ADRIEL DOS SANTOS ARAÚJO

UM ESTUDO COMPARATIVO ENTRE DESCRITORES DE TEXTURA BASEADOS NA MATRIZ DE COOCORRÊNCIA EM ESCALA DE CINZA E HISTOGRAMAS DE SOMA E DIFERENÇA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Computação da Universidade Federal Fluminense, como requisito parcial para obtenção do Grau de Mestres. Área de Concentração: COMPUTAÇÃO VISUAL.

Orientadora: Profa. Dra. Aura Conci. Coorientador: Prof. Dr. Roger Resmini.

> Niterói 2018

Ficha catalográfica automática - SDC/BEE

A658e Araújo, Adriel dos Santos Um Estudo Comparativo entre Descritores de Textura Baseados na Matriz De Coocorrência em Escala de Cinza e Histogramas de Soma e Diferença / Adriel dos Santos Araújo ; Aura Conci, orientadora ; Roger Resmini, coorientador. Niterói, 2018. 129 f. : il. Dissertação (mestrado)-Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2018. DOI: http://dx.doi.org/10.22409/PGC.2018.m.03466348145 1. Computação visual. 2. Processamento de imagem. 3. Produção intelectual. I. Título II. Conci,Aura, orientadora. III. Resmini, Roger, coorientador. IV. Universidade Federal Fluminense. Escola de Engenharia. CDD -

Bibliotecária responsável: Fabiana Menezes Santos da Silva - CRB7/5274

ADRIEL DOS SANTOS ARAÚJO

UM ESTUDO COMPARATIVO ENTRE DESCRITORES DE TEXTURA BASEADOS NA MATRIZ DE COOCORRÊNCIA EM ESCALA DE CINZA E HISTOGRAMAS DE SOMA E DIFERENÇA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Computação da Universidade Federal Fluminense, como requisito parcial para obtenção do Grau de Mestre. Área de Concentração: COMPUTAÇÃO VISUAL.

Aprovada em 16 de julho de 2018.

BANCA EXAMINADORA
na.
Profa Dra. Aura Conci – Orientadora
UFF
- Moger Verun
Prof. Dr. Roger Resmini - Coorientador
UFMT
Deenhy
Profa. Dra. Débora Christina Muchaluat Saade
UFF
Musling Antras Juntiment
Prof. Dr. Anselmo Antunes Montenegro
Wanchs Oftani Jectini \$
Prof. Dr. Evandro Ottoni Teatini Salles
UFES
Umm

Prof. Dr. Érick Oliveira Rodrigues UNIFEI

Niterói

2018

À toda minha família, por sua incrível capacidade de acreditar e investir em mim. Mãe, seu cuidado e dedicação me deram a esperança para seguir em frente. Pai (*in memoriam*), sua ausência foi especialmente sentida neste momento tão importante da minha vida.

AGRADECIMENTOS

À minha querida orientadora e amiga, Aura Conci, que com paciência e dedicação me guiou até aqui. Seus passos são um exemplo para os meus! Jamais me esquecerei das nossas conversas e das suas orientações! Agradeço ainda pelo cuidado e zelo que teve com os detalhes da minha primeira apresentação internacional. Muito obrigado Aura!

Ao meu grande amigo e, nesta ocasião coorientador, Roger Resmini, por ter me acompanhado desde a graduação. A minha formação, inclusive pessoal, não teria sido a mesma não fosse o seu amor pelo ensino.

A todos os professores que passaram pela minha vida acadêmica.

Aos colaboradores das instituições UFF e UFMT que participaram direta ou indiretamente da minha formação.

Aos amigos que foram os responsáveis por tornar esta jordana mais amena, trazendo sorrisos nos rostos e compartilhando comigo bons momentos.

À toda minha família, sem exceções, que mesmo na distância, soube compartilhar as alegrias e tristezas desta jornada! Em especial, aos meus avós Hermes e Benildes: a humildade e simplicidade no sorriso de vocês me faz transbordar de alegria. Amo todos.

"Só não consegue atingir seus objetivos quem acredita que as coisas são fáceis." Silvio Santos

RESUMO

Diversas atividades computacionais, como segmentação e classificação de imagens, usam informações de textura. Esta informação é computacionalmente analisada com a ajuda de descritores. Eles são normalmente calculados através da Matriz de Coocorrência de Nível de Cinza (GLCM), que tem um custo quadrático. Neste trabalho, discutimos uma alternativa a este método: o uso de Histogramas de Soma e Diferença (SDH). Os SDH têm custo linear e permitem calcular os mesmos descritores de texturas calculados a partir da GLCM. Um conjunto de nove equações que já existem na literatura, mas que apresentam diferença com o GLCM, foi investigado e adaptado neste estudo. As diferenças (que em alguns casos costumavam ser de uma ordem muito considerável até mesmo de milhares) foram eliminadas na maioria dos descritores. As poucas diferenças restantes apresentam valores muito próximos de zero, sempre menores que um e agora em ordem décimos. Além disso, seis outras equações são propostas e discutidas neste estudo. Para validar essas afirmações, uma série de experimentos é realizada, usando texturas reais e sintéticas. Cada tipo de textura contém diferentes combinações de padrões, graus tonais, tamanhos e aspectos de orientação, permitindo a visualização do padrão principal em diferentes escalas. Estas experiências validam as equações discutidas neste estudo e mostram que um dado descritor tem o mesmo comportamento em ambas as abordagens. Todos os resultados foram favoráveis ao uso do SDH que apresentou mais do que apenas uma redução na complexidade computacional, sendo muito mais simples de ser entendido teoricamente, com uma implementação mais básica em qualquer linguagem de computador ou com o uso de qualquer ferramenta de programação disponível atualmente.

Palavras-chave: Descritores de Textura, GLCM, SDH, Custo Computacional.

ABSTRACT

Several computational activities, such as image segmentation and classification, use texture information. This information is computationally analyzed with the help of descriptors. They are typically calculated through the Gray Level Co-occurrence Matrix (GLCM), which has a quadratic cost. In this work, we discuss an alternative to this method: the use of Sum and Difference Histograms (SDH). SDH has linear cost and presents the same results as GLCM. A set of nine equations that already exist in the literature, but presenting difference with GLCM, has been investigated and adapted in this study. The differences (which in some cases used to be of a very considerable order, even up to thousands) are eliminated in most of the descriptors. The few remaining differences present values very close to zero, now in decimal order. In addition, six other equations are proposed and discussed in this study. To validate these statements, a series of experiments are performed, using real and synthetic textures. Each type of texture contains different combinations of patterns, tonal grades, sizes and orientation aspects allowing visualization of the main pattern reproduced on different scales. These experiments validate the equations discussed in this study and show that the descriptors have the same behavior in both approaches. All the results were favorable to the use of SDH that presented more than only a reduction in the computational complexity much simpler theoretical meaning and basic implementation in any computer language or software tool.

Keywords: Sum and Difference Histograms, GLCM, SDH, Computational Cost.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1. Exemplo ilustrando o texton de uma textura binária	18
Figura 2. Direções para deslocamento dos ângulos	23
Figura 3. Cálculo da GLCM em uma imagem com 4 tons de cinza	24
Figura 4. Representação de ângulo e distância nos SDH a partir da vizinhança	26
Figura 5. Cálculo dos SDH em uma imagem com quatro tons de cinza	27
Figura 6. Ângulos entre 0° e 45°	
Figura 7. Diferenças entre Unser e Propostas – Experimentos 1 e 3	66
Figura 8. Diferenças entre Unser e Propostas – Experimentos 2 e 4	69
Figura 9. Diferenças entre Unser e Propostas – Experimentos 5, 6 e 7	72
Figura 10. Diferenças entre Unser e Propostas – Experimentos 8, 9 e 10	74
Figura 11. Diferenças entre Unser e Propostas – Experimentos 11, 12 e 13	76
Figura 12. Comportamento da Textura 49 do Experimento 16	84
Figura 13. Diferenças entre Unser e Propostas – Experimentos 14, 15 e 16	89

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Funções em Notação O comumente utilizadas	
Tabela 2. Equações propostas para descritores baseados em Unser	
Tabela 3. Equações não modificadas para descritores baseados em Unser	
Tabela 4. Equações propostas para os descritores não baseados em Unser	
Tabela 5. Textons utilizados para gerar as texturas sintéticas	
Tabela 6. Imagens paralelas aos ângulos de cálculo	
Tabela 7. Imagens entre os ângulos de 0º e 45º	
Tabela 8. Imagens entre os ângulos de 45º e 90º	40
Tabela 9. Imagens entre os ângulos de 90º e 135º	41
Tabela 10. Texturas de Lazebnik	
Tabela 11. Experimentos do Grupo A	45
Tabela 12. Experimentos do Grupo B	
Tabela 13. SDH e GLCM do Experimento 1 – Textura 1	
Tabela 14. SDH e GLCM do Experimento 1 – Textura 2	
Tabela 15. SDH e GLCM do Experimento 1 – Textura 3	
Tabela 16. GLCM e SDH não normalizados – Experimento 1	
Tabela 17. SDH do Experimento 3	
Tabela 18. SDH do Experimento 2	
Tabela 19. SDH do Experimento 4	
Tabela 20. SDH e GLCM do Experimento 5 – Textura 13	
Tabela 21. SDH e GLCM do Experimento 5 – Texturas 14 e 15	
Tabela 22. Resultados do Experimento 6.	
Tabela 23. SDH do Experimento 7	
Tabela 24. SDH do Experimento 8	
Tabela 25. SDH do Experimento 9	
Tabela 26. SDH do Experimento 10	
Tabela 27. SDH do Experimento 11	60
Tabela 28. SDH do Experimento 12	60
Tabela 29. Resultados do Experimento 13	60
Tabela 30. Comparações de resultados para o Experimento 1, Textura 1	
Tabela 31. Comparações de resultados para o Experimento 1, Textura 2	
Tabela 32. Comparações de resultados para o Experimento 1, Textura 3	

Tabela 33. Comparações de resultados para o Experimento 3	63
Tabela 34. Comparações COR-1, CSHA e CPRO, Experimento 3, Textura 7	64
Tabela 35. Comparações SMA, ENT, HOM, COM, Experimentos 1 e 3	64
Tabela 36. Resultados da ENE, COR-2, DIS, MED-J e DPA-J no Experimento 1	65
Tabela 37. Comparações de resultados para o Experimento 2, Textura 4	67
Tabela 38. Comparações de resultados para o Experimento 2	67
Tabela 39. Diferença dos descritores propostos entre GLCM e SDH – Experimento 2	68
Tabela 40. Diferença dos descritores propostos entre GLCM e SDH – Experimento 4	68
Tabela 41. Comparações de resultados para ENE e MED-J – Experimentos 2 e 4	69
Tabela 42. Comparações de resultados para o Experimento 5	71
Tabela 43. Comparações com os descritores propostos neste estudo, Experimento 5	71
Tabela 44. Resultados dos descritores mais expressivos – Experimento 6	71
Tabela 45. Resultados dos descritores mais expressivos – Experimento 7	72
Tabela 46. Resultados dos descritores mais expressivos – Experimento 8	73
Tabela 47. Resultados dos descritores mais expressivos – Experimento 9	73
Tabela 48. Resultados dos descritores mais expressivos – Experimento 10	74
Tabela 49. Resultados dos descritores COR-2 e HOM - Experimentos 11, 12 e 13	75
Tabela 50. SDH e GLCM do Experimento 14 – Textura 40	78
Tabela 51. SDH e GLCM do Experimento 14 – Textura 41	79
Tabela 52. SDH e GLCM do Experimento 14 – Texturas 42 e 43	80
Tabela 53. SDH do Experimento 15 – Texturas 44 e 46	81
Tabela 54. SDH do Experimento 15 – Textura 45 e 47	82
Tabela 55. GLCM do Experimento 15	82
Tabela 56. SDH do Experimento 16 – Textura 48	83
Tabela 57. SDH e GLCM do Experimento 16 – Textura 49	84
Tabela 58. SDH do Experimento 16 – Texturas 50 e 51	85
Tabela 59. Comparações para o Experimento 14 – Textura 40	86
Tabela 60. Comparações para o Experimento 14 – Descritores propostos	87
Tabela 61. Diferença a partir dos descritores propostos – Experimento 14	87
Tabela 62. Diferença a partir dos descritores propostos – Experimento 15	87
Tabela 63. Diferença a partir dos descritores propostos – Experimento 16	88
Tabela 64. Comparações de resultados para VAR – Experimentos 14, 15 e 16	88

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E TERMOS

Ang.	:	Ângulo					
Ap.	:	Apêndice					
COM	:	Contraste					
COR-1	:	Correlação 1					
COR-2	:	Correlação 2					
CPRO	:	Cluster Prominence					
CSHA	:	Cluster Shade					
D1	:	Distância Tamanho 1					
D2	:	Distância Tamanho 2					
D3	:	Distância Tamanho 3					
DIS	:	Dissimilaridade					
DPA-J	:	Desvio Padrão Vertical					
ENE	:	Energia					
ENT	:	Entropia					
Exp.	:	Experimento					
GLCM	:	Grey Level Co-occurence Matriz - Matriz de Coocorrência em Escala de					
		cinza					
HD	:	Histograma da Diferença					
HOM	:	Homogeneidade					
HS	:	Histograma da Soma					
MED-G	:	Média Global					
MED-I	:	Média Horizontal					
MED-J	:	Média Vertical					
N/A	:	Não se Aplica					
PR	:	Pixel de Referência					
PV	:	Pixel Vizinho					
S/D	:	Sem Diferença					
SDH	:	Sum and Difference Histograms - Histogramas de Soma e Diferença					
SMA	:	Segundo Momento Angular					
T1	:	Texton Tamanho 1					
T2	:	Texton Tamanho 2					
T3	:	Texton Tamanho 3					
Tex.	:	Textura					
Textel	:	Texture Element - Elemento da Textura					
Texton	:	Menor Área de Textura de uma Imagem					
VAR	:	Variância					

LISTA DE SÍMBOLOS

С	:	Um Número Inteiro Positivo
d	:	Distância
di	:	Distância Horizontal
dj	:	Distância Vertical
i	:	i-ésima Posição Horizontal numa dada Estrutura de Dados
j	:	j-ésima Posição Vertical numa dada Estrutura de Dados
n	:	Quantidade de Passos de um Algoritmo
Ν	:	Quantidade de Tons de Cinza de uma Imagem
0	:	Notação O
P(i,j)	:	Pixel de Referência na Posição (i,j)
θ	:	Ângulo

SUMÁRIO

Capítulo 1 – Introdução 1	.17
1.1 Escopo do Trabalho1	.18
1.1.1 Justificativa1	.19
1.1.2 Objetivos1	.19
1.1.3 Organização2	.20
Capítulo 2 – Referencial Teórico2	.21
2.1 Complexidade de Algoritmos2	.21
2.2 Matriz de Coocorrência em Escala de Cinza (GLCM)2	.23
2.3 Complexidade da GLCM2	.25
2.4 Histogramas de Soma e Diferença (SDH)2	.25
2.5 Complexidade dos SDH2	.27
Capítulo 3 – Descritores de TexturaS2	.28
3.1 Adaptação das Equações e Novas Propostas	.30
3.2 Complexidade	.33
3.2 Complexidade	.33
3.2 Complexidade 3 Capítulo 4 – Repositórios de Texturas 3 4.1 Sintéticas 3	.33 .35 .36
3.2 Complexidade 3 Capítulo 4 – Repositórios de Texturas 3 4.1 Sintéticas 3 4.2 Reais 4	.33 .35 .36 .42
3.2 Complexidade 3 Capítulo 4 – Repositórios de Texturas 3 4.1 Sintéticas 3 4.2 Reais 4 Capítulo 5 – Experimentos 4	.33 .35 .36 .42 .44
3.2 Complexidade 3 Capítulo 4 – Repositórios de Texturas 3 4.1 Sintéticas 3 4.2 Reais 3 Capítulo 5 – Experimentos 4 5.1 Grupo A 4	.33 .35 .36 .42 .44
3.2 Complexidade 3 Capítulo 4 – Repositórios de Texturas 3 4.1 Sintéticas 3 4.2 Reais 3 Capítulo 5 – Experimentos 4 5.1 Grupo A 4 5.2 Grupo B 4	.33 .35 .36 .42 .44 .44
3.2 Complexidade 3 Capítulo 4 – Repositórios de Texturas 3 4.1 Sintéticas 3 4.2 Reais 3 4.2 Reais 4 Capítulo 5 – Experimentos 4 5.1 Grupo A 4 5.2 Grupo B 4 Capítulo 6 – Resultados e Discussões 4	.33 .35 .36 .42 .44 .44 .45 .47
3.2 Complexidade 3 Capítulo 4 – Repositórios de Texturas 3 4.1 Sintéticas 3 4.2 Reais 3 Capítulo 5 – Experimentos 4 5.1 Grupo A 4 5.2 Grupo B 4 Capítulo 6 – Resultados e Discussões 4 6.1 Grupo A 4	.33 .35 .36 .42 .44 .44 .45 .47
3.2 Complexidade 3 Capítulo 4 – Repositórios de Texturas 3 4.1 Sintéticas 3 4.2 Reais 3 4.2 Reais 4 Capítulo 5 – Experimentos 4 5.1 Grupo A 4 5.2 Grupo B 4 Capítulo 6 – Resultados e Discussões 4 6.1 Grupo A 4 6.1.1 Comportamento das Estruturas 4	.33 .35 .42 .44 .44 .45 .47 .47 .48
3.2 Complexidade 3 Capítulo 4 – Repositórios de Texturas 3 4.1 Sintéticas 3 4.2 Reais 4 Capítulo 5 – Experimentos 4 5.1 Grupo A 4 5.2 Grupo B 4 Capítulo 6 – Resultados e Discussões 4 6.1 Grupo A 4 6.1.1 Comportamento das Estruturas 4 6.1.1.1 Ângulos de Cálculo 4	.33 .35 .42 .44 .44 .45 .47 .47 .48
3.2 Complexidade 3 Capítulo 4 – Repositórios de Texturas 3 4.1 Sintéticas 3 4.2 Reais 3 4.2 Reais 4 Capítulo 5 – Experimentos 4 5.1 Grupo A 4 5.2 Grupo B 4 Capítulo 6 – Resultados e Discussões 4 6.1 Grupo A 4 6.1.1 Comportamento das Estruturas 4 6.1.1.1 Ângulos de Cálculo 4 6.1.1.1 Faixas Horizontais e Verticais - Experimentos 1 e 3 4	.33 .35 .42 .44 .44 .45 .47 .47 .47 .48 .48 .48

