodificados.

Para os valores de SNR de 2.5 dB e 5 dB, a escolha do filtro torna-se irrelevante para a qualidade dos vídeos transcodificados, uma vez que os valores de PSNR obtidos com diferentes filtros são semelhantes. No entanto, recomenda-se o uso dos filtros da Média  $3 \times 3$  ou o filtro da Mediana  $2 \times 2$ , uma vez que levam um menor tempo de processamento na transcodificação dos vídeos.

Para o vídeo *News* é possível verificar o efeito de degradação do processo de transcodificação na transmissão dos vídeos, uma vez que as PSNRs obtidas para os vídeos transcodificados diferem das PSNRs dos vídeos originais. Para o vídeo *Foreman*, com SNR de 2.5, isso não se verifica.

Os vídeos transcodificados transmitidos com SNR de 7.5 dB e 10 dB apresentam PSNRs similares para os diferentes filtros utilizados. Deste modo, não se verifica aumento na qualidade dos vídeos transcodificados quando se transmite com SNRs maior que 7.5 dB.

Estes resultados indicam que a melhor qualidade para o vídeo *News* foi obtida com o filtro Sigma  $2 \times 2$ . Para o vídeo *Foreman*, os filtros da Média  $3 \times 3$  e Média Ponderada 3 obtiveram os melhores desempenhos. Para ambos os vídeos, o filtro da Média  $4 \times 4$  obteve os piores resultados.

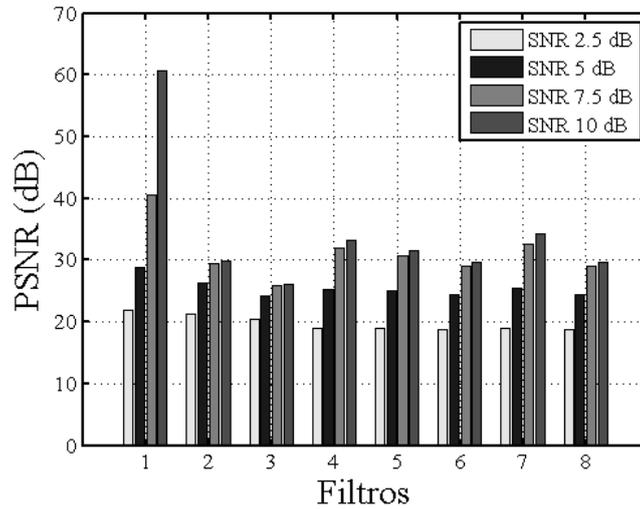


Figura 5.2: PSNR para o vídeo *News* transmitido pelo canal AWGN usando modulação QPSK.

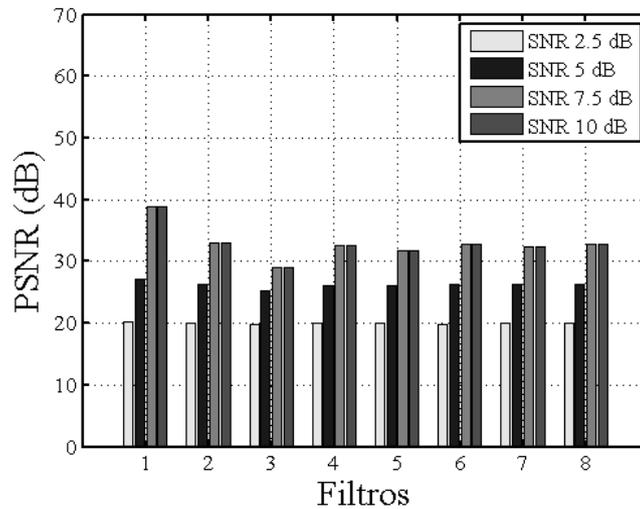


Figura 5.3: PSNR para o vídeo *Foreman* transmitido pelo canal AWGN usando modulação QPSK.

### 5.1.2 Modulação 16-QAM

Esta seção relata os resultados das simulações obtidos para o canal AWGN considerando a modulação 16-QAM.

Para avaliar a qualidade dos vídeos considerando a modulação 16-QAM, foram utilizados os valores 5 dB, 10 dB e 15 dB para a SNR. Nas Figuras 5.4 e 5.5 é possível observar que os vídeos originais

sempre obtiveram maiores valores de PSNR do que os vídeos transcodificados. Mas, os valores de PSNR dos vídeos originais caem com a diminuição do valor de SNR, se aproximando dos valores de PSNR dos vídeos transcodificados.