6.1.1.2 Ângulos Intermediários	54
6.1.1.2.1 Experimentos 5, 6 e 7	54
6.1.1.2.2 Experimentos 8, 9 e 10	58
6.1.1.2.3 Experimentos 11, 12 e 13	59
6.1.2 Comportamento dos Descritores	60
6.1.2.1 Ângulos de Cálculo	61
6.1.2.1.1 Faixas Horizontais e Verticais - Experimentos 1 e 3	61
6.1.2.1.2 Faixas Diagonais - Experimentos 2 e 4	66
6.1.2.2 Ângulos Intermediários	69
6.1.2.2.1 Experimentos 5, 6 e 7	70
6.1.2.2.2 Experimentos 8, 9 e 10	73
6.1.2.2.3 Experimentos 11, 12 e 13	75
6.2 Grupo B	76
6.2.1 Comportamento das Estruturas	77
6.2.1.1 Experimento 14	77
6.2.1.2 Experimento 15	81
6.2.1.3 Experimento 16	83
6.2.2 Comportamento dos Descritores	85
6.2.2.1 Experimentos 14, 15 e 16	86
Capítulo 7 – Conclusões	90
7.1 Trabalhos Futuros	92
Referências	94
Apêndice A – SDH e GLCM do Experimento 1	98
Apêndice B – SDH e GLCM do Experimento 2	100
Apêndice C – SDH e GLCM do Experimento 3	102
Apêndice D – SDH e GLCM do Experimento 4	104
Apêndice E – SDH e GLCM do Experimento 5	106

Apêndice F – SDH e GLCM do Experimento 610	08
Apêndice G – SDH e GLCM do Experimento 71	10
Apêndice H – SDH e GLCM do Experimento 81	12
Apêndice I – SDH e GLCM do Experimento 91	14
Apêndice J – SDH e GLCM do Experimento 101	16
Apêndice K – SDH e GLCM do Experimento 111	18
Apêndice L – SDH e GLCM do Experimento 1212	20
Apêndice M – SDH e GLCM do Experimento 1312	22
Apêndice N – SDH e GLCM do Experimento 1412	24
Apêndice O – SDH e GLCM do Experimento 1512	26
Apêndice P – SDH e GLCM do Experimento 1612	28

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO

Atividades de análise e processamento de imagens rotineiramente costumam utilizar informações de textura em seus processos. Essas informações, embora facilmente percebidas e consideradas triviais por humanos, costumam apresentar alta complexidade do ponto de vista computacional uma vez que algumas de suas propriedades não se originam simplesmente de uma cor ou intensidade de tom (PARKER, 1997).

Apesar da sua importância, não existe uma definição formal a respeito do termo textura, sendo definido de acordo com os objetivos da área de estudo. Em análise de imagens, Watt e Policarpo (1998) definem a textura como uma região que possui um conjunto de elementos similares e parcialmente ordenados (WATT; POLICARPO, 1998). Pedrini e Schwartz (2008) a define como variações repetitivas de pixels que possuem um padrão regular ou randômico na imagem (PEDRINI; SCHWARTZ, 2008). De forma geral, o termo pode ser entendido como um conjunto de padrões visuais que se repetem em uma imagem. Com relação as informações de textura, Gonzalez e Wood (2000) as definem como características que quantificam propriedades como de suavidade, rugosidade e regularidade (GONZALEZ; WOODS, 2000). Ebert *et al.* (2002) por sua vez as descreveu como um conjunto de características diretamente relacionadas às propriedades da superfície dos objetos (EBERT *et al.*, 2002).

Ao contrário de outras informações, como o brilho, as informações de textura não podem ser obtidas a partir unicamente de um só pixel (RUBIN, 1990). A menor área representativa de um padrão de textura da imagem é definida como um elemento de textura (*texture element – textel*) que caracteriza um conjunto de pixels com propriedades texturais similares. Na literatura, o termo mais utilizado para se referir a um elemento de textura é *texton* (JULESZ, 1981). A Figura 1 mostra a composição de uma textura a partir do seu texton.

As informações de textura podem ser agrupadas de acordo com o escopo da técnica utilizada para caracterizá-las. As abordagens para classificações mais comuns são Estatísticas, Estruturais e Espectrais (PARKER, 1997), onde: 1) Abordagens estatísticas são aquelas que consideram o relacionamento espacial e a variação de tons dos textons de uma imagem para se obter as características de textura; 2) Abordagens estruturais consideram elementos geográficos como linhas ou formas geométricas para definir a relação entre os elementos de textura de uma imagem. 3) Abordagens espectrais ao contrário das abordagens estatísticas e estruturais, que operam do domínio do espaço, operam no domínio da frequência e fazem isso através de transformadas de Fourier, para encontrar características que as definem.



Figura 1. Exemplo ilustrando o texton de uma textura binária.

Segundo Conci *et. al* (2003), a análise de textura é uma área de pesquisa dentro da computação visual que apresenta estudos em diversos segmentos como: 1) Segmentação de imagens a partir do perfil textural, dividindo a imagem em regiões consideradas de interesse; 2) Descrição e extração das características baseadas em medidas que quantificam os elementos de textura de uma imagem; 3)Aprendizado de máquina realizando tarefas como classificação, agrupamento e regras de associação baseados em informações de textura; 4) Análise da forma para mensurar parâmetros geométricos dos elementos de textura da imagem; 5) Reconstrução, em atividades que fazem uso das informações de textura para criar objetos sintéticos ou reconstruir tridimensionalmente elementos representados em uma imagem (CONCI; AZEVEDO; LETA, 2003).

1.1 ESCOPO DO TRABALHO

Este trabalho utiliza abordagens estatísticas para cálculo de descritores de textura que quantificam propriedades de uma imagem. Dentre as abordagens estatísticas mais utilizadas na literatura para computação destes descritores, está a Matriz de Coocorrência em Escala de Cinza (*Gray Level Co-occurence Matrix - GLCM*). Essa matriz, tem sempre o número de seus elementos igual ao quadrado do número de tons de cinza da imagem. Ela, em seu cálculo, considera o relacionamento entre dois pixels a certa distância e direção. Diversos índices, chamados de descritores são então calculados a partir dessas informações da imagem (HARALICK *et al.*, 1973).

Unser (1986) discute o cálculo de alguns destes descritores utilizando equações que não se baseiam na GLCM. Os dados de relacionamento entre os tons de cinza da imagem,

utilizados para cálculo destes descritores, são computados a partir de Histogramas de Soma e Diferença (*Sum and Difference Histogram - SDH*) (UNSER, 1986). Esses histogramas têm número de elementos iguais a duas vezes a quantidade de tons de cinza da imagem. O valor numérico dos descritores obtidos a partir dos SDH são próximos aos da GLCM, mas com um intervalo de variação que dependendo da magnitude do descritor, pode chegar a grandeza de 10³ da unidade de cálculo usada.

1.1.1 JUSTIFICATIVA

Em contraste com a GLCM, que é uma estrutura bidimensional, os SDH são unidimensionais. Uma vez que haja uma relação de correspondência entre os dados armazenados nestas duas estruturas e que o comportamento dos descritores seja similar, os SDH têm menor custo computacional. Operações como armazenamento e recuperação de todos os dados dos SDH tendem a consumir menos recursos e tempo computacional que a GLCM, além de apresentarem menor complexidade.

A investigação em torno da evolução nas equações e do cálculo de outros descritores, a partir dos SDH, fornece ainda mais subsídios para utilização desta abordagem pela comunidade científica.

1.1.2 OBJETIVOS

Este trabalho apresenta uma investigação a respeito da correspondência dos SDH com a GLCM. São observadas as características dessas abordagens, os valores absolutos dos seus descritores e seus os comportamentos e dispersões numéricas em texturas com diferentes padrões.

As equações de cálculo dos descritores, computados a partir dos SDH, são exploradas de forma a apresentarem resultados iguais ou com um intervalo de diferença menor do que seus correspondentes na GLCM. Equações de cálculo de outros descritores não apontados por Unser (1986), também são propostos neste trabalho.

Além disso, este estudo investiga a similaridade dos dados de coocorrência entre os tons de cinza de uma imagem computados e armazenados nas estruturas da GLCM e SDH. Essa investigação busca traçar uma relação de correspondência de comportamento não apenas nos descritores, mas também nas estruturas de dados destas duas abordagens.

1.1.3 ORGANIZAÇÃO

Este trabalho está organizado da seguinte forma: no Capítulo 2 é disposta a fundamentação teórica para entendimento de conceitos na área desta pesquisa; no Capítulo 3 são discutidos os descritores de texturas abordados neste estudo, tão como suas equações propostas; no Capítulo 4 são apresentados os repositórios de texturas sintéticas e reais utilizados neste trabalho; no Capítulo 5 são apresentados os experimentos realizados para investigar a correspondência entre os SDH e a GLCM; no Capítulo 5 são expostos os resultados obtidos, feitas as discussões e comparações entre as abordagens; no Capítulo 6 são feitas as considerações finais deste trabalho e comentados os trabalhos futuros.

CAPÍTULO 2 – REFERENCIAL TEÓRICO

Uma das abordagens estatísticas mais utilizadas na literatura para a análise de textura emprega os descritores apresentados por Haralick *et al.* (1973) fazendo uso dos dados de relacionamento entre os tons de cinza de uma imagem computados pela GLCM. Essa matriz sempre será quadrada, tendo o seu número de elementos diretamente ligado à quantidade de tons de cinza presentes na imagem analisada. A computação destes descritores torna-se naturalmente mais complexa à medida que o número de tons de cinza da imagem aumenta.

Atualmente, qualquer indivíduo com um dispositivo móvel é capaz de produzir inúmeras imagens com boas resoluções. Essas imagens podem ser usadas não só para entretenimento, mas também para fins científicos e comerciais. Muitos trabalhos já utilizam imagens capturadas destes dispositivos como parte das suas metodologias ou regras de negócio (NEPOMNIACHTCHI *et al.* 2016; PARK *et al.*, 2013; QIN; BAO, 2011; SZARKA; GUTTMAN, 2017). Este fator, aliado a popularidade da internet, tem impulsionado o aumento no volume de imagens a serem processadas. Neste contexto, é necessário considerar abordagens para reduzir os custos e recursos computacionais necessários no processamento destas imagens.

Uma alternativa para o cálculo dos descritores de Haralick *et al.* (1973) é o uso de SDH. Este método também armazena informações sobre o relacionamento entre níveis de cinza de uma imagem. O tamanho máximo dos vetores usados para armazenar essas informações será sempre o dobro da quantidade de tons de cinza presentes na imagem analisada. Uma vez que as duas abordagens sejam equivalentes, ganha-se no processamento de texturas, desta forma, pela sua maior simplicidade e economia de recursos computacionais.

Por se tratar de uma estrutura linear, o processo computacional em torno dos descritores de textura obtidos a partir dos SDH torna-se naturalmente menos complexo que da GLCM.

2.1 COMPLEXIDADE DE ALGORITMOS

Um problema, independente da sua natureza, pode muitas vezes ser resolvido por diversos algoritmos diferentes. Cada um desses algoritmos tende a se comportar de maneira diferente em relação ao uso de recursos computacionais. A análise de algoritmos considera qual o custo do uso de um algoritmo específico, investigando o seu desempenho, como por exemplo, o número de vezes em que as instruções são executadas até que o problema seja resolvido. Além desta análise individual, é possível ainda realizar análises sobre um conjunto de algoritmos a fim de identificar qual apresenta o menor custo possível para resolver um mesmo problema (KNUTH, 1971).

A eficiência de um algoritmo pode ser medida pelo seu tempo de processamento ou quantidade de memória utilizada, contudo, essas medidas, isoladamente podem não ser as mais indicadas pois dependem de um conjunto de instruções do computador, do compilador ou interpretador e até mesmo da forma como o algoritmo foi escrito. Além disso, o tempo de processamento e consumo de memória entre uma máquina e outra, para o mesmo algoritmo, tende a ser diferente, dada a arquitetura de cada máquina.

Uma forma mais adequada para mensurar a complexidade de um algoritmo, tende a aferir o tempo de execução independentemente do computador utilizado ou das características de como o programa foi escrito. É possível obter uma quantificação do tempo de execução de um algoritmo através de métodos analíticos que transformem o tempo em uma expressão matemática. É natural definir essa expressão através de uma função que forneça o número de passos efetuados pelo algoritmo (SZWARCFITER; MARKENZON, 1994).

O número total de passos (*n*) efetuados por um algoritmo pode fornecer um nível de detalhamento muito grande dada a grande quantidade de operações simples. como consequência disso, a análise de um algoritmo costuma desprezar operações que sejam simplesmente aditivas ou multiplicadas e concentrar em operações não constantes. Este tipo de análise é chamado de análise assintótica (SZWARCFITER; MARKENZON, 1994).

A Notação O é uma notação assintótica que caracteriza funções de acordo com suas taxas de crescimento e normalmente provê um limite superior do crescimento desta taxa. As funções em O mais comumente utilizadas, em ordem de grandeza, são:

Função	Comportamento
$O(\log n)$	Logarítmica
$O(n^c), c \ge 0$	Polinomial (e. g. constante, linear, quadrática)
$O(c^n), c>0$	Exponencial

Tabela 1. Funções em Notação O comumente utilizadas

Assintóticamente, termos de menor grau em uma expressão podem ser desprezados. Isto é, um algoritmo que possua número total de passos igual a $n^2 + n$ será aproximado a n^2 , portanto O(n^2). Um outro algoritmo que apresente número total de passos igual a 4n, por exemplo, terá a quantidade de passos aproximadas em n, portanto O(n). (SZWARCFITER; MARKENZON, 1994)

2.2 MATRIZ DE COOCORRÊNCIA EM ESCALA DE CINZA (GLCM)

A GLCM, também chamada de Matriz de Ocorrência Simultânea computa e armazena a probabilidade de dois pixels aparecerem simultaneamente em uma imagem dada em uma dada configuração de distância e direção (ângulo). Esses pixels são denominados pixels de referência e vizinho. A distância e a direção entre o pixel de referência e seu vizinho podem mudar. Cada conjunto de distância e ângulo entre estes pixels gera uma nova matriz de coocorrência com novos valores.

Na literatura podem ser encontradas diferentes maneiras de se referir a direção de cálculo da GLCM. Alguns autores usam regiões, como, norte, sul, nordeste e sudeste. Neste trabalho foi adotado o termo ângulo como padrão para representar a direção de cálculo. Portanto, os ângulos de cálculo da GLCM, apontados por (HARALICK *et al.*, 1973) são: 0°, 45°, 90° e 135°

Para cada ângulo entre o pixel de referência e o pixel vizinho há um deslocamento em uma direção diferente. Com ângulo de 0° o deslocamento ocorre horizontalmente na imagem; no ângulo de 90° o deslocamento ocorre verticalmente e nos ângulos de 45° e 135° o deslocamento ocorre diagonalmente. A Figura 2 apresenta as direções de cada deslocamento.



Figura 2. Direções para deslocamento dos ângulos

O intervalo entre o pixel de referência e o pixel vizinho é dado por d na expressão:

 $P_{(i,j)} d, \theta$

Onde $P_{(i, j)}$ é o pixel de referência, $i \in j$ definem a posição do pixel de referência na imagem (linha, coluna). Os elementos do conjunto $d \in \theta$ representam, respectivamente, a distância (em pixels) e o ângulo do pixel de referência até o pixel vizinho.

Para o cálculo da GLCM, a imagem é percorrida registrando o número de ocorrências entre os tons dos pixels de referência e vizinho. A quantidade dessas ocorrências é computada e armazenada em uma matriz onde os índices de linhas e colunas representam os tons de cinza presentes nas imagens. Assim, a GLCM tem sempre número de elementos igual ao quadrado de N, onde N representa a quantidade de tons de cinza da textura. A Figura 3 mostra este processo. Os valores de distância e ângulo neste exemplo são, respectivamente, 1 e 0º. As áreas identificadas pelos retângulos sombreados na imagem mostram a duas coocorrências dos tons (0,0) e suas inclusões na matriz.



Figura 3. Cálculo da GLCM em uma imagem com 4 tons de cinza.

Observe que a imagem apresentada na Figura 3 possui 4 tons de cinza. Essa quantidade de tons implica a GLCM ser 4 x 4. Em toda a imagem, há duas ocorrências do par de pixels 0 e 0 (referência e vizinho, respectivamente). Essa quantidade é contada e armazenada nos índices da matriz que possuem estes mesmos valores. Observe que a posição (0,0) na matriz apresenta o valor 2 referindo-se a essa quantidade de coocorrências. De forma similar, os pares de pixels (0,3) e (1,3) também aparecem duas vezes na imagem. Enquanto que os (0,1), (1,2), (2,0), (2,1), (3,0) e (3,2) aparecem uma vez, e as demais combinações não ocorrem.

Para melhor visualização da contagem de coocorrências, no exemplo apresentado na Figura 2 a GLCM é dada em valores absolutos. Uma próxima etapa no processamento da GLCM diz respeito à normalização. Essa operação consiste em dividir cada elemento pela soma de todos os elementos da matriz. Desse modo a GLCM passa a representar uma matriz de probabilidades, com todos os valores compreendidos entre 0 e 1.

Ao percorrer a imagem, há situações onde o pixel de referência não possui um pixel vizinho. Isso acontece quando este pixel está em uma das *d* últimas posições da imagem em cada direção. Neste trabalho não foram consideradas as ocorrências dos valores de borda da imagem quando um pixel de referência não possui vizinho.

2.3 COMPLEXIDADE DA GLCM

Como o tamanho do GLCM está associado à quantidade de tons de cinza presentes na imagem, pode-se dizer que o custo das operações de armazenamento e recuperação de todos os dados na matriz também dependerá disso. Se N é a quantidade de tons de cinza, o custo computacional para o cálculo da GLCM é N², então a complexidade de armazenamento e leitura da GLCM é quadrática e é dada por:

$O(N^2)$, para todo N >=2

Portanto, qualquer operação que acesse todos os dados da matriz, como armazenamento ou recuperação, também apresentará custo quadrático.

2.4 HISTOGRAMAS DE SOMA E DIFERENÇA (SDH)

Outra forma de calcular a relação ocorrência entre os tons de uma imagem é através do cálculo dos SDH. Esses histogramas também observam a relação entre os tons dos pixels, uma referência e outro vizinho, dados distância e direção.

Os ângulos e distâncias utilizados nos cálculos da matriz de coocorrência também são representados nos SDH através de duas configurações de distâncias, uma horizontal e outra vertical, descritas por *di* e *dj*. Assim como na GLCM, cada alteração nessa configuração gera novos histogramas. A Figura 4 ilustra como são obtidos os quatro ângulos de cálculo da GLCM nos SDH, considerando distância de 1 entre o pixel de referência e o vizinho. Como na GLCM, para cada ângulo, a distância entre o pixel de referência e o pixel vizinho se descola em uma direção diferente: no ângulo de 0º o deslocamento ocorre horizontalmente na imagem; no ângulo de 90º, o deslocamento ocorre verticalmente e nos ângulos de 45º e 135º diagonalmente.

Caso o cálculo considere uma distância maior que 1, basta multiplicar os valores de di e dj pela distância desejada, ou ainda, simplesmente alterar os valores de di e dj \neq 0 pela distância desejada, preservando os sinais de cada parâmetro.

O cálculo dos histogramas de soma e diferença pode ser expresso pelas funções abaixo:

Histograma da Soma: $P_{(i, j)} + P_{(i+di, j+dj)}$ Histograma da Diferença: $P_{(i, j)} - P_{(i+di, j+dj)}$

Onde $P_{(i,j)}$ é o pixel de referência, di é a distância horizontal e dj é a distância vertical.

0	0	0	0	Ângulo 0º	0	,0	0	0	Ângulo 45⁰
0	0	0	0	di: 1	0	0	0	0	di: -1
1	1	1	1	dj: 0	1	1	1	1	dj: 1
1	1	1	1		1	1	1	1]
0	0	0	0	Ângulo 90º	0	0	0	0	Ângulo 135º
0	0	0	0	di: 0	0	0	0	0	di : 1
1	1	1	1	dj: 1	1	1	1	1	dj : 1
1	1	1	1		1	1	1	1	

Pixel de Referência
Pixel Vizinho

Figura 4. Representação de ângulo e distância nos SDH a partir da vizinhança

Como a GLCM, os SDH também percorrem toda a imagem e, em cada interação, o pixel de referência é somado (histograma de soma) ou subtraído (histograma de diferença) ao seu pixel vizinho. Os valores dessas operações são então computados no histograma correspondente. A Figura 5 mostra o processo de cálculo do SDH para a mesma imagem usada no exemplo de cálculo do GLCM. O conjunto de distâncias e ângulos adotado no exemplo também é o mesmo: d = 1 e o $\theta = 0$, representados no SDH por di = 1 e dj = 0.

Observando o resultado de cada histograma, é possível notar a redução na quantidade de células utilizadas em cada abordagem. Enquanto a GLCM construiu uma matriz com 16 células, os SDH necessitaram de apenas 7 células no Histograma da Soma (HS) e no Histograma da Diferença (HD). Nos dois histogramas, os piores casos usariam no máximo 2N células. É possível notar que a soma de todas as frequências de ambos os histogramas resulta no mesmo valor.



Figura 5. Cálculo dos SDH em uma imagem com quatro tons de cinza.

Embora o tamanho máximo de cada histograma seja o mesmo, os extremos de cada um são diferentes. Os HS começam com o índice zero e podem possuir até 2N células. Já os HD, por sua vez podem ter um intervalo de -N a N células. Em ambos os casos, o intervalo máximo entre o índice mínimo e o índice máximo do histograma será de 2N células.

No exemplo apresentado na Figura 5 os SDH são dados em valores absolutos. Assim como na GLCM, uma próxima etapa no processamento da SDH diz respeito à normalização, dividindo cada elemento pela soma de todos os elementos do histograma. Desse modo os SDH passam a ser representados em probabilidades, com todos os valores de frequência compreendidos entre 0 e 1.

2.5 COMPLEXIDADE DOS SDH

Assim como a GLCM, os tamanhos do SDH também estão associados à quantidade de tons de cinza presentes na imagem. Porém, ao contrário da matriz da coocorrência, os histogramas possuem um crescimento linear. Uma imagem com 256 tons de cinza, terá histogramas com, no máximo 512 células, isto é, o dobro da quantidade de tons. Portanto, independentemente do valor que N assuma, um histograma jamais irá possuir mais células que uma GLCM. Logo, assintóticamente a complexidade de armazenamento e leitura dos SDH é dada por

O(N), para todo N >=2

Qualquer operação que acesse todos os dados da matriz, como armazenamento ou recuperação, apresentará custo linear.

CAPÍTULO 3 – DESCRITORES DE TEXTURAS

Utilizando a relação espacial entre os tons de cinza de uma imagem, computados pela GLCM, Haralick *et al.* (1973) propuseram um conjunto de métodos matemáticos para descrever propriedades de textura em uma imagem. Esses descritores representam determinadas características de uma textura e são comumente chamados de descritores de Haralick.

Na literatura, são encontrados diversos trabalhos que fazem uso dos descritores de Haralick, ou de derivações baseadas nestes descritores, de acordo com a necessidade da aplicação. São encontradas aplicações desses descritores em diversas áreas, como por exemplo saúde, segurança digital e agricultura.

Resmini *et al.* (2017) usa os descritores de textura de Haralick para representar propriedades das imagens térmicas da mama e usá-las para auxiliar no diagnóstico de câncer (RESMINI *et al.*, 2017). Wibmer *et al.* (2015) mostram que a análise desses descritores, calculada a partir da Ressonância Magnética, pode auxiliar na detecção do câncer de próstata (WIBMER *et al.*, 2015). Ainda usando Ressonância Magnética, Soomro *et al.* (2017) apresentam contribuições no estudo das evoluções do câncer de cólon a partir dos descritores de texturas de Haralick (SOOMRO *et al.*, 2017). Ruiz *et al.* (2011) apresentam ferramenta de extração de características para análise de imagens agrícolas que também utilizam descritores de Haralick (RUIZ *et al.*, 2011).

Na literatura são encontrados ainda alguns trabalhos que propõem adaptações dos SDH em contextos específicos. Ibarra-Manzano, Almanza-Ojeda e López-Hernández (2010) propõe uma otimização dos SDH para se trabalhar com análise de texturas em tempo real em placas de circuitos integrados. (IBARRA-MANZANO; ALMANZA-OJEDA; LÓPEZ-HERNÁNDEZ, 2010) . Já Dubey e Jalal (2014) propõem alterações na forma de computar os SDH com o objetivo de auxiliar no reconhecimento de doenças de frutas. (DUBEY; JALAL, 2014).

Os descritores baseados na coocorrência de tons de cinza podem representar matematicamente diversas propriedades relacionadas à maneira como os pixels estão dispostos na imagem. Este trabalho investiga um conjunto de 15 descritores de texturas comumente encontrados em trabalhos na literatura. São eles: Segundo Momento Angular (SMA), Energia (ENE), Entropia (ENT), Contraste (CON), Dissimilaridade (DIS), Homogeneidade (HOM), duas medidas de Correlação (COR-1 e COR-2), duas medidas de

Assimetria: *Cluster Shade* e *Cluster Prominence* (CSHA, CPRO), Variância e Desvio Padrão (VAR e DPA-J), e Média calculadas de 3 formas: MED-I, MED-J e MED-G.

Na literatura são encontradas algumas definições conflitantes a respeito dos descritores SMA e a ENE. Alguns autores consideram os termos apenas sinônimos, outros dizem que a energia é representada pela raiz quadrada de SMA. Adotou-se neste trabalho a definição onde o descritor ENE é derivado da raiz quadrada do SMA. O fato é que ambas as medidas podem apresentar, de diferentes formas, informações a respeito da uniformidade da textura. Quanto mais uniforme for o comportamento da imagem, maiores serão os valores destes descritores.

A ENT é um descritor que mede a distribuição dos tons em uma textura. Índices mais altos representam uma maior aleatoriedade no comportamento da imagem. De maneira oposta a isso, os valores mais baixos indicam que os tons seguem um padrão menos heterogêneo.

Valores mais altos obtidos no cálculo do descritor HOM indicam o quão próximos estão os tons distribuídos numa imagem, ou seja, o quão homogêneo é o comportamento da textura.

As variações entre os altos e baixos tons de cinza são bem identificadas e descritas através do CON. Este é um descritor onde valores baixos indicam que os pares de tons analisados pela GLCM tendem a ser similares. Uma imagem que apresente somente um tom de cinza na direção investigada apresentará valor zero de contraste. De forma similar o descritor DIS também é uma medida que indica a disparidade dentre os tons de uma textura.

Os descritores de média, variância e desvio padrão são ditos globais quando medem propriedades gerais de uma textura. Essas propriedades tendem a ser similares, independentemente da configuração de ângulo utilizada no cálculo. Numericamente, os resultados de cada um destes descritores, obtidos a partir dos quatro ângulos de cálculo, tendem a ser similares, apresentando pequenas variações pertinentes à direção utilizada. Estes resultados são comumente utilizados por outros descritores para cálculo de outras propriedades de uma textura.

Os índices calculados pelos descritores de correlação (COR-1 e COR-2) são boas medidas para informar o quão os tons de uma textura estão relacionados numericamente. Uma alta correlação indica que os valores de pixels analisados naquela direção são mais similares. Intuitivamente, isso pode indicar que há alguma característica predominante na imagem na direção analisada.

Os descritores CSHA e CPRO são utilizados como medidas de assimetria de uma textura, porém os seus comportamentos numéricos são diferentes. Valores altos, no descritor CSHA indicam uma alta taxa de assimetria na textura, enquanto no CPRO indicam alta similaridade. O oposto a isso acontece com os valores baixos.

3.1 ADAPTAÇÃO DAS EQUAÇÕES E NOVAS PROPOSTAS

Unser (1986) apresenta um conjunto de equações para cálculo de nove descritores considerando os SDH. Os descritores são SMA, ENT, CON, HOM, MED-I, COR-1, CSHA e CPRO. Alguns destes apresentam resultados que são numericamente idênticos aos seus correspondentes na GLCM (CON e HOM) e outros apresentam resultados que se comportam de forma similar, porém com distorções no comportamento e dispersão numérica. Em alguns casos a diferença entre os resultados obtidos a partir das duas abordagens é da ordem de milhares, isto é, de 10³, mesmo com as estruturas da GLCM e dos SDH normalizadas.

Com o objetivo de aproximar o resultado entre as duas abordagens, alguns dos descritores discutidos por Unser (1986), que não apresentam resultados numericamente idênticos, são explorados neste estudo. Esses descritores têm suas equações cuidadosamente analisadas neste estudo a fim de se tentar diminuir ou eliminar diferença com as suas correspondências na GLCM. Este processo resultou em adaptações baseadas em análises teóricas e comparações numéricas entre os resultados obtidos por cada descritor em cada uma das abordagens discutidas.

O processo de adaptação destas equações consistiu na inserção ou modificação de algumas operações matemáticas nas equações originais de Unser (1986). Para validar essas mudanças um conjunto aleatório de imagens foi selecionado com o fim de servirem de entrada para o cálculo dos descritores que tiveram suas equações adaptadas. Após o cálculo, os resultados obtidos foram numericamente analisados e comparados. Cada alteração na equação de algum descritor passou por este processo de avaliação das equações.

Além dos descritores baseados em Unser, outros seis descritores têm suas equações propostas e discutidas neste estudo e apresentam equação baseada nos SDH. Os descritores em questão são: ENE, DIS, COR-2, MED-J, MED-G e DPA-J. O principal desafio desta etapa foi a redução da dimensionalidade das equações. Enquanto GLCM, as equações dos descritores possuem duas dimensões. Fez-se necessário, portanto, além da redução da quantidade de dimensões para um, garantir que os resultados dos descritores também se mantivessem idênticos ou minimamente diferentes. Deste modo, essas equações também passaram pelo mesmo processo de avaliação das adaptações das equações dos descritores baseados em Unser.

A Tabela 2 apresenta os descritores baseados em Unser que tiveram suas equações adaptadas neste estudo. Para cada descritor são mostradas as suas equações de cálculo a partir da GLCM e suas correspondências baseadas nos SDH. As equações propostas são mostradas comparando-as com a versão correspondente em Unser (1986).

	GLCM	SDH	
		Unser	Propostas
$\frac{\mathbf{MED} - \mathbf{I}}{(\mu_i)}$	$\sum_{i}\sum_{j}i \times G_{(i,j)}$	$\frac{1}{2}\sum_{i} i \times Hs_{(i)}$	$\frac{1}{4} \left(\sum_{i} i \times Hs_{(i)} + \sum_{j} j \times Hd_{(j)} \right)$
\mathbf{VAR} $(\sigma \mid \sigma_i)$	$\sum_{i}\sum_{j}(i-\mu_i)^2\times G_{(i,j)}$	$\frac{1}{2}\left(\sum_{i}(i-2\mu_i)^2 \times Hs_{(i)} + \sum_{j}j^2 \times Hd_{(j)}\right)$	$\frac{1}{4}\left(\sum_{i}(i-2\mu_{i})^{2}\times Hs_{(i)}+\sum_{j}j^{2}\times Hd_{(j)}\right)$
COR-1	$\sum_{i}\sum_{j}(i-\mu)\times(j-\mu)\times G_{(i,j)}$	$\frac{1}{2}\left(\sum_{i}(i-2\mu_i)^2 \times Hs_{(i)} - \sum_{j}j^2 \times Hd_{(j)}\right)$	$\frac{1}{4} \left(\sum_{i} (i - 2\mu)^2 \times Hs_{(i)} - \sum_{j} j^2 \times Hd_{(j)} \right)$
СЅНА	$\sum_{i} \sum_{j} (i+j-2\mu)^3 \times G_{(i,j)}$	$\sum_{i} (i - 2\mu_i)^3 \times Hs_{(i)}$	
CPRO	$\sum_{i}\sum_{j}(i+j-2\mu)^4 \times G_{(i,j)}$	$\sum_{i} (i - 2\mu_i)^4 \times Hs_{(i)}$	

Tabela 2. Equações propostas para descritores baseados em Unser

É interessante ressaltar que, embora os descritores CSHA e CPRO apresentem equações idênticas nas duas abordagens baseadas dos SDH (Unser × este trabalho), elas são indiretamente alteradas devido ao descritor MED-I (μ_i), que apresenta mudança nas suas equações. Desta forma, naturalmente o resultado destes descritores serão diferentes ao considerar as equações de Unser e deste trabalho.

Os descritores ENT e SMA não sofreram adaptações uma vez que seus resultados são numericamente bem próximos aos resultados calculados a partir da GLCM. Já os descritores CON e HOM não foram adaptados por já apresentarem resultados numericamente entre as duas abordagens. A Tabela 3 mostra estes descritores e suas equações em cada abordagem. Além dos descritores abordados por Unser, um conjunto de outros 6 descritores são propostos e discutidos neste estudo. A Tabela 4 apresenta as suas equações.

	GLCM	SDH	
		Unser	Propostas
ENT	$-\sum_{i}\sum_{j}G_{(i,j)}\times \log(G_{(i,j)})$	$-\sum_{i} Hs_{(i)} \times \log(Hs_{(i)}) - \sum_{j} Hd_{(j)} \times \log(Hd_{(j)})$	
SMA	$\sum_i \sum_j {G_{(i,j)}}^2$	$\sum_{i} Hs_{(i)}^{2} \times \sum_{j} Hd_{(j)}^{2}$	
CON	$\sum_{i}\sum_{j}(i-j)^2 \times G_{(i,j)}$	$\sum_{j} j^2 \times Hd_{(j)}$	
НОМ	$\sum_{i} \sum_{j} \frac{1}{1 + (i-j)^2} \times G_{(i,j)}$	$\sum_{j} \frac{1}{1+j^2} \times Hd_{(j)}$	

Tabela 3. Equações não modificadas para descritores baseados em Unser

Tabela 4. Equações propostas para os descritores não baseados em Unser

	GLCM	SDH Propostos
ENE	\sqrt{ASM}	\sqrt{SMA}
DIS	$\sum_{i}\sum_{j} i-j \times G_{(i,j)}$	$\sum_{j} j \times Hd_{(j)}$
COR – 2	$\sum_{i} \sum_{j} G_{(i,j)} \left[\frac{(i-\mu_i)(j-\mu_j)}{\sqrt{\sigma_i^2 \sigma_j^2}} \right]$	$\frac{COR1}{\sigma}$
$\frac{\mathbf{MED} - \mathbf{J}}{(\mu_j)}$	$\sum_{j} \sum_{i} j \times G_{(i,j)}$	$\frac{1}{4} \left(\sum_{i} i \times Hs_{(i)} - \sum_{j} j \times Hd_{(j)} \right)$
ΜΕD – G (μ)	$\mu_i + \mu_j$	$\sum_{i} i \times Hs_{(i)}$
$\mathbf{DPA} - \mathbf{J}$ (σ_j)	$\sum_{i}\sum_{j}(j-\mu_{j})^{2}\times G_{(i,j)}$	$\cong \sigma$

Todas essas equações e descritores são investigados neste trabalho sob diferentes aspectos. Uma série de experimentos são performados. Estes experimentos possuem diferentes configurações e utilizam diferentes tipos de textura. Além disso, são observados em diferentes óticas, tanto estruturalmente, no que diz respeito ao armazenamento dos dados na GLCM e na SDH, quanto numericamente, no que tange os resultados de cada descritor. Estes experimentos são descritores no Capitulo 5.

3.2 COMPLEXIDADE

Durante o cálculo dos descritores, todas as equações necessitam iterar sobre toda a estrutura para acessar os dados de coocorrência registrados pela GLCM ou pelos SDH. Em cada interação desse ciclo, as operações usam basicamente valores constantes obtidos a partir daquela iteração na estrutura. Isso faz com que o processo computacional de iterar sobre a GLCM e os SDH seja a operação mais onerosa. Diante disso, a complexidade destes descritores é a mesma complexidade presente na criação destas estruturas: quadráticas e lineares, respectivamente.