Também é possível observar que para a SNR de 5 dB, os valores de PSNR obtidos com todos os filtros são similares. Isso torna a escolha do filtro irrelevante para a qualidade do vídeo transmitido. Todavia, recomenda-se o uso dos filtros da Média  $3 \times 3$  ou o filtro da Mediana  $2 \times 2$  por apresentarem um tempo menor de processamento na transcodificação do vídeo comparado aos demais filtros. Além disso, para essa SNR, os vídeos transcodificados obtiveram valores de PSNR semelhantes aos vídeos originais. Sendo assim, não é possível verificar o efeito de degradação da transcodificação dos vídeos.

Para as demais SNRs, o filtro Sigma  $2 \times 2$  obteve o melhor desempenho para o vídeo *News*, enquanto que o vídeo *Foreman* obteve as maiores PSNRs com o filtro da Média  $3 \times 3$  e filtro da Média Ponderada 3. Por fim, o filtro da Média  $4 \times 4$  obteve o pior desempenho para ambos os vídeos.

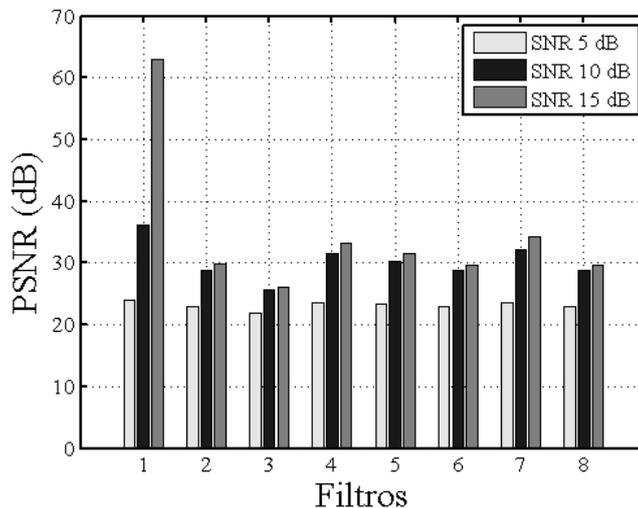


Figura 5.4: PSNR para o vídeo *News* transmitido pelo canal AWGN usando modulação 16-QAM.

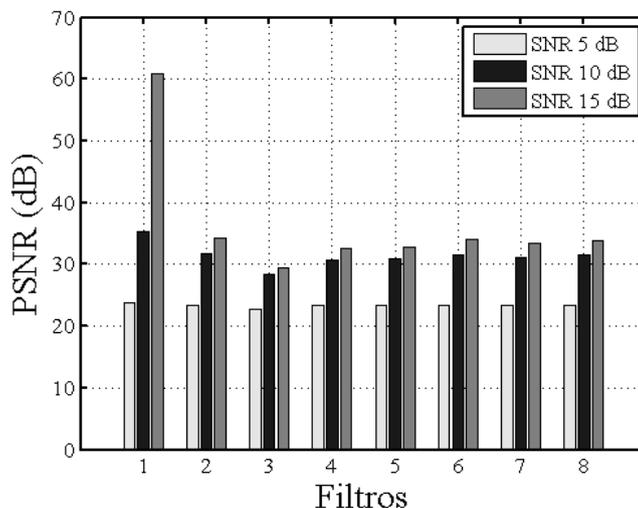


Figura 5.5: PSNR para o vídeo *Foreman* transmitido pelo canal AWGN usando modulação 16-QAM.

### 5.1.3 Modulação 64-QAM

Nesta seção são descritos os resultados das simulações obtidos para o canal AWGN utilizando a modulação 64-QAM.

Para a modulação 64-QAM, os seguintes valores de SNR foram selecionados: 5 dB, 10 dB, 15 dB e 20 dB. De acordo com as Figuras 5.6 e 5.7, os vídeos originais obtiveram PSNRs superiores aos obtidos para os vídeos transcodificados. Entretanto, ao diminuir o valor da SNR, os valores de PSNRs dos vídeos originais se aproximam dos valores de PSNR obtidos para os vídeos transcodificados.

Com as SNRs de 5 dB e 10 dB, os vídeos transcodificados obtiveram valores de PSNR semelhantes aos vídeo originais. Deste modo, é não possível constatar o efeito de degradação do processo de transcodificação na transmissão do vídeo. Além disso, os valores de PSNR obtidos utilizando todos os filtros são semelhantes tornando a escolha do filtro irrelevante para a qualidade do vídeo transmitido. No entanto, é recomendado o uso dos filtros da Média  $3 \times 3$  ou o filtro da Mediana  $2 \times 2$  por apresentarem menor tempo de processamento na transcodificação do vídeo comparado aos demais filtros.

Com as demais valores de SNR, o filtro Sigma  $2 \times 2$  obteve o melhor desempenho para o vídeo *News*. Com o vídeo *Foreman*, o filtro da Média  $3 \times 3$  e o filtro da Média Ponderada 3 obtiveram os melhores resultados. O filtro da Média  $4 \times 4$  obteve o pior resultado para os vídeos *News* e *Foreman*.