Como apresentado na

É interessante ressaltar que, embora os descritores CSHA e CPRO apresentem equações idênticas nas duas abordagens baseadas dos SDH (Unser × este trabalho), elas são indiretamente alteradas devido ao descritor MED-I (μ_i), que apresenta mudança nas suas equações. Desta forma, naturalmente o resultado destes descritores serão diferentes ao considerar as equações de Unser e deste trabalho.

Os descritores ENT e SMA não sofreram adaptações uma vez que seus resultados são numericamente bem próximos aos resultados calculados a partir da GLCM. Já os descritores CON e HOM não foram adaptados por já apresentarem resultados numericamente entre as duas abordagens. A Tabela 3 mostra estes descritores e suas equações em cada abordagem. Além dos descritores abordados por Unser, um conjunto de outros 6 descritores são propostos e discutidos neste estudo. A Tabela 4 apresenta as suas equações.

	GLCM	SDH	
		Unser	Propostas
ENT	$-\sum_{i}\sum_{j}G_{(i,j)}\times \log(G_{(i,j)})$	$-\sum_{i} Hs_{(i)} \times \log(Hs_{(i)}) - \sum_{j} Hd_{(j)} \times \log(Hd_{(j)})$	
SMA	$\sum_{i}\sum_{j}{G_{(i,j)}}^2$	$\sum_{i} Hs_{(i)}^{2} \times \sum_{j} Hd_{(j)}^{2}$	
CON	$\sum_{i}\sum_{j}(i-j)^2 \times G_{(i,j)}$	$\sum_{j} j^2 \times Hd_{(j)}$	
ном	$\sum_{i}\sum_{j}\frac{1}{1+(i-j)^2}\times G_{(i,j)}$	$\sum_{j} \frac{1}{1+j^2} \times Hd_{(j)}$	

Tabela 3. Equações não modificadas para descritores baseados em Unser

Tabela 4, algumas das equações de cálculo dos descritores baseadas nos SDH utilizam simultaneamente o HS e o HD, contudo a complexidade destes descritores continua a ser linear.

Logo, a respeito da complexidade de cálculo dos descritores, é possível afirmar que:

 I) Todo descritor calculado a partir da GLCM possui complexidade quadrática de N:

$$O(N^2)$$
, para todo N >=2

II) Todo descritor calculado a partir dos SDH possui complexidade linear de N:
 O(N), para todo N >=2

Embora haja descritores que utilizem apenas um dos histogramas em seus cálculos, isto é, apenas o HS ou apenas o HD, e descritores que utilizam simultaneamente os dois histogramas, a complexidade de ambos é a mesma, uma vez que 2N e 4N são aproximados a N.

CAPÍTULO 4 – REPOSITÓRIOS DE TEXTURAS

Para verificar a correspondência dos SDH com a GLCM, são consideradas texturas sintéticas e reais que apresentam diferentes padrões de comportamento pela sua diversidade de composição. Essa diversidade permite avaliar não só a correspondência dos descritores, mas também testar se os padrões existentes na estrutura da GLCM podem ser encontrados na estrutura dos SDH. Estes padrões podem apresentar indícios que servem para determinar fatores como de orientação de uma textura, antes mesmo do cálculo dos descritores.

As texturas sintéticas, por serem criadas computacionalmente, podem ter padrões homogêneos e com características constantes. Por outro lado, texturas reais são provenientes de cenas do mundo real e a sua composição está naturalmente ligada às condições de captura. Uma das principais variáveis influenciadoras nestas texturas refere-se à iluminação do ambiente onde a aquisição é realizada. A iluminação do ambiente é percebida de diferentes maneiras pelos sensores dos dispositivos de captura. Assim, uma parede branca em um ambiente iluminado com luz violeta não é mais vista como uma parede branca. A sua representação digital, sem nenhum processamento, jamais apresentará todos os tons de branco precisamente com valores de R=G=B=255.

Por serem criadas de maneira controlada e não apresentarem variações, as texturas sintéticas permitem, de maneira objetiva identificar padrões de comportamento interessantes nas imagens através da construção da GLCM. Espera-se, com a utilização destas texturas, identificar padrões de comportamento nos SDH análogos à GLCM. Esses padrões possivelmente serão capazes de fornecer as mesmas informações para a análise de uma textura.

As texturas sintéticas também são utilizadas para validação das equações e dos resultados dos descritores. Características como a homogeneidade ou contraste de uma imagem, por exemplo, podem ser percebidos visualmente na textura em questão e comparados com os resultados obtido nos descritores HOM e CON. Nestes casos, quanto mais homogênea for uma imagem maior será o valor do descritor HOM. Uma análise inversa a esta acontece com o descritor CON. Estas análises serão detalhadas no Capítulo 5 deste trabalho.

Dois repositórios, abertos a comunidade interessada de texturas, são utilizados neste trabalho: um de texturas sintéticas (desenvolvido neste estudo) e outro de texturas reais. Estas texturas serão utilizadas em experimentos que visam validar a correspondências das equações discutidas neste estudo. A descrição destes experimentos é obtida no Capítulo 4.

4.1 SINTÉTICAS

Um conjunto de texturas sintéticas foi desenvolvido neste trabalho com a intenção de servir de subsídio para as análises com a GLCM, os SDH e seus descritores.

Os ângulos considerados para cálculo da GLCM são os ângulos de 0°, 45°, 90° e 135° (HARALICK *et al.*,1973). Com base nisso, este conjunto de texturas contém imagens dispostas nestes quatro ângulos. Espera-se que os padrões na GLCM que permitem identificar estes ângulos também sejam evidentes nos SDH. Além disso, almeja-se também que, numericamente, os resultados dos cálculos dos descritores sejam iguais para ambas as abordagens.

Intuitivamente, espera-se que uma textura com qualquer ângulo diferente tenda a apresentar resultados numericamente mais similares aos resultados do ângulo mais próximo. Isto é, espera-se que uma textura com inclinação marcada em 15º apresente resultados mais significantes, na GLCM, nos SDH e em seus descritores, quando calculados considerando o ângulo de 0º do que qualquer outro. Para validar esta conjectura, texturas com ângulos intermediários aos ângulos de cálculo também fazem parte da composição deste conjunto de imagens.

Para cada ângulo de cálculo foram criadas texturas com inclinações voltadas a outros três ângulos: uma mais próxima ao ângulo inferior, outra próxima do ângulo superior e, por fim, uma com o ângulo médio. A Figura 6 mostra os três ângulos intermediários considerados para criação de texturas entre 0° e 45°. Os ângulos intermediários entre os demais ângulos seguem a mesma premissa.



Figura 6. Ângulos entre 0° e 45°.
Padrão visual	Tamanhos dos Textons								
do texton	<i>T1</i>	<i>T2</i>		T4					
						0	0	0	0
						0	0	0	0
			0	0		0	0	0	0
	0		0	0		0	0	0	0
	255		255	255		255	255	255	255
			255	255		255	255	255	255
			L	1	1	255	255	255	255
						255	255	255	255
						L			

Tabela 5. Textons utilizados para gerar as texturas sintéticas

Este repositório considera texturas com três diferentes tamanhos de textons: tamanho 1 (1×2 pixels), tamanho 2 (2×4 pixels) e tamanho 4 (4×8 pixels), respectivamente representadas neste trabalho pelos mnemônicos T1, T2 e T4. A Tabela 5 apresenta todos os textons utilizados para criar as texturas deste repositório. Foram escolhidos 3 tamanhos diferentes de textons para também avaliar a correspondência entre as abordagens em diferentes perspectivas.

Com os textons apresentados na Tabela 5 foram criadas 39 texturas binárias. As Tabela 6, 7, 8 e 9 sintetizam as texturas presentes neste banco. Todas as texturas são binárias, consistindo em apenas dois tons: branco e preto. Por estarem em uma escala menor e, dependendo da forma como são exibidas, efeitos secundários podem ser visualizados como o padrão Moiré (SCIAMMARELLA, 1982), dando a impressão de que há outros tons presentes na imagem.

É possível notar que todas as texturas possuem o mesmo padrão: faixas binárias. Elas foram projetadas propositalmente desta forma para investigar se os SDH, assim como a GLCM conseguem identificar esses padrões e a orientação predominante de uma textura.



Tabela 6. Imagens paralelas aos ângulos de cálculo



Tabela 7. Imagens entre os ângulos de 0° e 45°.



Tabela 8. Imagens entre os ângulos de 45° e 90°



Tabela 9. Imagens entre os ângulos de 90° e 135°

4.2 REAIS

As texturas reais apresentam padrões de repetição que podem ser encontrados em diversos objetos e ambientes do mundo real. Esses padrões podem ser geométricos, polidos, rugosos, flexíveis ou inflexíveis e se referirem a objetos naturais (*e.g.* árvores, folhas, grãos de areia, pele humana) ou produzidos pelo homem (*e.g.* tecidos, parede de tijolos, calçadas, vidros).

As texturas reais utilizadas neste estudo foram extraídas do repositório aberto de texturas de Lazebnik - *Ponce Group* (LAZEBNIK; SCHMID; PONCE, 2005). Cada textura deste repositório contém um conjunto de amostras que as representam sob diferentes ângulos de captura. Essa variedade permite observar o comportamento dos SDH nos mais diferentes tipos de textura.

Este repositório possui um grande número de amostras de texturas. Ao todo são 1000 imagens representando 25 diferentes texturas. Cada textura conta com um conjunto de 40 amostras que a representa em diferentes ângulos, distâncias e perspectivas entre a câmera de captura e o objeto observado. Essas imagens foram capturadas em condições controladas de iluminação.

As imagens apresentadas neste repositório possuem resoluções de 640 x 480 pixels e são identificadas por um nome e número. Além disso, as diversas amostras de cada textura concatenam a identificação da textura com um índice numérico que vai de 01 a 40, formando então um identificador único para cada amostra.

A variedade em amostras da mesma textura permite realizar análises que contemplem diferentes direções. Dessa forma, os mesmos padrões encontrados nas análises realizadas a partir das imagens sintéticas também podem ser investigados neste conjunto de texturas reais. Neste estudo são selecionadas texturas de Lazebnik que representam 3 diferentes artefatos encontrados no dia a dia: casca de árvore, tecido de veludo e parede de tijolos à vista. Para cada um destes artefatos, foram selecionadas quatro texturas com ângulos próximos aos ângulos de cálculo. A Tabela 10 apresenta as 12 texturas de Lazebnick utilizadas neste estudo.



Tabela 10. Texturas de Lazebnik.

CAPÍTULO 5 – EXPERIMENTOS

As equações investigadas neste trabalho são verificadas sob diferentes aspectos. Os experimentos descritos a seguir geram elementos para isto possibilitando análises dos padrões das estruturas e dos resultados numéricos dos descritores obtidos a partir da GLCM e dos SDH.

Para melhor organização do trabalho, os experimentos são agrupados de acordo com o tipo de textura utilizada. Essa organização permite realizar análises considerando fatores específicos de cada grupo. São considerados dois grupos de experimentos com as seguintes características: GRUPO A: Experimentos com texturas sintéticas; GRUPO B: Experimentos com texturas de Lazebnik (LAZEBNIK; SCHMID; PONCE, 2005);

Com estes dois grupos foram realizados 16 experimentos que possibilitam realizar diferentes análises sobre os resultados obtidos em cada abordagem discutida neste estudo. As seções a seguir descrevem detalhadamente as configurações dos experimentos.

5.1 GRUPO A

Os experimentos deste grupo utilizam as texturas binárias com diferentes tamanhos de textons e orientações. Os principais aspectos a serem observados nos experimentos deste grupo são o padrão de comportamento das estruturas da GLCM e SDH e os resultados numéricos dos descritores.

Utilizando imagens binárias é possível entender de maneira genérica como as estruturas da GLCM, dos SDH e seus descritores funcionam e quais são os resultados obtidos por ambas. Nestas estruturas, é possível observar se numericamente elas são similares ou iguais e ainda se os padrões, que são encontrados em uma, podem ser observados na outra. Além das análises nas estruturas de dados, são analisados os resultados numéricos de cada um dos 15 descritores discutidos neste estudo.

O fato de os experimentos deste grupo utilizar texturas binárias faz com que a implementação das equações também seja verificada. Uma vez que os seus resultados podem ser calculados manualmente e serem confrontados com os obtidos computacionalmente. Isso é possível, pois são conhecidos todos os valores das texturas sintéticas bem como a disposição dos textons. O fato de só possuírem dois tons também facilita o cálculo manual.

Para abranger o máximo de configurações, os experimentos deste grupo consideram uma composição cruzada entre a orientação das texturas (quantidade de ângulos – principais e intermediários) e sua quantidade de textons. Sendo assim temos, respectivamente, 13 variações de ângulos (4 principais e 9 intermediários) e 3 variações da textura o que resulta em 39 (13 × 3) texturas diferentes.

Os experimentos então organizados de forma a comporem, cada um, três texturas de mesmo ângulo, mas com variações no tamanho do texton. Assim é possível observar também, em um mesmo experimento, como os descritores se comportam quando um tipo de textura apresenta variações no tamanho do texton.

A Tabela 11 sintetiza os 13 experimentos contemplados no Grupo A. Para cada experimento são descritos a direção predominante e as identificações das texturas utilizadas.

	E	D:	Texturas			
Direções	Experimentos	Direçao	<i>T1</i>	<i>T2</i>	<i>T4</i>	
	1	0°	1	2	3	
n culon de sélevile	2	45°	4	5	6	
Angulos de calculo	3	90°	7	8	9	
	4	135°	10	11	12	
	5	11,25°	13	14	15	
Entre 0° e 45°	6	22,50°	16	17	18	
	7	33,75°	19	20	21	
	8	56,25°	22	23	24	
Entre 45° e 90°	9	67,50°	25	26	27	
	10	78,75°	28	29	30	
	11	101,25°	31	32	33	
Entre 90° e 135°	12	112,50°	34	35	36	
	13	123,75°	37	38	39	

Tabela 11. Experimentos do Grupo A

5.2 GRUPO B

O repositório de texturas de Lazebnik contém um conjunto de várias amostras que representam a mesma textura sob diferentes pontos de vista. Dessa forma, é possível realizar experimentos similares aos do Grupo A, tornando factível validar em texturas reais as mesmas conjecturas investigadas nas texturas sintéticas.

Naturalmente, por serem texturas reais, a orientação dessas imagens dificilmente seguirá fielmente um único ângulo. Pode-se então observar a direção predominante da textura e então

associá-la a um ângulo. Assim sendo, predominantemente cada uma das amostras selecionadas possui uma orientação disposta em um dos ângulos usados na composição das direções nas formações das GLCM e SDH (0°, 45°, 90° ou 135°). Espera-se, por exemplo, que os padrões observados nos SDH e GLCMs de uma textura com direção predominante de 45° sejam observados de maneira mais intensa nos histogramas e matrizes calculados considerando o ângulo de 45°.

Diferentemente das texturas sintéticas, as texturas reais não apresentam textons com tamanhos constantes em toda a imagem. Para cálculo das GLCM, dos SDH e seus descritores pode-se considerar então um valor de distância que representa algo próximo da média do valor de escala de toda a imagem. Se houver uma disparidade grande entre estes valores, os padrões de comportamento tornam-se menos evidentes.

Para estes experimentos, foram selecionadas 12 imagens do repositório de Lazebnik. Estas imagens retratam 3 texturas distintas, cada uma com 4 amostras em diferentes orientações. Os experimentos foram configurados considerando como principal referência a textura analisada. Portanto, cada experimento conduz investigações considerando as quatro amostras de cada textura.

A Tabela 12 aponta os experimentos utilizados neste grupo, relacionando-os com as texturas de Lazebnik e suas respectivas amostras, ambas descritas no Capítulo 4. Cada imagem possui tamanho de 640 x 480 pixels.

	Exn	Tino da textura	Ângulos					
	2		0°	45°	90°	13500		
	14	Casca de Árvore	40	41	42	43		
Texturas	15	Veludo	44	45	46	47		
	16	Tijolos	48	49	50	51		

Tabela 12. Experimentos do Grupo B

CAPÍTULO 6 – RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os experimentos descritos no capítulo anterior servem de base para as análises do grau de correspondências entre as duas abordagens de cálculo dos descritores a partir das GLCM e SDH. Através dessas análises, é possível identificar determinadas propriedades de uma textura, como a orientação predominante dos seus elementos. Além disso, com estes experimentos, é possível validar numericamente os componentes destas estruturas e seus descritores.

Neste capítulo são apresentadas as diversas análises realizadas em cada experimento. São apontadas as correspondências numéricas das GLCM, dos SDH e dos descritores computados sobre ambas. É observado também o comportamento dessas estruturas quando calculadas utilizando diversas combinações de ângulos e direções. Com isso, é possível tecer conclusões relacionadas a importância destas configurações na construção das matrizes e histogramas, bem como o cálculo dos descritores. Cada grupo de experimentos apresenta ainda outras observações pertinentes aos objetos de análise deste estudo.

6.1 GRUPO A

Em algumas situações no processamento computacional de uma imagem faz-se necessário identificar qual a direção predominante dos elementos contidos numa textura. Por vezes a textura inteira tende a se deslocar em uma única direção, já em outras, essa textura pode conter diversos elementos e cada um tender a uma direção própria. No segundo caso, ao invés de analisar toda a textura, uma estratégia bastante utilizada é realizar a análise separando a imagem em quadrantes que podem ter tamanhos diversos (BORCHARTT *et al.*, 2013; LIPARI e HEAD, 1997; RESMINI *et al.*, 2017).

Diversas técnicas de visão computacional podem apresentar indícios que determinam qual a direção predominante de uma textura ou de seus elementos. A própria GLCM é uma delas. Através da GLCM esta tarefa costuma ser investigada: uma textura irá apresentar resultados que tendem a ser mais expressivos em um dos 4 ângulos principais, ou seja, uma das quatro matrizes tende a se diferenciar das demais. A matriz que estiver mais próxima da direção de uma textura, ou de seus elementos, costuma apresentar valores mais altos na diagonal principal (HARALICK *et al.*, 1973).

Os experimentos deste grupo buscaram investigar nos SDH a existência dos mesmos padrões encontrados na GLCM. Além disso, buscou-se também traçar uma correlação entre os valores numéricos apresentados nas duas abordagens. Isso permite não apenas entender como estes valores são representados nos histogramas, mas também validar o quão próximos estão os

resultados obtidos a partir das duas formas de cálculo. Essas investigações também observam os resultados numéricos dos 15 descritores calculados a partir da GLCM e dos SDH. Para todos os descritores, obtidos pelos SDH, são medidos também as suas proximidades com os equivalentes calculados a partir da GLCM, a fim de identificar o quanto são similares.