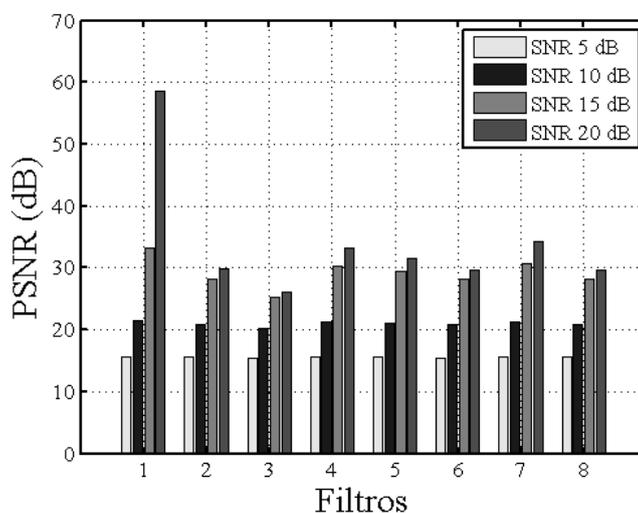


Figura 5.6: PSNR para o vídeo *News* transmitido pelo canal AWGN usando modulação 64-QAM.

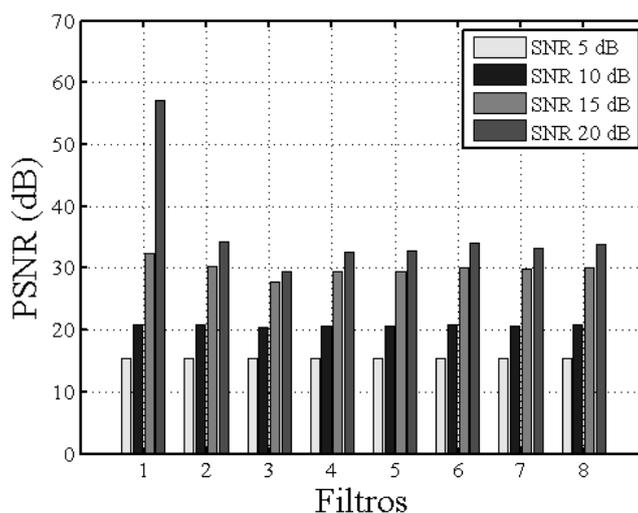


Figura 5.7: PSNR para o vídeo *Foreman* transmitido pelo canal AWGN usando modulação 64-QAM.

## 5.2 Resultados obtidos para o Canal *Rayleigh*

### 5.2.1 Modulação QPSK

Esta seção tem como objetivo descrever os resultados das simulações obtidos para o canal *Rayleigh* utilizando a modulação QPSK. Foram escolhidos os seguintes valores de SNR: 5 dB, 10 dB, 15 dB, 20 dB e 25 dB. Nas Figuras 5.8 e 5.9 é possível observar que os vídeos originais obtiveram valores maiores de PSNR comparados aos vídeos transcodificados. Entretanto, a medida que o valor da SNR diminui, o valor da PSNR dos vídeos originais se aproximam da PSNR dos vídeos transcodificados.

Para as SNRs de 5 dB e 10 dB, a escolha do filtro é irrelevante para a qualidade do vídeo transmitido, pois para todos os filtros utilizados, os PSNRs apresentaram valores semelhantes. Entretanto, recomenda-se o uso dos filtros da Média  $3 \times 3$  ou o filtro da Mediana  $2 \times 2$  por apresentarem menor tempo de processamento na transcodificação do vídeo comparado aos demais filtros. Além disso, para esses valores de SNR, a PSNR obtidas para os vídeos transcodificados são similares aos valores de PSNR dos vídeos originais. Sendo assim, para SNRs abaixo de 10 dB não é possível verificar o efeito da transcodificação na transmissão do vídeo.

Para os outros valores de SNR, os resultados indicam que a melhor qualidade para o vídeo *News* foi obtida com o filtro Sigma  $2 \times 2$ . Para o vídeo *Foreman*, o filtro da Média  $3 \times 3$  e o filtro da Média Ponderada 3 obtiveram as melhores performances. O pior desempenho para os dois vídeos foi obtido com o filtro da Média  $4 \times 4$ .