6.1.1 COMPORTAMENTO DAS ESTRUTURAS

Os resultados das análises considerando os valores e padrões apresentados nas matrizes de coocorrência e nos histogramas de soma e diferença são apresentados em dois grupos de análises. Em primeira análise são observados os experimentos considerando os quatro ângulos de cálculo: 0°, 45°, 90° e 135°. Neste grupo as análises são feitas considerando diretamente as matrizes e histogramas. Posteriormente, são observados os experimentos que utilizam as texturas com direções paralelas aos ângulos intermediários. Além das análises do primeiro grupo, o segundo grupo também investiga se os SDH percebem e lidam com as variações de direção em uma textura, assim como a GLCM.

Os mnemônicos D1, D2 e D4, utilizados a seguir, dizem respeito às distâncias 1, 2 e 4, respectivamente, utilizadas nos cálculos dos SDH e da GLCM. Essas distâncias são relativas aos tamanhos dos textons T1, T2 e T4, respectivamente.

6.1.1.1 ÂNGULOS DE CÁLCULO

Nesta seção são analisados os experimentos que utilizam texturas cujos elementos estão inclinados em alguma das quatro direções principais consideradas no cálculo da GLCM. Ou seja, são realizadas análises em torno das texturas que possuem as seguintes direções: horizontal, vertical e diagonais (no sentido principal e secundário). Foram escolhidas estas texturas pois os seus elementos apresentam inclinações que são facilmente perceptíveis pela GLCM. Sendo assim, com estes experimentos busca-se compreender a maneira como os SDH lidam com essas texturas e se apresentam os mesmos resultados perceptíveis através matrizes de coocorrência. As texturas utilizadas por cada experimento abordado nesta seção foram apresentadas na Tabela 11.

Os experimentos a seguir são discutidos em duas etapas. Primeiro discutem-se os experimentos que possuem texturas inclinadas horizontal e verticalmente, isto é, os Experimentos 1 e 3. Na sequência os Experimentos 2 e 4, com direções diagonais, são discutidos. Por essa razão, neste contexto, não se utiliza a ordem crescente da denominação dos experimentos.

6.1.1.1.1 FAIXAS HORIZONTAIS E VERTICAIS - EXPERIMENTOS 1 E 3

As matrizes e histogramas computados a partir do Experimento 1 servem para verificar se, assim como a GLCM, os SDH também apresentam padrões que permitem a identificação da direção de uma imagem. Na GLCM a direção de uma textura ou de seus elementos pode ser indicada a partir das quatro matrizes calculadas, casa uma com um ângulo de cálculo. A matriz que apresentar valores mais elevados na diagonal principal indica que a textura tem uma direção próxima do ângulo utilizado para cálculo da matriz em questão.

Através dos valores computados pelos SDH nestes experimentos, é possível identificar padrões similares à GLCM. Nos SDH a direção predominante de uma textura pode ser indicada observando o conjunto de histogramas calculados a partir dos quatro ângulos principais. Os picos de frequência computados nos histogramas são determinantes para indicar a direção predominante de uma textura. Essa direção é apontada pelo conjunto de SDH onde: 1) O Histograma da Soma apresentar picos com maiores frequências nos extremos; 2) O Histograma da Diferença possuir essas maiores frequências nos elementos com índices próximos a zero (elementos centrais do histograma).

A Tabela 13 permite comparar os resultados obtidos a partir da GLCM e dos SDH para a Textura 1, usando D1. É possível notar que independente da abordagem a direção predominante da textura é horizontal, isto é, inclinada a 0º. Os valores computados por esse ângulo se diferenciam dos demais em ambas abordagens.



Tabela 13. SDH e GLCM do Experimento 1 – Textura 1

Através da Tabela 13, é possível observar ainda que não só os padrões de comportamento dos SDH são equivalentes, mas também a quantidade de coocorrências em cada estrutura: os valores de frequência apontados nos histogramas são compatíveis com valores presentes na GLCM. Todos os valores apontados na GLCM são traduzidos em frequências nos histogramas de soma e diferença.

A partir das Texturas 2 e 3, é possível notar que os padrões se mantêm perceptíveis mesmo em texturas com diferentes tamanhos de textons. As Tabelas 14 e 15 apresentam os resultados computados a partir destas texturas, considerando D2 e D4 respectivamente.



Tabela 14. SDH e GLCM do Experimento 1 – Textura 2

Tabela 15. SDH e GLCM do Experimento 1 – Textura 3





Tabela 16. GLCM e SDH não normalizados – Experimento 1

Através das Tabelas 13, 14 e 15 é possível observar que tanto os SDH quando as GLCM se mantiveram similares em todas as texturas do Experimento 1. Isso mostra que o tamanho do texton, quando utilizado no mesmo tipo de textura, não impacta no padrão de comportamento dos SDH. Observando a Tabela 16, que apresenta os SDH e a GLCM do Experimento 1 não

normalizados, também é possível notar que os valores computados pelas estruturas são levemente diferentes entre uma textura e outra. Contudo, como visto nas Tabelas 13, 14 e 15, proporcionalmente, essa diferença não afeta significativamente o comportamento das estruturas.

A correspondência entre as duas abordagens não se limitou às análises de texturas horizontais. Os resultados obtidos a partir das texturas do Experimento 3, com elementos na vertical, apontaram os mesmos resultados obtidos a partir Experimento 1. Os SDH foram capazes de apontar o ângulo de 90° como a direção dos elementos das texturas. A Tabela 17 sintetiza os resultados do Experimento 3. Foram utilizadas as distâncias D1, D2 e D4, respectivamente, para as Texturas 7, 8 e 9.

T	Ângulos							
Tex.	0°	45°	90°	135°				
7	HISTOGRAMA DA SOMA	10 HISTOGRAMA DA SOMA 0.5 25.5 0.9 25.5 1.0 HISTOGRAMA DA DIFERENÇA 1.0 HISTOGRAMA DA DIFERENÇA 0.5 0 0.5 0 0.5 0	HISTOGRAMA DA SOMA 0-5	10 HISTOGRAMA DA SOMA 10 23 10 23 10 23 10 10 10 23 10 23 10 10				
8	10 HISTOGRAMA DA SOMA 0.5 255 0.6 255 0.7 510	Lo HISTOGRAMA DA SOMA Lo HISTOGRAMA DA DIFERENÇA Lo Lo Lo Lo Lo Lo Lo Lo Lo Lo	HISTOGRAMA DA SOMA	HISTOGRAMA DA SOMA				
9	HISTOGRAMA DA SOMA 1.0 0.5 0.0 0.0 0.5 1.0 HISTOGRAMA DA DIFERENÇA 1.0 0.5 0.0 0.0 0.5 0.0 0.5 0.0 0.5 0.0 0.5 0.0 0.5 0.5	Lo HISTOGRAMA DA SOMA 0.5 0.0 0.0 0.5 1.0 HISTOGRAMA DA DIFERENÇA 1.0 0.5 0.0 0.0 0.5 0.0 0.5 0.0 0.5 0.0 0.5 0.0 0.5 0.5	10 HISTOGRAMA DA SOMA 0.5	HISTOGRAMA DA SOMA 0.0 235 510 1.0 10 10 10 1.0 10 10 10 0.0 0 235 510 1.0 0 0 10 0.0 0 255 0 255				

Tabela 17. SDH do Experimento 3

As probabilidades computadas em cada uma das texturas do Experimento 3 também são essencialmente as mesmas. Essa similaridade entre o comportamento dos SDH se deve ao fato de as texturas, mesmos com tamanhos de textons diferentes possuírem exatamente o mesmo padrão.

As demais matrizes de coocorrências computadas nestes experimentos podem ser encontradas nos Apêndices A e C deste trabalho.

6.1.1.1.2 FAIXAS DIAGONAIS - EXPERIMENTOS 2 E 4

As texturas com faixas diagonais são interessantes, pois nos permitem entender um pouco mais como são computadas as frequências nos SDH quando mais índices são obtidos. A Tabelas 18 e 19 mostram os resultados obtidos no Experimento 2 e 4. Observe que, mesmo com alguns histogramas apresentando mais índices, ainda é possível identificar a direção da textura a partir da disposição dos histogramas.



Tabela 18. SDH do Experimento 2

Tabela 19. SDH do Experimento 4

Tex	Ângulos							
10.	0°	45°	90°	135°				
10	HISTOGRAMA DA SOMA	HISTOGRAMA DA SOMA	HISTOGRAMA DA SOMA 0.5	HISTOGRAMA DA SOMA 0.5				
11	HISTOGRAMA DA SOMA 10 0.5 0.0 255 10 HISTOGRAMA DA DIFERENÇA 10 10 0.5 0.6 0.7 10 10 10 0.5	HISTOGRAMA DA SOMA	HISTOGRAMA DA SOMA	HISTOGRAMA DA SOMA 0.0 255 510 1.0 HISTOGRAMA DA DIFERENÇA 10 1.0 HISTOGRAMA DA DIFERENÇA 10 0.0 255 0 255				

		HISTOGRAMA DA SOMA		
1	HISTOGRAMA DA SOMA	1.0	HISTOGRAMA DA SOMA	HISTOGRAMA DA SOMA
1	1.0		1.0	1.0
1				
1	0.5	0.5	0.5	0.5
ł	0.5		0.5	0.5
1		0.0		
12	0.0	255 510	0.0	0.0
14	0 533 310	HISTOGRAMA DA DIFERENÇA	0 523 210	0 220 010
ł	HISTOGRAMA DA DIFERENÇA	1.0	HISTOGRAMA DA DIFERENÇA	HISTOGRAMA DA DIFERENÇA
	1.0		1.0	1.0
1	0.5	0.5	0.5	0.5
1				
1		0.0		
	0.0	-255 0 255	0.0	0.0-255 0 255
1				

Os resultados dos SDH computados a partir dos Experimentos 2 e 4 também se mantiveram equivalentes à GLCM. As matrizes de coocorrências computadas nestes experimentos podem ser encontradas nos Apêndices B e D deste trabalho.

6.1.1.2 ÂNGULOS INTERMEDIÁRIOS

A primeira parte da análise das estruturas da GLCM e dos SDH investigou os experimentos com texturas cuja direção dos seus elementos é totalmente paralela aos ângulos utilizados no cálculo da GLCM e dos SDH. Assim, foi possível identificar a maneira como os histogramas se comportam quando são calculados com base em uma textura que tem direção paralela a esses ângulos. Esses padrões de comportamento serviram de premissas para a segunda parte dos experimentos, que investigam como os SDH lidam com texturas que possuem direções diferentes destas quatro.

Para os experimentos deste grupo foram geradas texturas com nove direções intermediárias aos ângulos de cálculo. Esta variedade de texturas permite observar o comportamento dos SDH em diferentes direções e validar se, assim como a GLCM, os quatro ângulos de cálculo são suficientes para a maior parte das análises (HARALICK, *et al.*, 1973).

6.1.1.2.1 EXPERIMENTOS 5, 6 E 7

Estes experimentos possuem texturas com direções intermediárias aos ângulos de 0° e 45°. Duas destas texturas apresentam variações mais próximas aos ângulos principais, isto é, possuem direções inclinadas em 11,25° e 33,75°. Já a terceira possui ângulo de 22,5°, sendo exatamente o meio entre os dois em questão. Desse modo, é possível explorar se, assim como a GLCM, os SDH computados a partir das texturas com ângulos mais internos costumam tender ao ângulo de cálculo imediatamente mais próximo. Além disso, é possível conduzir uma investigação acerca do comportamento dos histogramas quando a direção de uma textura possui inclinação igual a metade dos dois ângulos de cálculo imediatamente mais próximos.

A Tabela 20 apresenta os resultados do Experimento 5 - Textura 13, comparando as duas abordagens. É possível notar que, assim como a GLCM, os padrões encontrados no SDH apontam que a direção da textura é mais próxima do ângulo de 0º. Além desses padrões de

comportamento é possível notar que a variação entre os dados continua a se manter equivalente. A distância D1, utilizada nos cálculos, é equivalente ao tamanho do texton utilizado na textura T1.



Tabela 20. SDH e GLCM do Experimento 5 – Textura 13

Os resultados referentes aos ângulos de 90° e 135° não são pertinentes nestes experimentos (pois são ângulos observados em outros experimentos) e, por isso, não são discutidos neste momento. Todavia, se encontram nos apêndices E, F e G para verificação. A Tabela 21 mostra que os padrões de comportamento se mantêm evidentes mesmos nas Texturas 14 e 15. Essas texturas também estão mais inclinadas à 0°, mas utilizam tamanho de textons T2 e T4, correspondendo às distâncias D2 e D4, respectivamente.

Com relação ao ângulo intermediário de 22,5°, representado nas texturas do Experimento 6, ambas as abordagens apontam indícios de que a direção está entre os ângulos de 0 e 45°. Contudo os resultados são levemente mais inclinados ao ângulo de 0°, tanto na GLCM como nos SDH. Na matriz de coocorrência a diagonal principal relativa ângulo de 0° é a que apresenta os maiores valores. Nos SDH os extremos dos HS e o centro do HD de 0° apresentam maiores frequências que os demais. A Tabela 22 apresenta estes resultados. Cada cálculo considerou o valor de distância relativo ao tamanho do texton.

Ângulos	Textur	a 14	Textura 15			
Ingulos	SDH	GLCM	SDH	GLCM		
0.0	HISTOGRAMA DA SOMA	0.4017 0.0973	HISTOGRAMA DA SOMA	0.402 0.0974		
0 "	10 HISTOGRAMA DA DIFERENÇA 0.5 0.00255 0 25	0.0972 0.4037	10 05 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 255 0 255	0.0975 0.403		
A5°	HISTOGRAMA DA SOMA	0.1059 0.3927	HISTOGRAMA DA SOMA	0.1063 0.3934		
45°	HISTOGRAMA DA DIFERENÇA	0.3932 0.1079	0.5 0.02253 0 255	0.3926 0.1074		

Tabela 21. SDH e GLCM do Experimento 5 – Texturas 14 e 15.

Tabela 22. Resultados do Experimento 6.

	Ângulo	00	Ângulo 45°			
Tex.	SDH	GLCM	SDH	GLCM		
16	HISTOGRAMA DA SOMA	0.3065 0.1914	HISTOGRAMA DA SOMA	0.2274 0.2704		
	HISTOGRAMA DA DIFERENÇA 0.5	0.1913 0.3106		0.2705 0.2315		
17	HISTOGRAMA DA SOMA	0.3075 0.191	HISTOGRAMA DA SOMA	0.2282 0.271		
17	HISTOGRAMA DA DIFERENÇA 0.5	0 .1917 0.3097		0.2702 0.2304		
19		0.308 0.1915	10 HISTOGRAMA DA SOMA 0.5 0.0 HISTOGRAMA DA DIFERENCA	0.2289 0.2704		
18	Image: Histograma Da Diferença Juli 1.0	0.1912 0.3091		0.2705 0.23		

Como era de se esperar, os SDH obtidos a partir das texturas do Experimento 7, independentemente do tamanho do texton utilizado, apontaram maior proximidade com o ângulo de 45°, isto é, o ângulo principal imediatamente mais próximo a 33,75°. A Tabela 23

apresenta estes resultados. Foram utilizadas as distâncias D1, D2 e D4 para o cálculo baseados nas Texturas 19, 20 e 21. Essas distâncias são equivalentes ao tamanho dos textons utilizados nestas texturas.



Tabela 23. SDH do Experimento 7

Nos experimentos anteriores, que investigaram as texturas com direções voltadas aos ângulos de cálculo, foi constatado que o padrão de comportamento dos SDH e da GLCM é constante, mesmo com variações no tamanho do texton. Através dos Experimentos 5, 6 e 7 é possível notar que este padrão também se mantém em texturas cujas direções sejam intermediárias aos ângulos de cálculo. Vale lembrar que essas texturas possuem textons diferentes, porém, que representam o mesmo tipo de textura.

Todos SDH e GLCM gerados nos Experimentos 5, 6 e 7 podem ser verificados nos apêndices E, F e G deste trabalho.

6.1.1.2.2 EXPERIMENTOS 8, 9 E 10

Os experimentos deste grupo utilizam texturas com outras três direções inclinadas entre os ângulos principais de 45° e 90°. Para cada variação de direção também foram consideradas três tamanhos de textons T1, T2 e T4.

O Experimento 8 possui as suas texturas inclinadas em 56,25°, tendo o ângulo de 45° como o principal imediatamente mais próximo. Como esperado, essa proximidade é notada pelos SDH. Os resultados deste experimento apontam, em todas as texturas do experimento, que a direção predominante das texturas está próxima ao ângulo 45°. A Tabela 24 mostra os SDH calculados para a Textura 22, com D1.



Tabela 24. SDH do Experimento 8.

Este padrão também pode ser visto nos Experimentos 9 e 10, que possui texturas com direções predominantes próximas aos ângulos de 67,5° e 78,75°. Através das Tabelas 25 e 26 é possível notar que os padrões encontrados nos SDH tendem para o ângulo de 90°. Comparando estes resultados com o Experimento 6 é percebe-se que as texturas com direções exatamente intermediárias a dois ângulos de cálculo, costumam tender para as direções horizontais ou verticais, isto é, para os ângulos de 0° e 90°.

 Tabela 25. SDH do Experimento 9

	Ângulo 45°	Ângulo 90°
	HISTOGRAMA DA SOMA	HISTOGRAMA DA SOMA
	1.0	1.0
	0.5	0.5
Textura	0.0 0 255 510	0.0 0 255 510
25	HISTOGRAMA DA DIFERENÇA	HISTOGRAMA DA DIFERENÇA
23	1.0	1.0
	0.5	0.5
	0.0/255 0 255	0.0_255 0 255

É possível notar através dos resultados do Experimento 9 que os padrões encontrados nos SDH tendem para o ângulo de 90°. Comparando estes resultados com o Experimento 6 é possível notar que as texturas com direções exatamente intermediárias a dois ângulos de cálculo, costumam tender para as direções horizontais ou verticais, isto é, para os ângulos de 0° e 90°.

Tabela 26. SDH do Experimento 10



Os resultados das texturas com tamanhos de textons T2 e T4 apresentam o mesmo padrão de comportamento das texturas baseadas nos textons T1 e encontram-se nos apêndices H, I e J deste trabalho. Assim como constatado nos experimentos anteriores, os SDH continuaram sendo equivalentes à GLCM tanto em comportamento quanto variação numérica.

Todos os SDH e GLCM calculados a partir das texturas destes experimentos se encontram nos apêndices H, I e J deste trabalho.

6.1.1.2.3 EXPERIMENTOS 11, 12 E 13

Finalizando os estudos com os ângulos intermediários estão os Experimentos 11, 12 e 13 que contemplam as texturas com direções inclinadas em ângulos de 101,25°, 112,5° e 123,75°, ambos intermediários aos ângulos principais de 90° e 135°.

Os resultados destes experimentos confirmam as evidências apontadas pelos experimentos anteriores. Todas as texturas contidas no Experimento 11 apontam maior relação com o ângulo de 90°, isto é, o ângulo principal imediatamente mais próximo a 101,25°. De forma similar, o Experimento 13, indica que as texturas possuem direção mais próximas ao ângulo de 135°.

O Experimento 12 confirma a hipótese discutida no Experimento 9, isto é, as texturas com ângulos médios têm os seus resultados propensos às direções horizontais ou verticais, representadas pelos os ângulos de 0° ou 90°. As Tabela 27, Tabela 28 e Tabela 29 mostram os resultados obtidos nos Experimentos 11, 12 e 13.



Tabela 27. SDH do Experimento 11





Tabela 29. Resultados do Experimento 13

Ângulo 90°	Ângulo 135°
HISTOGRAMA DA SOMA	HISTOGRAMA DA SOMA
HISTOGRAMA DA DIFERENÇA	HISTOGRAMA DA DIFERENÇA
	Ângulo 90° HISTOGRAMA DA SOMA

Os resultados destes experimentos também se mostraram equivalentes à GLCM e com padrões de comportamento constantes nas texturas com variações no tamanho do textons. As demais matrizes e histogramas computados nestes experimentos podem ser vistos nos apêndices K, L e M deste trabalho.

6.1.2 COMPORTAMENTO DOS DESCRITORES

As estruturas de dados que armazenam os cálculos da GLCM e dos SDH, discutidas nas seções anteriores, são utilizadas para computar os descritores de textura. Como essas estruturas

possuem dimensões diferentes, os dados são, obviamente, armazenados de maneiras também diferentes.

Embora os padrões de comportamento entre as duas estruturas sejam equivalentes, essa diferença no armazenamento dos dados implica diretamente na maneira de computação dos descritores. Para manter a correspondência entre esses descritores calculados a partir das duas abordagens, as equações foram adaptadas, conforme a discussão apresentada no Capítulo 3.

Assim como nas estruturas da GLCM e dos SDH, as análises pertinentes aos descritores de textura são realizadas em duas etapas. A primeira delas considerando os Experimentos 1 a 4, que utilizam as texturas com direções inclinadas a um dos quatro ângulos de cálculo. Essas análises permitem entender o comportamento e dispersão dos descritores e servem de subsídio para a segunda etapa, que explora as texturas com direções inclinadas em ângulos intermediários aos ângulos de cálculo, contemplando os Experimentos 5 a 13.

6.1.2.1 ÂNGULOS DE CÁLCULO

Esta seção explora os resultados dos descritores calculados a partir das texturas cujas direções estão inclinadas horizontalmente, verticalmente ou diagonalmente. Essas direções são facilmente identificáveis pela GLCM, pois possuem a mesma inclinação dos ângulos utilizados no seu cálculo. Dessa forma, é possível avaliar as equações de correspondência propostas para cálculo destes descritores a partir dos SDH. A correspondência é constatada se esses descritores apresentarem resultados análogos aos computados a partir da GLCM.

6.1.2.1.1 FAIXAS HORIZONTAIS E VERTICAIS - EXPERIMENTOS 1 E 3

Cinco dentre as equações propostas por Unser (1986) passaram por modificações neste trabalho a fim de terem os seus resultados numericamente mais próximos aos obtidos a partir da GLCM. Essas equações dizem respeito aos descritores MED-I, COR-1, VAR, CSHA e CPRO. Comparando os resultados destas com as suas versões anteriores é possível notar que quatro, dos cinco descritores, passaram a ter resultados numericamente idênticos à GLCM e um muito próximo. As Tabela 30, Tabela 31 e Tabela 32 mostram os resultados obtidos para estes descritores comparando as versões deste trabalho e de Unser com a GLCM nas três texturas do Experimento 1. Os campos sombreados indicam que os resultados dos descritores são numericamente iguais à GLCM.

Observe a proximidade do descritor VAR utilizando a equação proposta neste trabalho com a sua correspondência na GLCM. Embora, numericamente o resultado não seja idêntico, a diferença entre eles é extremamente pequena quando comparada com o resultado do mesmo descritor utilizando a equação de Unser. Em porcentagem, essa diferença significa aproximadamente 0,1%.

		, ,				,
Ang.	Abordagem	MED-I	COR-1	VAR	CSHA	CPRO
0°	GLCM	127,5	16256,25	16256,25	0	42282506250
	SDH Proposto	127,5	16256,25	16256,25	0	42282506250
	SDH Unser	127,5	3251,25	3251,25	0	42282506250
45°	GLCM	126,5	-16255,24	16255,24	809	1625
	SDH Proposto	126,5	-16255,24	16257,26	809	1625
	SDH Unser	127,5	-6502,50	6502,50	0	0
90°	GLCM	126,5	-16255,24	16255,24	809	1625
	SDH Proposto	126,5	-16255,24	16257,26	809	1625
	SDH Unser	127,5	-6502,50	6502,50	0	0
135°	GLCM	126,5	-16255,24	16255,24	809	1625
	SDH Proposto	126,5	-16255,24	16257,26	809	1625
	SDH Unser	127,5	-6502,50	650250	0	0

Tabela 30. Comparações de resultados para o Experimento 1, Textura 1

 Tabela 31. Comparações de resultados para o Experimento 1, Textura 2

Ang.	Abordagem	MED-I	COR-1	VAR	CSHA	CPRO
0°	GLCM	127,5	16256,25	16256,25	0	42282506250
	SDH Proposto	127,5	16256,25	16256,25	0	42282506250
	SDH Unser	127,5	3251,25	3251,25	0	42282506250
45°	GLCM	125,48	-16252,15	16252,15	663,1	26841
	SDH Proposto	125,48	-16252,15	16260,35	663,1	26841
	SDH Unser	127,5	-6502,50	6502,50	0	0
90°	GLCM	125,48	-16252,15	16252,15	663,1	26841
	SDH Proposto	125,48	-16252,15	16260,35	663,1	26841
	SDH Unser	127,5	-6502,50	6502,50	0	0
135°	GLCM	125,48	-16252,15	16252,15	663,1	26841
	SDH Proposto	125,48	-16252,15	16260,35	663,1	26841
	SDH Unser	127,5	-6502,50	6502,50	0	0

Tabela 32. Comparações de resultados para o Experimento 1, Textura 3

Ang.	Abordagem	MED-I	COR-1	VAR	CSHA	CPRO
0°	GLCM	127,5	16256,25	16256,25	0	42282506250
	SDH Proposto	127,5	16256,25	16256,25	0	42282506250
	SDH Unser	127,5	3251,25	3251,25	0	42282506250
45°	GLCM	123,39	-16239,33	16239,33	556,59	45784
	SDH Proposto	123,39	-16239,33	16273,17	556,59	45784
	SDH Unser	127,5	-6502,50	6502,50	0	0
90°	GLCM	123,39	-16239,33	16239,33	556,59	45784
	SDH Proposto	123,39	-16239,33	16273,17	556,59	45784
	SDH Unser	127,5	-6502,50	6502,50	0	0
135°	GLCM	1233,9	-16239,33	16239,33	556,59	45784
	SDH Proposto	123,39	-16239,33	16273,17	556,59	45784
	SDH Unser	127,5	-6502,50	6502,50	0	0

Assim como nas análises realizadas nas estruturas da GLCM e dos SDH, é possível notar nestes experimentos que os resultados numéricos dos descritores calculados a partir das 3 texturas são similares. Os descritores MED-I, COR-1 e VAR variam aproximadamente 1% entre uma textura e outra. Essa diferença corresponde basicamente aos três valores de distâncias (D1, D2 e D4) utilizados nos cálculos. Os descritores CSHA e CPRO possuem uma diferença maior pois são de segunda e terceira ordem, respectivamente.

Com relação aos descritores COR-1 e VAR é possível notar que estão relacionados: quando ambos possuem valores próximos, temos um forte indício de que há algum evento acontecendo na direção em questão da textura. Note que eles foram numericamente iguais nos cálculos à 0°. Este ângulo é justamente o ângulo das direções das texturas analisadas. Por outro lado, nos demais ângulos esses valores possuem sinais opostos.

Estes padrões acontecem da mesma forma em texturas posicionadas verticalmente. Através da Tabela 33 é possível notar que a diferença do descritor VAR calculado a partir da GLCM com o calculado com a equação proposta neste estudo continua sendo extremamente pequena.

Ano	Aboudacom	VAR						
11115.	Aboraagem.	Textura 7	Textura 8	Textura 9				
	GLCM	16255,98	16256,19	16256,23				
0°	SDH Proposto	16255,98	16256,19	16256,23				
	Diferença em %	0%	0%	0%				
45°	GLCM	16255,97	16256,15	16256,25				
	SDH Proposto	16255,98	16256,19	16256,24				
	Diferença em %	0,61 × 10e-5 %	0,24 × 10e-5 %	0,61 × 10e-5 %				
	GLCM	16255,98	16256,15	16256,24				
90°	SDH Proposto	16255,98	16256,19	16256,23				
	Diferença em %	0%	0,18 ×10e-5%	0,61 × 10e-5 %				
135°	GLCM	16255,99	16256,16	16256,25				
	SDH Proposto	16255,98	16256,19	16256,24				
	Diferença em %	0,61 × 10e-5 %	$0,10 \times 10e-5$	0,61 × 10e-5 %				

Tabela 33. Comparações de resultados para o Experimento 3

Os demais descritores calculados a partir das equações adaptadas neste trabalho, continuam apresentando resultados numericamente idênticos à GLCM.

Nas seções anteriores discutiu-se a identificação da direção de uma textura a partir das estruturas de armazenamento da GLCM e dos SDH. Alguns descritores de textura também apresentam indícios que permitem essa identificação isoladamente, isto é, apenas comparando o seu resultado numérico em cada ângulo, sem comparar com os demais descritores. O

comportamento dos descritores COR-1, CSHA e CPRO no ângulo que tem maior proximidade com a direção da textura analisada tende a ser diferente dos comportamentos dos demais ângulos. A Tabela 34 mostra o comportamento destes descritores no Experimento 3. É possível notar que a dispersão numérica dos resultados tende a ser diferente no ângulo de 90° pois refere-se à direção que os elementos da textura estão inclinados.

Ang.	Abordagem	COR-1	CSHA	CPRO
0°	GLCM	-16255,24	809	1625
	SDH Proposto	-16255,24	809	1625
	SDH Unser	-6502,50	0	0
45°	GLCM	-16255,24	-809	1625
	SDH Proposto	-16255,24	-809	1625
	SDH Unser	-6502,50	0	0
90°	GLCM	16256,25	0	42282506250
	SDH Proposto	16256,25	0	42282506250
	SDH Unser	3251,25	0	42282506250
135°	GLCM	-16255,24	809	1625
	SDH Proposto	-16255,24	809	1625
	SDH Unser	-6502,50	0	0

Tabela 34. Comparações COR-1, CSHA e CPRO, Experimento 3, Textura 7

Os descritores HOM e CON não necessitam de adaptações nas suas equações pois resultados já são numericamente idênticos à GLCM. Já as equações dos descritores ASM e ENT não sofreram alterações pois seus valores são numericamente próximos à GLCM com flutuações que tendem a zero proporcionalmente à quantidade de tons de cinza da textura. Como os experimentos do Grupo A utilizam texturas binárias, a flutuação entre estes descritores é zero. Os resultados destes quatro descritores são apontados na Tabela 35. As diferenças na variação dos descritores ASM e ENT são mostradas com mais detalhes nos experimentos do próximo grupo.

Ang	Abordagem	Expe	erimento	0 1 – Tex	tura 1	Experimento 3 – Textura 7			
111.5.		SMA	ENT	НОМ	CON	SMA	ENT	НОМ	CON
00	GLCM	0,5	3	10	0	0,5	3	0	65025
Ŭ	SDH	0,5	3	10	0	0,5	3	0	65025
45°	GLCM	0,5	3	0	65025	0,5	3	0	65025
	SDH	0,5	3	0	65025	0,5	3	0	65025
900	GLCM	0,5	3	0	65025	0,5	3	10	0
	SDH	0,5	3	0	65025	0,5	3	10	0
1350	GLCM	0,5	3	0	65025	0,5	3	0	65025
	SDH	0,5	3	0	65025	0,5	3	0	65025

Adicionalmente aos descritores discutidos por Unser (1986), este trabalho propôs novas equações para outros seis descritores: ENE, COR-2, DIS, AVEJ, AVEG e DPA-J. Deste conjunto, quatro têm seus resultados numericamente idênticos aos computados a partir da GLCM: COR-2, DIS, AVEJ e AVEG. O descritor DPA-J apresenta valores bem próximos aos obtidos pela matriz de coocorrência.

A ENE calculada a partir dos SDH, nestes experimentos, apresenta os mesmos valores da sua correspondência na GLCM. A Tabela 36 apresenta os resultados destes descritores na Textura 1 do Experimento 1.

Ang.	Abordagem	ENE	COR-2	DIS	MED-J	MED-G	DPA-J
0°	GLCM	0,71	1,0	0,0	127,5	255,0	16256,25
	SDH Proposto	0,71	1,0	0,0	127,5	255,0	16256,25
45°	GLCM	0,71	-1,0	255,0	128,5	255,0	16255,24
	SDH Proposto	0,71	-1,0	255,0	128,5	255,0	16257,26
90°	GLCM	0,71	-1,0	255,0	128,5	255,0	16255,24
	SDH Proposto	0,71	-1,0	255,0	128,5	255,0	16257,26
135°	GLCM	0,71	-1,0	255,0	128,5	255,0	16255,24
	SDH Proposto	0,71	-1,0	255,0	128,5	255,0	16257,26

Tabela 36. Resultados da ENE, COR-2, DIS, MED-J e DPA-J no Experimento 1

Assim como os demais descritores, os resultados nas demais texturas do Experimento 1 foram similares.

A diferença do descritor DPA-J nos SDH já era esperada, uma vez que ele foi associado à mesma equação utilizada para cálculo do descritor VAR, e este, como discutido anteriormente, possui um pequeno desvio quando comparado ao correspondente na GLCM. Com relação à ENE, a diferença entre as duas abordagens varia entre décimos e centésimos à medida que a quantidade de tons de cinza da imagem aumenta.

Os valores da ENE tendem a ser os mesmos, independentemente do ângulo utilizado para cálculo, quando os SDH apresentarem frequências constantes entre si. O mesmo ocorre com a GLCM quando os valores presentes nas diagonais principais e secundárias são constantes entre as matrizes. Essa situação pode ser comprovada através da Tabela 13 que mostra a variação numérica das matrizes e dos histogramas. Observe que os valores de frequência do SDH são constantes nos quatro ângulos principais, mudando apenas a ordem onde aparecem. O mesmo acontece com os valores da GLCM, que também são constantes nos quatro ângulos principais, mudando apenas as células onde aparecem.

Isso mostra que o descritor é bom para apresentar um índice global da imagem, mas dependendo da composição da textura deve ser utilizado em conjunto com outros descritores caso pretenda-se identificar determinadas características de uma textura, como a sua direção.

A Figuras 7 retrata os valores de diferença nas comparações da GLCM com Unser e com as equações propostas neste estudo. É possível observar que, considerando os descritores que não eram numericamente idênticos, a diferença entre as abordagens foi totalmente eliminada ou apresenta variação muito próxima de zero ao utilizar as equações propostas neste estudo. O valor de diferença apontada por cada descritor é uma média das diferenças obtidas nos quatro ângulos de cálculo.



Figura 7. Diferenças entre Unser e Propostas – Experimentos 1 e 3

Observe que os valores de diferenças apresentados são iguais para ambos experimentos. Isso acontece, pois, a composição das texturas destes experimentos é essencialmente igual, divergindo apenas na orientação. Desse modo, a média dos resultados dos quatro ângulos de cálculo destes experimentos se torna igual.

6.1.2.1.2 FAIXAS DIAGONAIS - EXPERIMENTOS 2 E 4

Assim como discutido nos Experimentos 1 e 3, do conjunto de equações propostas por Unser que sofreram evoluções neste trabalho, apenas a VAR não apresenta resultado numérico idêntico à GLCM. Contudo o valor dessa diferença continua sendo extremamente pequeno. A Tabela 37 mostra os resultados obtidos pelos descritores que tiveram suas equações melhoradas neste estudo.

Ang.	Abordagem	MED-I	COR-1	VAR	CSHA	CPRO
0°	GLCM	128,52	-6735,10	16255,21	1305031	1,23e+11
	SDH Proposto	128,52	-6735,10	16255,26	1305031	1,23e+11
	SDH Unser	128,50	-36460,55	55500,87	157384	1,23e+11
45°	GLCM	128,50	16255,24	16255,24	-26110783	4,22e+11
	SDH Proposto	128,50	16255,24	16255,24	-26110783	4,22e+11
	SDH Unser	128,50	32510,48	32510,48	-26110783	4,22e+11
90°	GLCM	128,52	-67351,10	16255,21	1305031	1,23e+11
	SDH Proposto	128,52	-67351,10	16255,26	1305031	1,23e+11
	SDH Unser	128,50	-36460,55	55500,87	157384	1,23e+11
135°	GLCM	128,55	-2787,80	16255,14	-4038477	1,75e+11
	SDH Proposto	128,55	-2787,80	16255,26	-4038477	1,75e+11
	SDH Unser	128,50	-24618,68	51553,58	-3144209	1,75e+11

Tabela 37. Comparações de resultados para o Experimento 2, Textura 4

Com relação ao descritor VAR, a sua diferença com o valor obtido na GLCM continua sendo pequena. A ordem de grandeza do descritor é de 10^4 e a diferença entre as abordagens é de 10^{-1} . Essa diferença, dada a grandeza do descritor, é de aproximadamente 0,6×10e-5%, como mostra a Tabela 38.