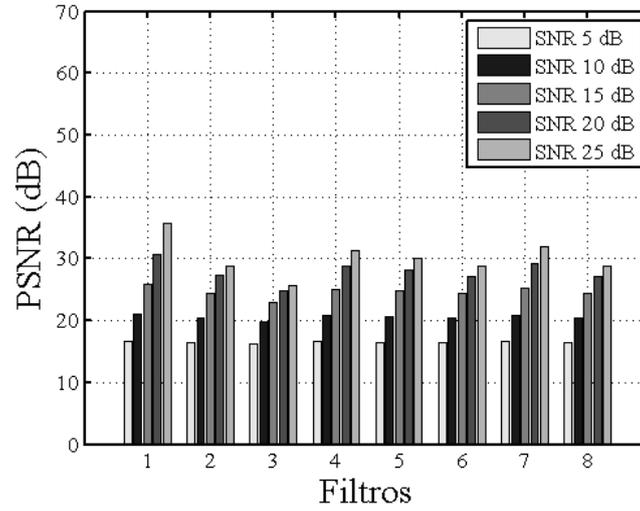


Figura 5.8: PSNR para o vídeo *News* transmitido pelo canal *Rayleigh* usando modulação QPSK.

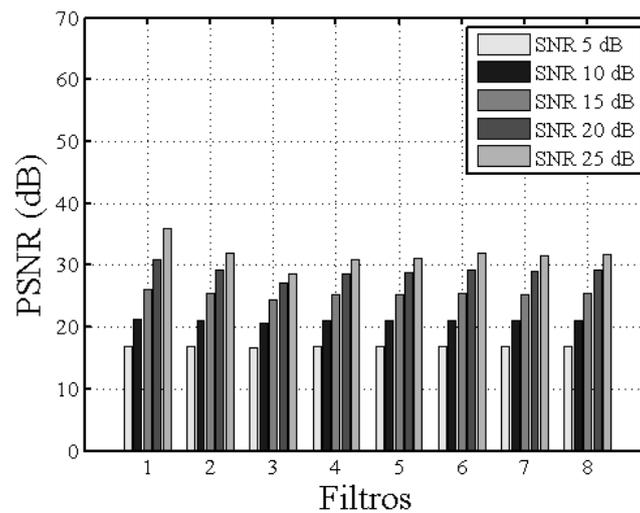


Figura 5.9: PSNR para o vídeo *Foreman* transmitido pelo canal *Rayleigh* usando modulação QPSK.

## 5.2.2 Modulação 16-QAM

Esta seção relata os resultados das simulações obtidos para o canal *Rayleigh* ao se utilizar a modulação 16-QAM.

Com objetivo de avaliar a qualidade dos vídeos com a modulação 16-QAM, os vídeos foram transmitidos usando valores de SNR de 5 dB, 10 dB, 15 dB, 20 dB, 25 dB e 30 dB. As Figuras 5.10 e 5.11 ilustram que os vídeos originais sempre obtiveram maiores valores de PSNR comparados aos vídeos transcodificados. Além disso, os valores de PSNR dos vídeos originais se aproximam dos valores de PSNR dos vídeos transcodificados com a diminuição da SNR. Assim, para valores de SNR abaixo de 10 dB, não é possível verificar o efeito da transcodificação na transmissão dos vídeos, uma vez que os valores de PSNR obtidos para os vídeos transcodificados são muito semelhantes aos obtidos para os vídeos originais.

Além disso, para valores de SNR menores que 10 dB, a escolha do filtro no processo de transcodificação torna-se irrelevante. Mas, por apresentarem menor tempo de processamento na transcodificação do vídeo comparado aos demais filtros, recomenda-se o uso dos filtros da Média  $3 \times 3$  ou o filtro da Mediana  $2 \times 2$ .

O filtro da Média  $4 \times 4$  obteve os piores resultados de PSNR para ambos os vídeos. O filtro Sigma  $2 \times 2$  obteve a melhor performance para o vídeo *News*, enquanto que o vídeo *Foreman* obteve a melhor qualidade com os filtros da Média Ponderada 3 e da Média  $3 \times 3$ .

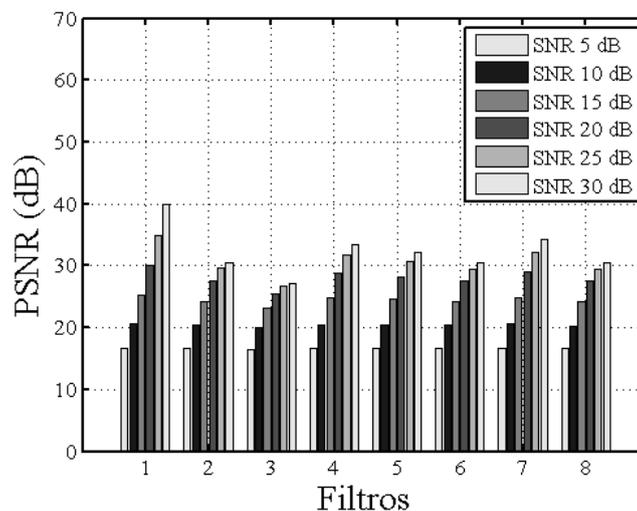


Figura 5.10: PSNR para o vídeo *News* transmitido pelo canal *Rayleigh* usando modulação 16-QAM.

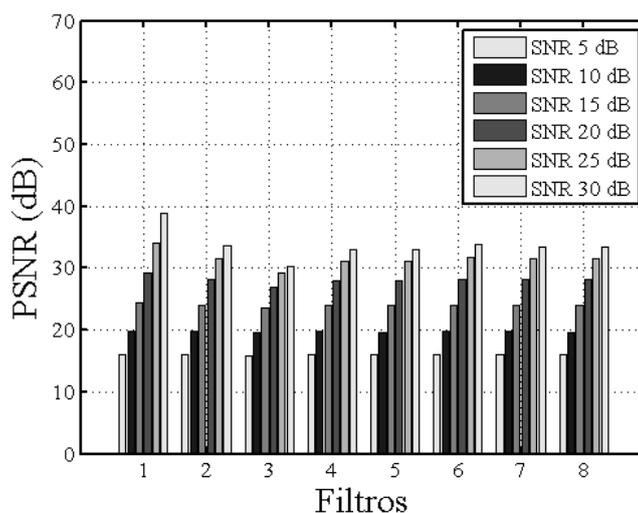


Figura 5.11: PSNR para o vídeo *Foreman* transmitido pelo canal *Rayleigh* usando modulação 16-QAM.

### 5.2.3 Modulação 64-QAM

Nesta seção são descritos os resultados das simulações obtidos para o canal *Rayleigh* considerando a modulação 64-QAM. Para esta modulação, os valores de SNR de 5 dB, 10 dB, 15 dB, 20 dB, 25 dB e 30 dB foram selecionados. De acordo com as Figuras 5.12 e 5.13 os vídeos originais obtiveram maiores valores de PSNR que os vídeos transcodificados. Mas, ao diminuir a SNR, os valores de PSNR dos vídeos originais se aproximam dos valores de PSNR dos vídeos transcodificados.

Uma vez que os valores de PSNR obtidos para os vídeos transcodificados são muito semelhantes aos obtidos para os vídeos originais com valores de SNR abaixo de 15 dB, os efeitos da transcodificação são irrelevantes para a qualidade do vídeo transmitido. Além disso, os PSNRs obtidos com todos os filtros são similares, tornando a escolha do filtro também irrelevante. Porém, recomenda-se o uso dos filtros da Média  $3 \times 3$  ou o filtro da Mediana  $2 \times 2$ , uma vez que levam um menor tempo de processamento na transcodificação dos vídeos.

O filtro Sigma  $2 \times 2$  obteve a melhor performance para o vídeo *News*. Para o vídeo *Foreman* os maiores valores de PSNR foram obtidos com os filtros da Média Ponderada 3 e da Média  $3 \times 3$ . Além disso, o filtro Média  $4 \times 4$  obteve o pior desempenho para os dois vídeos utilizados.

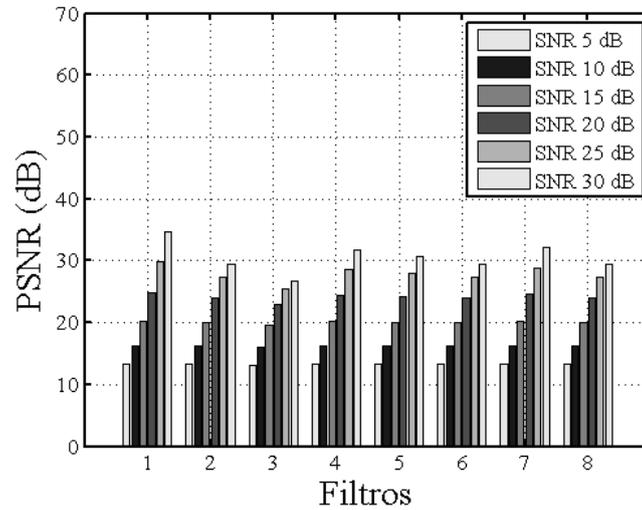


Figura 5.12: PSNR para o vídeo *News* transmitido pelo canal *Rayleigh* usando modulação 64-QAM.