VAR Ang. Abordagem Textura 4 Textura 5 Textura 6 16231,44 GLCM 16231,24 16231,65 0° **SDH** Proposto 16231,24 16231,44 16231,65 Diferença em % 0% 0% 0% **GLCM** 16231,23 16231,39 16231,63 45° SDH Proposto 16231,24 16231,44 16231,65 Diferença em % 0,61 × 10e-5 % $0,24 \times 10e-5 \%$ 0,61 × 10e-5 % GLCM 16231,24 16231,39 16231,63 90° **SDH** Proposto 16231,24 16231,44 16231,65 Diferença em % 0,61 × 10e-5 % 0% 018, ×10e-5% 135° GLCM 16231,25 16231,39 16231,64 **SDH** Proposto 16231,24 16231,44 16231,65 Diferença em % 0,61 × 10e-5 % $0,10 \times 10e-5$ 0,61 × 10e-5 %

Tabela 38. Comparações de resultados para o Experimento 2

Assim como constatado nos experimentos anteriores, os resultados das texturas baseadas nos Textons T2 e T4, calculados com distâncias D2 e D4, apresentam resultados muito próximos aos obtidos pelas texturas baseadas em T1. A pequena diferença entre eles diz respeito ao tamanho da distância utilizada no cálculo das estruturas.

Os descritores que tiveram as equações propostas neste estudo, continuam mantendo os padrões de comportamento apontados pelos Experimentos 1 e 2: COR-2, DIS, AVEJ e AVEG se mantêm idênticos em ambas abordagens. Os descritores ENE e o DPA-J possuem pequenas variações. As Tabela 39 e Tabela 40 mostram as diferenças nos valores destes descritores entre as duas abordagens.

	Ang.	ENE	COR-2	DIS	MED-J	MED-G	DPA-J
GLCM x SDH	0°	0,9	S/D	S/D	S/D	S/D	0,03
	45°	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
	90°	0,9	S/D	S/D	S/D	S/D	0,03
	135°	0,13	S/D	S/D	S/D	S/D	0,11

Tabela 39. Diferença dos descritores propostos entre GLCM e SDH – Experimento 2

Os descritores que apresentam resultados idênticos são marcados como sem diferença, S/D.

Tabela 40. Diferença dos descritores propostos entre GLCM e SDH – Experimento 4

	Ang.	ENE	COR-2	DIS	MED-J	MED-G	DPA-J
GLCM x SDH	0°	0,11	S/D	S/D	S/D	S/D	0,03
	45°	0,13	S/D	S/D	S/D	S/D	0,12
	90°	0,11	S/D	S/D	S/D	S/D	0,05
	135°	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D

Os descritores que apresentam resultados idênticos são marcados como sem diferença, S/D.

Diferentes das texturas utilizadas nos Experimento 1 e 3, as texturas empregadas nestes experimentos não resultam em valores iguais para todas as ocorrências do descritor ENE. Isso acontece, pois, as estruturas dos SDH e da GLCM geradas a partir destas texturas não são constantes para todos os ângulos principais. OS SDH e GLCM apresentados na Tabela 18 justificam esta situação. Observe que diferente dos SDH baseados nas texturas com direções horizontais ou verticais, estes não apresentam a mesma variação numérica para todos os ângulos. Contudo, é interessante observar que os valores dos ângulos de 0º e 90º, são iguais entre si, portanto, justificando o fato do descritor ENE, nestes ângulos, apresentar o mesmo resultado.

Embora os descritores VAR e ENE não sejam numericamente idênticos aos obtidos pela GLCM em todas as ocorrências, a diferença existente não é suficiente para alterar os padrões de comportamento. Nos Experimentos 3 e 4 essa diferença deixa de existir quando o ângulo analisado é o mesmo da textura em questão. Portanto, assim como os demais descritores já discutidos, o ângulo principal que estiver mais próximo da direção da textura tende a apresentar resultados diferentes dos demais ângulos. A Tabela 41 apresenta os resultados destes descritores para os Experimentos 2 e 4.

140	Abordagam	Experimento	2 – Textura 4	Experimento 4 – Textura 10		
Ang.	Aboraugem	ENE	MED-J	ENE	MED-J	
0°	GLCM	0,54	16255,30	0,54	16255,30	
	SDH Proposto	0,43	16255,26	0,43	16255,26	
45°	GLCM	0,71	16255,24	0,51	16255,14	
	SDH Proposto	0,71	16255,24	0,38	16255,26	
90°	GLCM	0,54	16255,3	0,54	16255,21	
	SDH Proposto	0,43	16255,26	0,43	16255,26	
135°	GLCM	0,51	16255,37	0,71	16255,24	
	SDH Proposto	0,38	16255,26	0,71	16255,24	

Tabela 41. Comparações de resultados para ENE e MED-J – Experimentos 2 e 4.

Assim como nos Experimentos 1 e 3, a média da diferença entre as abordagens nos Experimentos 2 e 4 também foram iguais entre si. A Figura 8 ilustra essa situação. Observe ainda que a utilização das equações propostas neste estudo diminuiu completamente ou trouxe o valor da diferença para muito próximo de zero.



Figura 8. Diferenças entre Unser e Propostas – Experimentos 2 e 4

6.1.2.2 ÂNGULOS INTERMEDIÁRIOS

Esta seção explora o comportamento e dispersão numérica dos descritores calculados a partir de texturas com direções intermediárias aos ângulos principais. A cada dois ângulos de cálculo, entre 0º e 135º foram considerados três ângulos intermediários. Espera-se que, assim

como foi constatado com as estruturas da GLCM e dos SDH, os descritores calculados a partir destas estruturas também apresentem comportamento e dispersão numérica que tendam para o ângulo principal imediatamente mais próximo.

6.1.2.2.1 EXPERIMENTOS 5, 6 E 7

Os descritores de texturas são bastante utilizados em atividades de reconhecimento de padrões em imagens, conforme discutido no Capítulo 3. Baraldi e Parmiggiani (1995) discutem a respeito da relevância de alguns destes descritores nas tarefas de classificação de texturas e o reconhecimento de padrões. Os descritores apontados por eles são Contraste (CON), Dissimilaridade (DIS), Homogeneidade (HOM), Segundo Momento Angular (ASM), Entropia (ENT) e medidas de Correlação (COR-1 e COR-2). Todos estes descritores, como visto, são discutidos neste trabalho (BARALDI; PARMIGGIANI, 1995).

Dentre os 15 descritores abordados neste estudo, alguns apresentam um padrão de comportamento tão evidente que, muitas vezes, simplesmente observando os seus valores isoladamente já se é possível obter indícios de algumas características da textura, como por exemplo, a direção predominante dos seus elementos. Neste trabalho estes descritores são denominados como descritores mais expressivos.

As Tabela 42 e Tabela 43 apresentam os resultados dos 15 descritores calculados no Experimento 5. Esse experimento tem suas textura com direção inclinada a 11,25°. Na Tabela 42 são apresentados os resultados das equações baseadas em Unser que foram abordadas aqui. Os resultados dos descritores que não tiveram equações adaptadas são mesclados em uma célula. Já a Tabela 43 mostra os resultados dos descritores que tiveram suas equações discutidas neste trabalho.

Note que, observando isoladamente alguns descritores já se tem fortes indícios da direção predominante da imagem. Os descritores HOM, COR-1 e COR-2, DIS, CON, CSHA e CPRO apresentam por si só padrões de comportamento significativos quando comparados isoladamente os seus resultados para cada um dos ângulos principais. Os valores desses descritores tendem a ser mais expressivos no ângulo principal de 0°, indicando que esta é a direção predominante da textura. Os descritores de HOM, COR-1, COR-2 e CPRO inclinam-se a apresentar valores mais altos nos ângulos principais que possuem maior relação com a direção da textura. Inversamente a isso, os descritores DIS, COM e CSHA indicam essa relação a partir de valores mais baixos.

Ang.	Abord.	SMA	ENT	МОН	MED-I	COR-1	VAR	CON	CSHA	CPRO
	GLCM	0,34	0,52	0,81	128,02	99278,8	16255,98	12656,19	-953306	3,40534e+11
0°	SDH Proposto	0.24	4 0.72	0.91	128,02	9927,88	16255,98	12656 10	-953306	3,40534e+11
	SDH Unser	0,24	0,75	0,81	128,02	13527,67	38840,06	12030,19	-953306	3,40534e+11
	GLCM	0,33	0,53	0,21	128,03	-9306,12	16255,97	51124,19	2367922	90370640356
45°	SDH Proposto	0.22	0.75	0.21	128,03	-9306,12	16255,98	51124 10	2367922	90370640356
	SDH Unser	0,25	0,75	0,21	128,02	-44174,33	58074,05	51124,19	2433848	90370792188
	GLCM	0,48	0,34	0,20	128,02	-15632,51	16255,98	63776,98	6344699	8088167826
90°	SDH Proposto	0.46	0.28	0.20	128,02	-15632,51	16255,98	62776 08	6344699	8088167826
	SDH Unser	0,40	0,38	0,20	128,02	-63153,51	64400,45	03770,98	6344699	8088167826
0	GLCM	0,36	0,50	0,18	128,01	-10551,87	16255,99	53615,69	3267894	74168371974
135"	SDH Proposto	0,26	0.70	0.19	128,01	-10551,87	16255,98	52615 60	3267894	74168371974
1	SDH Unser		0,70	0,18	128,02	-47911,58	5931,98	55015,09	3213785	74168167023

 Tabela 42. Comparações de resultados para o Experimento 5

Tabela 43. Comparações com os descritores propostos neste estudo, Experimento 5

Ang.	Abordagem	ENE	COR-2	DIS	MED-J	MED-G	DPA-J
0°	GLCM	0,59	0,61	49.63	128,02	256,04	16255,98
	SDH Proposto	0,49	0,61	49.63	128,02	256,04	16255,98
45°	GLCM	0,58	-0,57	200,49	128,01	256,04	16255,99
	SDH Proposto	0,48	-0,57	200,49	128,01	256,04	16255,98
90°	GLCM	0,69	-0,96	250,11	128,02	256,04	16255,98
	SDH Proposto	0,68	-0,96	250,11	128,02	256,04	16255,98
135°	GLCM	0,6	-0,65	210,26	128,03	256,04	16255,97
	SDH Proposto	0,51	-0,65	210,26	128,03	256,04	16255,98

Tubela The Resultando des deservores mais expressives Experimente e									
Ang.	Abordagem	COR- 2	НОМ	DIS	COR-1	CON	CSHA	CPRO	
0°	GLCM	0,23	0,62	97.,2	3809,78	24892,38	-5630578	2,6096e+11	
	SDH Proposto	0,23	0,62	97,62	3809,78	24892,38	-5630578	2,6096e+11	
	SDH Unser	N/A	0,62	N/A	-4826,63	24892,38	-5819435	2,6096e+11	
45°	GLCM	-0,08	0,46	137,96	-1333,72	35179,38	-2879342	1,94062e+11	
	SDH Proposto	-0,08	0,46	137,96	-1333,72	35179,38	-2879342	1,94062e+11	
	SDH Unser	N/A	0,46	N/A	-20257,12	35179,38	-2596237	19406208029	
90°	GLCM	-0,85	0,8	235,58	-1378,05	60072,92	5305063	32173992363	
	SDH Proposto	-0,85	0,8	235,58	-1378,05	60072,92	5305063	32173992363	
	SDH Unser	N/A	0,8	N/A	-57597,45	60072,92	5351661	3217466103	
135°	GLCM	-0,39	0,31	176,79	-6284,47	45080,88	55028	1,29671e+11	
	SDH Proposto	-0,39	0,31	176,79	-6284,47	45080,88	55028	1,29671e+11	
	SDH Unser	N/A	0,31	N/A	-35109,38	45080,88	55028	1,29671e+11	
Os descritores não discutidos por Unser são marcados como não aplicável (N/A)									

Tabela 44. Resultados dos descritores mais expressivos – Experimento 6

Com relação ao Experimento 6, que tem suas texturas inclinadas em um ângulo do 22,5°, os resultados apresentam maior expressividade entre os ângulos de principais 0° e 45°, como esperado. Contudo, é possível observar que, numericamente, os resultados se inclinam mais à direção horizontal do que diagonal, isto é, são levemente mais expressivos no ângulo principal de 0°. A Tabela 44 sintetiza os resultados obtidos neste experimento. Já a Tabela 45 mostra os

resultados destes descritores no Experimento 7. Observe que, analisando individualmente a variação de cada descritor ao longo dos quatro ângulos principais, é possível identificar o ângulo predominante da textura.

Ang.	Abordagem	COR- 2	НОМ	DIS	COR-1	CON	CSHA	CPRO
0°	GLCM	-0,11	0,44	141,65	-1804,25	36120,56	-2313157	1,87944e+11
	SDH Proposto	-0,11	0,44	141,65	-1804,25	36120,56	-2313157	1,87944e+11
	SDH Unser	N/A	0,44	N/A	-21668,78	36120,56	-204112	1,87943e+11
45°	GLCM	0,45	0,72	70,31	7291,86	17928,34	-7010964	3,06248e+11
	SDH Proposto	0,45	0,72	70,31	7291,86	17928,34	-7010964	3,06248e+11
	SDH Unser	N/A	0,72	N/A	5619,54	17928,34	-723434	3,06248e+11
90°	GLCM	-0,66	0,17	211,96	-10768,39	54048,83	302106	71355330553
	SDH Proposto	-0,66	0,17	211,96	-10768,39	54048,83	302106	71355330553
	SDH Unser	N/A	0,17	N/A	-48561,19	54048,83	302106	71355330553
135°	GLCM	-0,23	0,39	156,41	-3686,08	3988,42	-1105366	1,63468e+11
	SDH Proposto	-0,23	0,39	156,41	-3686,08	3988,42	-1105366	1,63468e+11
	SDH Unser	N/A	0,39	N/A	-27314,26	3988,42	-986128	1,63468e+11

 Tabela 45. Resultados dos descritores mais expressivos – Experimento 7

Os descritores não discutidos por Unser são marcados como não aplicável (N/A)





Figura 9. Diferenças entre Unser e Propostas – Experimentos 5, 6 e 7
A Figura 9 retrata a redução na diferença dos descritores ao comparar as equações de Unser e as propostas neste estudo com as correspondências na GLCM. Assim como nos demais experimentos, estas diferenças foram totalmente eliminadas ou estão bem próximas à zero.

6.1.2.2.2 EXPERIMENTOS 8, 9 E 10

Os mesmos padrões apontados nos experimentos anteriores se repetem nestes experimentos. Os descritores calculados a partir dos SDH apresentam o mesmo padrão de comportamento dos correspondentes na GLCM, mesmo com texturas inclinadas em outras direções. As Tabela 46, Tabela 47 e Tabela 48 mostram os resultados destes experimentos.

Os resultados das texturas com direção intermediária de 67,5° apresentam resultados mais expressivos nos dois ângulos de cálculo imediatamente mais próximos: 45° e 90°. Como nos experimentos anteriores esses resultados inclinam-se mais verticalmente, portanto, sendo mais expressivos no ângulo de 90°.

Ang.	Abordagem	COR-2	НОМ	DIS	COR-1	CON	CSHA	CPRO
	GLCM	-0,66	0,17	211,96	-10768,39	54048,83	302106	71355330553
0°	SDH Proposto	-0,66	0,17	211,96	-10768,39	54048,83	302106	71355330553
	SDH Unser	N/A	0,17	N/A	-48561,19	54048,83	302106	71355330553
	GLCM	0,45	0,72	70,31	7291,86	17928,34	-7457716	3,06249e+11
45°	SDH Proposto	0,45	0,72	70,31	7291,86	17928,34	-7457716	3,06249e+11
	SDH Unser	N/A	0,72	N/A	5619,54	17928,34	-723434	3,06248e+11
	GLCM	-0,11	0,44	141,65	-1804,25	36120,56	-2313157	1,87944e+11
90°	SDH Proposto	-0,11	0,44	141,65	-1804,25	36120,56	-2313157	1,87944e+11
	SDH Unser	N/A	0,44	N/A	-21668,78	36120,56	-2313157	1,87943e+11
	GLCM	-0,23	0,39	156,41	-3686,08	3988,42	-1105366	1,63468e+11
135°	SDH Proposto	-0,23	0,39	156,41	-3686,08	3988,42	-1105366	1,63468e+11
	SDH Unser	N/A	0,39	N/A	-27314,26	3988,42	-986128	1,63468e+11

Tabela 46. Resultados dos descritores mais expressivos – Experimento 8

Os descritores não discutidos por Unser são marcados como Não Aplicado (N/A)

Fabela 47. Resultados dos descritores mais expr	ressivos –	Experimento 9
---	------------	----------------------

Ang.	Abordagem	COR- 2	НОМ	DIS	COR-1	CON	CSHA	CPRO
	GLCM	-0,85	0,80	235,58	-1378,05	60072,92	5305063	32173992363
0°	SDH Proposto	-0,85	0,80	235,58	-1378,05	60072,92	5305063	32173992363
	SDH Unser	N/A	0,80	N/A	-57597,45	60072,92	5351661	3217466103
	GLCM	-0,08	0,46	137,96	-1333,72	35179,38	-2313131	1,94062e+11
45°	SDH Proposto	-0,08	0,46	137,96	-1333,72	35179,38	-2313131	1,94062e+11
	SDH Unser	N/A	0,46	N/A	-20257,12	35179,38	-2596237	19406208029
	GLCM	0,23	0,62	97,62	3809,78	24892,38	-5630578	2,6096e+11
90°	SDH Proposto	0,23	0,62	97,62	3809,78	24892,38	-5630578	2,6096e+11
	SDH Unser	N/A	0,62	N/A	-4826,63	24892,38	-5819435	2,6096e+11
	GLCM	-0,39	0,31	176,79	-6284,47	45080,88	55028	1,29671e+11
135°	SDH Proposto	-0,39	0,31	176,79	-6284,47	45080,88	55028	1,29671e+11
	SDH Unser	N/A	0,31	N/A	-35109,38	45080,88	55028	1,29671e+11

Os descritores não discutidos por Unser são marcados como Não Aplicado (N/A)

DR-1 CON CSHA CPRO
32,51 63776,98 6344699 8088167826
32,51 63776,98 6344699 8088167826
53,51 63776,98 6344699 8088167826
06,12 51124,19 2499775 9037094819
06,12 51124,19 2499775 9037094819
74,33 51124,19 2433848 90370792188
7,88 12656,19 -953306 3,40534e+11
7,88 12656,19 -953306 3,40534e+11
27,67 12656,19 -953306 3,40534e+11
51,87 53615,69 3267894 74168371974
51,87 53615,69 3267894 74168371974
11,58 53615,69 3213785 74168167023

Tabela 48. Resultados dos descritores mais expressivos – Experimento 10

Os descritores não discutidos por Unser são marcados como Não Aplicado (N/A)





Figura 10. Diferenças entre Unser e Propostas – Experimentos 8, 9 e 10

A diferença dos descritores ao comparar as equações de Unser e as propostas neste estudo com as correspondências na GLCM são consideravelmente diminuídas. Assim como nos demais experimentos, estas diferenças foram totalmente eliminadas ou estão bem próximas à zero. A Figura 10 ilustra esta situação.