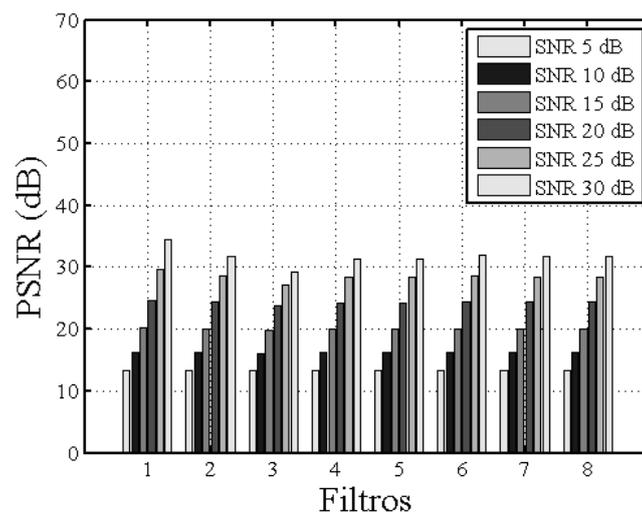


Figura 5.13: PSNR para o vídeo *Foreman* transmitido pelo canal *Rayleigh* usando modulação 64-QAM.

### 5.3 Comparação dos resultados obtidos para os canais AWGN e *Rayleigh*

Esta seção apresenta uma comparação entre resultados obtidos para os canais AWGN e *Rayleigh*. Deste modo, é possível observar que, como esperado, para todas as modulações e SNRs utilizadas, os valores de PSNR obtidos para o canal AWGN são superiores aos valores obtidos para o canal *Rayleigh*.

Para a modulação QPSK utilizando SNRs abaixo de 5 dB e 10 dB para os canais AWGN e *Rayleigh* respectivamente, a escolha do filtro torna-se irrelevante, pois os valores de PSNR obtidos para os vídeos transcodificados são semelhantes, com todos os filtros utilizados. Entretanto, no canal AWGN, verifica-se o efeito de degradação da transcodificação, uma vez que os PSNRs dos vídeos originais são superiores aos dos vídeos transcodificados. Todavia, o efeito do processo de degradação não se verifica no canal *Rayleigh*.

Com a modulação 16-QAM, a utilização dos valores de SNR de 5 dB e 10 dB para os canais AWGN e *Rayleigh* respectivamente, torna o efeito do processo de transcodificação desprezível, visto que os valores de PSNR dos vídeos originais são semelhantes aos dos vídeos transcodificados. Para estas SNRs, ainda pode-se verificar a irrelevância da escolha do filtro, pois os valores obtidos de PSNR com todos os filtros são similares.

A modulação 64-QAM apresenta o mesmo comportamento da modulação 16-QAM, com SNRs de 5 dB e 10 dB para o canal AWGN e 15 dB para o canal *Rayleigh*.

Os resultados indicam que, para ambos os canais, exceto no caso do canal *Rayleigh* utilizando as modulações QPSK e 16-QAM que obtiveram PSNRs semelhantes, o aumento da ordem da modulação provoca uma diminuição nos valores de PSNR dos vídeos originais e transcodificados. Ou seja, a transmissão realizada com a modulação QPSK obteve os maiores valores de PSNR, seguida da modulação 16-QAM e, por fim, a modulação 64-QAM. Sendo assim, a transmissão realizada considerando a modulação 64-QAM deve possuir uma maior SNR para obter resultados similares a transmissão realizada com a modulação 16-QAM e a transmissão realizada com 16-QAM deve possuir uma SNR maior para se obter resultados semelhantes aos obtidos com a modulação QPSK.

Apesar da irrelevância da escolha do filtro para a qualidade do vídeo transmitido com algumas SNRs, aconselha-se o uso dos filtros da Média  $3 \times 3$  ou o filtro da Mediana  $2 \times 2$  para ambos os canais, uma vez que levam um menor tempo de processamento na transcodificação dos vídeos.

Para as demais SNRs, os filtros que apresentam melhores desempenho não dependem do canal utilizado, uma vez que para os dois canais utilizados, considerando as modulações QPSK, 16-QAM e 64-QAM, os resultados obtidos são sempre os mesmos. Ou seja, os melhores filtros são Sigma  $2 \times 2$  para o vídeo *News* e os filtros da Média  $3 \times 3$  e da Média Ponderada 3 para o vídeo *Foreman*. Isto também se verifica para o filtro da Média  $4 \times 4$  que obteve o pior desempenho para ambos os canais utilizados, considerando as três modulações e as diversas SNRs.

## Capítulo 6

---

# Conclusões

---

Este trabalho apresenta resultados de simulações cujo objetivo é avaliar a qualidade de vídeos transcodificados transmitidos por meio dos canais AWGN e *Rayleigh*, considerando os esquemas de modulações QPSK, 16-QAM e 64-QAM, além de diversos valores de SNR.

É possível concluir que, como esperando, vídeos transmitidos por meio do canal *Rayleigh* possuem uma maior degradação comparados aos vídeos transmitidos por meio do canal AWGN.

Para a modulação QPSK, a transmissão realizada com SNR de 5 dB e 10 dB com os canais AWGN e *Rayleigh* respectivamente, torna-se irrelevante a escolha do filtro para a qualidade do vídeo transmitido, pois os valores de PSNR obtidos com todos os filtros são semelhantes. Ao se utilizar essa modulação com o canal AWGN, é possível verificar o efeito de degradação da transcodificação na transmissão do vídeo, uma vez que os valores de PSNR dos vídeos transcodificados diferem dos valores de PSNR encontrados para os vídeos originais. Entretanto, esse efeito de degradação não se verifica no canal *Rayleigh*.

Com a modulação 16-QAM, ao se utilizar os valores de SNR de 5 dB e 10 dB para os canais AWGN e *Rayleigh* respectivamente, o efeito do processo de transcodificação na transmissão do vídeo é desprezível, visto que os valores de PSNR encontrados para os vídeos originais são semelhantes aos encontrados para os vídeos transcodificados. Além disso, para essas SNRs, pode-se verificar a irrelevância da escolha do filtro para a qualidade do vídeo transcodificado e transmitido, uma vez que ao se utilizar todos os filtros, obtém-se valores semelhantes de PSNR para os vídeos transcodificados. O mesmo acontece para o esquema de modulação 64-QAM, utilizando SNRs de 5 dB e 10 dB para o canal AWGN e 15 dB para o canal *Rayleigh*.

Também é possível concluir que, para valores de SNR em que a escolha do filtro para transcodificação dos vídeos é irrelevante, o uso dos filtros da Média  $3 \times 3$  ou o filtro da Mediana  $2 \times 2$  para ambos os canais são aconselháveis, visto que levam um menor tempo de processamento na transcodificação dos vídeos.

Com os demais valores de SNR, a escolha dos filtros que apresentam melhores desempenhos não depende do canal utilizado. Para os canais AWGN e *Rayleigh*, considerando as modulações QPSK, 16-QAM e 64-QAM, os filtros Sigma  $2 \times 2$ , da Média  $3 \times 3$  e Média Ponderada 3 obtiveram o melhor desempenho, sendo seus uso recomendados no processo de transcodificação de vídeos. Todavia, não se

recomenda o uso do filtro da Média  $4 \times 4$ , uma vez que obteve o pior desempenho para ambos os canais utilizados, considerando as três modulações e as diversas SNRs.

### Sugestões para Trabalhos Futuros

Como trabalho futuro será realizada a avaliação subjetiva usando o método PC (*Pair Comparison*) dos vídeos transmitidos. Assim, será possível uma melhor análise dos efeitos da transmissão, uma vez que avaliações objetivas, como PSNR, possuem pouca correlação com as medidas subjetivas. Além disto, será inserida a etapa de codificação de canal no processo de transmissão utilizado, com o objetivo de minimizar os efeitos destrutivos dos canais de comunicações.

---

---

## Referências Bibliográficas

---

- [1] Marcelo Sampaio Alencar. *Televisão Digital*. Érica, São Paulo, 2007.
- [2] J. Xin, C.W. Lin, and M.T. Sun. Digital Video Transcoding. *Proceedings of the IEEE*, 93(1):84–97, Jan. 2005. ISSN 0018-9219. doi: 10.1109/JPROC.2004.839620.
- [3] I. Ahmad, Xiaohui Wei, Yu Sun, and Ya-Qin Zhang. Video transcoding: an overview of various techniques and research issues. *IEEE Transactions on Multimedia*, 7(5):793–804, Oct. 2005. ISSN 1520-9210. doi: 10.1109/TMM.2005.854472.
- [4] Jun Xin, Ming-Ting Sun, Byung-Sun Choi, and Kang-Wook Chun. An HDTV-to-SDTV spatial transcoder. *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, 12(11):998–1008, Nov. 2002. ISSN 1051-8215. doi: 10.1109/TCSVT.2002.805508.
- [5] R. L. Queiroz. Elementos básicos de transcodificação de vídeo para o sistema brasileiro de televisão digital (SBTVD) – relatório técnico. Technical report, IECOM, Campina Grande, 2005.
- [6] Carlos Danilo M. Regis. Avaliação de técnicas de redução da resolução espacial de vídeos para dispositivos móveis. Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, Brasil, Março 2009.
- [7] Arnaldo de Albuquerque Araújo. *Filtros Espaciais: Estudo Comparativo e Aplicações em Classificação e Segmentação de Imagens*. Tese de doutorado, Universidade Federal da Paraíba - (UFPB) - Campus II, Campina Grande - PB, Brasil, Julho 1987.
- [8] I. Pitas and A. Venetsanopoulos. Nonlinear mean filters in image processing. *IEEE Transactions on Acoustics, Speech and Signal Processing*, 34(3):573–584, Jun 1986. ISSN 0096-3518.
- [9] A. Bovik, T. Huang, and Jr. Munson, D. A generalization of median filtering using linear combinations of order statistics. *IEEE Transactions on Acoustics, Speech and Signal Processing*, 31(6):1342–1350, Dec 1983. ISSN 0096-3518.
- [10] Glauber Acunha Gonçalves and Carlos Alberto Eiras Garcia. Processamento digital de imagens SAR/ERS-1 na caracterização de feições oceanográficas. *VIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, pages p. 769–773., abril 1996.
- [11] P. P. Vaidyanathan. *Multirate systems and filter banks*. Prentice Hall/Englewood Cliffs, New Jersey, 1993.

- [12] S. K. Mitra. *Digital Signal Processing: A Computer Based Approach*. MacGraw-Hill, Santa Barbara, 3rd edition, 2006.
- [13] Rafael C. Gonzalez and Richard E. Woods. *Digital Image Processing*. Addison-Wesley Longman Publishing Co., Inc., Boston, MA, USA, 2001. ISBN 0201180758.
- [14] C.D.M. Regis, D.C. Morais, M.S. Alencar, and M.C.Q. Farias. Objective and Subjective Assessment of Space-Transcoded Videos for Mobile Receivers. In *IEEE International Symposium on Broadband Multimedia Systems and Broadcasting (BMSB)*, pages 1–6, May 2009. doi: 10.1109/IS-BMSB.2009.5133796.
- [15] H.R. Wu and K.R. Rao. *Digital Video Image Quality and Perceptual Coding*. CRC Press Taylor & Francis Group, Boca Raton, FL, USA, 2006. ISBN 0-8247-2777-0.
- [16] Lin Yin, Ruikang Yang, M. Gabbouj, and Y. Neuvo. Weighted median filters: a tutorial. *IEEE Transactions on Circuits and Systems II: Analog and Digital Signal Processing*, 43(3):157–192, Mar 1996. ISSN 1057-7130. doi: 10.1109/82.486465.
- [17] M. Ahmad and D. Sundararajan. A fast algorithm for two dimensional median filtering. *IEEE Transactions on Circuits and Systems*, 34(11):1364–1374, Nov 1987. ISSN 0098-4094.
- [18] Jacques Facon. Apostila de processamento e análise de imagens. Technical report, Pontifícia Universidade Católica do Paraná, <http://www.ppgia.pucpr.br/facon/MaterialGraduacao2005/ApostilaProclmagem.pdf>, Fevereiro 2002.
- [19] William J. Steverson. *Estatística Aplicada à Administração*. Editora Habra, São Paulo, 1986.
- [20] R. Lukac, B. Smolka, K.N. Plataniotis, and A.N. Venetsanopoulos. Generalized adaptive vector sigma filters. *International Conference on Multimedia and Expo. ICME '03.*, 1:1–537–40 vol.1, July 2003. doi: 10.1109/ICME.2003.1220973.
- [21] Marcelo Sampaio Alencar. *Telefonia Celular Digital*. Érica, 2004.
- [22] Cecilio José Lins Pimentel. *Comunicação Digital*. Brasport, 2007.
- [23] José Marcos Câmara Brito. Controle de Erro em Redes ATM sem Fio. Tese de doutorado, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, Brasil, Junho 2003.
- [24] Fuqin Xiong. *Digital Modulation Techniques*. Artech House, 2000.
- [25] T. S. Rappaport. *Wireless Communications: Principles & Practice*. Prentice-Hall:Upper Saddle River, 2nd ed edition, 2002.
- [26] Francisco Madeiro Waslon T. A. Lopes, Wamberto J. L. Queiroz and Marcelo S. Alencar. Exact Bit Error Probability of M-QAM Modulation Over Flat Rayleigh Fading Channels. *IEEE International Microwave and Optoelectronics Conference*, 2007.

- 
- [27] Francisco Madeiro Bernadino. Quantização vetorial aplicada à compressão de sinais de voz e imagem. Dissertação de mestrado, Universidade Federal da Paraíba - Campus II, Campina Grande, Brasil, Março 1998.
- [28] Cheon Seog KIM, Sung Ho JIN, Dong Jun SEO, and Yong Man RO. Measuring video quality on full scalability of H.264/AVC scalable video coding. *IEICE TRANSACTIONS on Communications*, E91-B (5):1269–1278, May 2008. ISSN 1745-1345.
- [29] ITU-T. ITU-T Recommendation P.910, Subjective Video Quality Assessment Methods For Multimedia Applications, September 1999.