6.1.2.2.3 EXPERIMENTOS 11, 12 E 13

Através das mesmas análises realizadas nos experimentos anteriores, foi possível confirmar a expressividade destes descritores para identificação da direção de uma textura. Como esperado, os resultados do Experimento 11 e 13 inclinaram-se a 90° e 135° respectivamente. Os descritores obtidos a partir das texturas do Experimento 12, que tinham direção voltada a 112,5° tiveram maior expressividade no ângulo horizontal de 90°. A Tabela 49 sintetiza os resultados dos descritores COR-2 e HOM nestes experimentos.

Ang.	Abordagam	Experi	mento 11	Experi	imento 12	Experimento 13	
1	Aboraugem	COR-2	НОМ	COR-2	НОМ	COR-2	НОМ
0°	GLCM	-0,96	0,2	-0,85	0,8	-0,66	0,17
Ŭ	SDH	-0,96	0,2	-0,85	0,8	-0,66	0,17
45°	GLCM	-0,65	0,18	-0,39	0,31	-0,23	0,39
	SDH	-0,65	0,18	-0,39	0,31	-0,23	0,39
90°	GLCM	0,61	0,81	0,23	0,62	-0,11	0,44
20	SDH	0,61	0,81	0,23	62	-0,11	0,44
135°	GLCM	-0,57	0,21	-0,08	0,46	0,45	0,72
100	SDH	-0,57	0,21	-0,08	0,46	0,45	0,72

Tabela 49. Resultados dos descritores COR-2 e HOM - Experimentos 11, 12 e 13

Os resultados, apresentados e discutidos nesta seção mostram a correspondência entre as duas abordagens: as mesmas informações obtidas através das matrizes de coocorrência são alcançadas com os SDH, com a vantagem de redução do custo computacional.

Assim como nos experimentos anteriores, o uso das equações propostas neste estudo eliminou ou reduziu significativamente a diferença entre as abordagens. A Figura 11 ilustra esta situação.



Figura 11. Diferenças entre Unser e Propostas – Experimentos 11, 12 e 13 6.2 GRUPO B

As texturas utilizadas nos experimentos deste grupo foram extraídas do repositório de Ponce. Cada textura deste repositório contém uma série de amostras capturadas sob diferentes ângulos. Desse modo é possível realizar análises similares às realizadas no Grupo A, porém, utilizando texturas reais. São observados os padrões de comportamento e dispersão numérica da GLCM e dos SDH e a relação dessas estruturas e seus descritores com os ângulos de cálculo.

Cada experimento foi configurado de forma a conter quatro texturas do mesmo objeto com direções cujos ângulos estão próximos aos ângulos de cálculo da GLCM e dos SDH. Essa configuração permite realizar análises em torno do comportamento e dispersão numérica dos SDH em texturas com direções voltadas a diversos ângulos intermediários aos ângulos de cálculo. Para validação da correspondência entre GLCM e SDH, os resultados destas análises sempre são considerados a partir de comparação com os resultados obtidos nas duas abordagens. Todos os experimentos apresentados neste grupo utilizaram distância de 6 pixels para cálculo da GLCM e dos SDH. Após testes preliminares considerando um conjunto de valores de distâncias, esse valor foi definido, pois foi o que melhor evidenciou os padrões de comportamento na GLCM e, consequentemente, nos SDH.

6.2.1 COMPORTAMENTO DAS ESTRUTURAS

As análises comentadas aqui investigam se a correspondência entre as abordagens também se mantém quando as estruturas são calculadas a partir de texturas reais. Em cada experimento são observados as matrizes e histogramas calculados, seus padrões e dispersão numérica em cada uma das quatro texturas que compõem o experimento. Essas texturas possuem direções intermediárias próximas aos ângulos de cálculo.

6.2.1.1 EXPERIMENTO 14

As texturas utilizadas neste experimento foram capturadas de uma casca de árvore e possuem as seguintes identificações no repositório de Ponce: T01_10, T01_16 e T01_36. representadas neste trabalho como Texturas 40, 41 e 42.

A Textura 40 possui uma direção predominantemente horizontal, com ângulo próximo a 0°. Essa direção também foi constatada pelo experimento através das estruturas da GLCM e dos SDH calculados a partir desta textura. Os valores computados nestas estruturas foram mais expressivos no ângulo de 0°.

Além da dispersão numérica, o padrão de comportamento dos histogramas, discutido nos experimentos do Grupo A se manteve em texturas reais. O conjunto de SDH cujo HS possui dois picos bem definidos nos extremos do histograma e o HD que apresenta maiores frequências nos índices próximos a zero indica a direção predominante da textura. Esse comportamento foi equivalente ao obtido pela GLCM cujos maiores valores estão concentrados na diagonal principal da matriz.

A Tabela 50 mostra os SDH e a GLCM para cada ângulo de cálculo utilizando a Textura 40. É possível observar que o comportamento e dispersão numérica entre as abordagens é equivalente em todos os ângulos de cálculo. Para melhor visualização a GLCM está sendo apresentada em tons de cinza, onde o branco representa os valores mais baixos e preto os valores mais altos.

Dentre os quatro conjuntos de SDH, o conjunto relativo ao ângulo de 0º foi o único que apresentou o padrão de comportamento que indica relação com a direção da textura. Embora todos os quatro Histogramas da Diferença tenham apresentado maior pico em índices próximos

do zero, o histograma relativo a 0° é o que tem pico com maior frequência. Paralelamente, a GLCM calculada em 0° também é a mais expressiva entre as quatro, apresentando concentração de maiores valores próximo à diagonal principal.

Os SDH calculados a partir da Textura 41, que possui direção predominante próxima ao ângulo de 45°, também apresentaram o mesmo padrão de comportamento e dispersão numérica. A Tabela 51 ilustra o comportamento dos SDH e da GLCM para esta textura.

Apesar dos picos do HS não serem tão evidentes como no histograma da textura anterior é possível observar que há uma distribuição de frequências mais expressiva no histograma calculado à 45°. Ademais, dos quatro HD, o relativo a este ângulo é o que apresenta maiores frequências nos índices próximos à zero. Paralelo a isto é possível notar através da GLCM deste ângulo que os maiores valores continuam distribuídos em direção à diagonal principal, porém mais dispersos, evidenciando a correspondência entre as abordagens.



Tabela 50. SDH e GLCM do Experimento 14 – Textura 40



Tabela 51. SDH e GLCM do Experimento 14 – Textura 41

As demais texturas do experimento, Texturas 42 e 43, com direções predominantemente inclinadas à 90° e 135° respectivamente, também apresentaram correspondência no comportamento e dispersão numérica das estruturas da GLCM e SDH. A Tabela 52 apresenta os histogramas e matrizes obtidos das nestas texturas.



Tabela 52. SDH e GLCM do Experimento 14 – Texturas 42 e 43

Os experimentos deste grupo consideraram como pontos principais de análise os padrões e comportamentos numéricos da GLCM e dos SDH em texturas reais. Uma vez que os resultados destes pontos de análise tendam a ser iguais ou similares pode ser dito que as abordagens são equivalentes.

Todos os SDH e GLCM gerados neste experimento podem ser verificados nos Apêndice N deste trabalho.

6.2.1.2 EXPERIMENTO 15

Um outro conjunto de texturas foi utilizado para este experimento. Estas texturas representam um tecido de veludo com relevos contínuos que formam faixas. As texturas selecionadas no repositório possuem as seguintes identificações: T24_16, T24_13, T24_01 e T24_18, aqui representadas como Texturas 44, 45, 46 e 47, respectivamente.

As Texturas 44 e 46 possuem, respectivamente, suas direções inclinadas horizontal e verticalmente, com ângulos próximos a 0° e 90°. Os padrões de comportamento e dispersão numérica nos SDH relativos a essas texturas também são equivalentes. A Tabela 53 mostra o comportamento dos histogramas nestas texturas.



Tabela 53. SDH do Experimento 15 – Texturas 44 e 46

As outras duas texturas, 45 e 47, possuem as suas direções alinhadas diagonalmente, com ângulos próximos aos ângulos de 45° e 135°, respectivamente. A Tabela 54 apresenta o comportamento dos SDH calculados a partir dessas texturas.

Através da Tabela 54 é possível perceber que, embora quase todos os HS calculados a partir da Textura 45 apresentem dois picos em extremos opostos, o histograma relativo a 45° é o que tem a sua formação mais bem definida. Adicionalmente a esta análise, HD deste ângulo é o que apresenta maiores frequências nos índices próximos a zero.



Tabela 54. SDH do Experimento 15 – Textura 45 e 47

Tabela 55. GLCM do Experimento 15

Tex.	Ângulos								
1000	0°	45°	90°	135°					
44									
45									
46									
47									

Além de se obter as mesmas conclusões das texturas anteriores é possível observar a similaridade do padrão de comportamento dos histogramas entre um ângulo e outro: Os SDH de 0°, 45°, 90° e 135° das Texturas 44, 45, 46 e 47 apresentam o mesmo padrão de comportamento. Essa característica também foi vista nas texturas sintéticas.

Todas as análises realizadas nos SDH estão consonantes à GLCM. Os padrões de comportamento e dispersão numérica identificados são equivalentes entre as estruturas. A título de verificação a Tabela 55 apresenta as GLCM obtidas pelas texturas deste experimento.

Todos os SDH e GLCM gerados neste experimento podem ser verificados nos Apêndice O deste trabalho.

6.2.1.3 EXPERIMENTO 16

As texturas deste experimento representam uma parede de tijolos maciços que, assim como as demais, foram capturadas sob diversos ângulos. As texturas selecionadas para este estudo possuem as seguintes identificações: T14_18, T14_37, T14_21 e T14_19, aqui representadas como Texturas 45, 46, 47 e 48.

A Tabela 56 apresenta os resultados obtidos a partir da Textura 45, que possui direção com ângulo mais próximo ao ângulo de 0°. É possível observar que os SDH percebem bem esta inclinação e que os resultados mais expressivos são justamente os resultantes do ângulo de 0°.



Tabela 56. SDH do Experimento 16 – Textura 48

A Textura 49 apresenta um comportamento interessante. A sua direção não está predominantemente inclinada à 45°. O ângulo de inclinação desta textura está entre 0° e 45°. Além disso, em conjunto com demais texturas deste grupo, como se trata de uma parede de tijolos, os espaços verticais entre um tijolo e outro também formam um padrão. Esse padrão, embora menos evidente que o padrão principal, ainda pode ser percebido. A Figura 12. Comportamento da Textura 49 do Experimento 16 mostra essas características na imagem.



Figura 12. Comportamento da Textura 49 do Experimento 16

No lado esquerdo da Figura 12. Comportamento da Textura 49 do Experimento 16 é possível ver que a textura possui uma direção média aos ângulos de 0 e 45°. No extremo direito o padrão formado pelos espaços verticais entre os tijolos é sobreposto com uma linha vermelha para visualização.

Nos experimentos com texturas sintéticas que possuíam direção exatamente intermediária a dois ângulos de cálculo foi possível constatar que os resultados se aproximam para o lado de 0° ou 90°, isto é, tendem a se inclinar horizontal ou verticalmente. Essa característica também foi encontrada nas texturas reais. Embora muito próximos, os resultados obtidos a partir da Textura 49 tenderam para o ângulo de 0°. Tabela 57 mostra os resultados deste experimento nos SDH em comparação com os obtidos pela GLCM.



Tabela 57. SDH e GLCM do Experimento 16 – Textura 49

É possível notar que os resultados se inclinaram levemente para o ângulo de 0°. Isso acontece, pois, o HS calculado neste ângulo possui dois picos mais aos extremos do histograma. Além disso, o HD de 0° possui maiores frequência que os demais. Esses padrões são equivalentes à GLCM, que possui uma sutil maior concentração de valores na diagonal principal no ângulo de 0°.

Através dos SDH calculados a partir das Texturas 50 e 51 também é possível identificar a direção predominante da textura observando o ângulo de cálculo que apresenta resultados mais expressivos. A Tabela 58 mostra os esses resultados.



Tabela 58. SDH do Experimento 16 – Texturas 50 e 51

Todas as estruturas dos SDH deste experimento também estão equivalentes às obtidas a partir da GLCM. A título de verificação todas as GLCM e SDH obtidas pelas nestes experimentos estão no Apêndice P deste trabalho.

6.2.2 COMPORTAMENTO DOS DESCRITORES

As estruturas discutidas na seção anterior também são utilizadas para cálculo dos descritores. Os resultados observados nos descritores calculados no Grupo A (texturas sintéticas) também são observados nos descritores deste grupo, que utilizam texturas reais. A seção a seguir apresenta análises que permitem entender o comportamento e dispersão dos descritores calculados a partir das texturas de Ponce nos Experimentos 14, 15 e 16.

6.2.2.1 EXPERIMENTOS 14, 15 E 16

Assim como apresentado nos experimentos com as texturas sintéticas, dos cinco descritores de Unser que tiveram suas equações adaptadas neste estudo, quatro passaram a apresentar resultados numericamente idênticos a GLCM. O descritor VAR, que antes apresentava diferença na ordem de 10^3 , agora apresenta resultados com uma pequena diferença na ordem de 10^3 .

A Tabela 59 sintetiza os resultados do Experimento 14, Textura 40. Nela são encontrados os resultados para todos os nove descritores que apresentam equações para o SDH baseadas em Unser. É possível observar que a diferença entre as abordagens foi totalmente eliminada nos descritores MED-I, COR-1, CSHA e CPRO. Além disso, a diferença entre as abordagens, no que tange o descritor VAR, foi consideravelmente diminuída. Note que SMA, ENT, HOM e CON não tiveram suas equações adaptadas neste estudo. Os dois primeiros por já apresentarem resultados próximos e os demais por apresentarem resultados numericamente idênticos.

Ang.	Abord.	FWS	ENT	WOH	MED-I	COR-1	VAR	CON	CSHA	CPRO
	GLCM	0,0	4,23	0,05	129,57	1270,46	2092,85	1651,91	-31929,13	90126702,65
0°	SDH Proposto	0.0	47	0.05	129,57	1270,46	2096,42	1651.01	-31929,13	90126702,65
	SDH Unser	0,0	4,/	0,05	129,48	2540,91	4192,82	1031,91	-28322,95	90105191,12
	GLCM	0,0	4,33	0,02	129,58	-105,34	2096,74	4402,03	-34737,07	45433551,07
45°	SDH Proposto	0.0	1.92	0.02	129,58	-105,34	2095,68	4402.02	-34737,07	45433551,07
	SDH Unser	0,0	4,05	0,02	129,56	-210,68	4191,35	4402,03	-34220,07	45427580,46
	GLCM	0,0	4,25	0,01	89,98	-933,76	2505,52	6882,23	-31712,43	25735605,66
°06	SDH Proposto	0.0	1 95	0.01	89,98	-933,76	2507,35	6002 22	-31712,43	25735605,66
	SDH Unser	0,0	4,05	0,01	89,87	-1867,55	5014,68	0002,25	-29640,9	25708682,68
	GLCM	0,0	4,06	0,06	90,0	1969,97	2511,92	1080,88	162796,24	135296604,93
135	SDH Proposto	0.0	156	0.06	90,0	1969,97	2510,41	1000.00	162796,24	135296604,93
	SDH Unser	0,0	4,30	0,06	89,89	3939,92	5020,8	1080,88	168484,23	135436795,8

Tabela 59. Comparações para o Experimento 14 – Textura 40.

O mesmo resultado se manteve para os descritores que tiveram suas equações propostas neste estudo: os descritores COR-2, DIS, MED-J e MED-G calculados a partir das equações propostas apresentam resultados idênticos aos resultados obtidos a partir da GLCM. Considerando a grandeza de cada descritos, a diferença obtida entre as duas abordagens para os descritores ENE e DPA-J são consideravelmente pequenas e bem próximas de zero. A Tabela 60 apresenta estes resultados.

Ang.	Abordagem	ENE	COR-2	DIS	MED-J	MED-G	DPA-J
0°	GLCM	0,01	0,61	29,52	129,39	258,97	2099,95
	SDH Proposto	0,01	0,61	29,52	129,39	258,97	2096,42
45°	GLCM	0,01	-0,05	54,29	129,54	259,13	2094,61
	SDH Proposto	0,0	-0,05	54,29	129,54	259,13	2095,68
90°	GLCM	0,01	-0,03	53,82	129,31	258,84	2100,13
	SDH Proposto	0,0	-0,03	53,82	129,31	258,84	2097,71
135°	GLCM	0,01	-0,06	54,57	129,36	259,12	2101,84
	SDH Proposto	0,0	-0,06	54,57	129,36	259,12	2096,03

Tabela 60. Comparações para o Experimento 14 – Descritores propostos

Esta condição se repete para todas as demais texturas do Experimento 14. A Tabela 61 apresenta as diferenças para os descritores em cada imagem deste experimento. Os valores apresentados pelos descritores ENE e DPA-J dizem respeito a uma média das diferenças obtidas no cálculo de cada um dos quatro ângulos.

Tabela 61. Diferença a partir dos descritores propostos – Experimento 14

	Tex.	ENE	COR-2	DIS	MED-J	MED-G	DPA-J
GLCM x SDH	40	0,011	S/D	S/D	S/D	S/D	3,20
	41	0,013	S/D	S/D	S/D	S/D	2,34
	42	0,012	S/D	S/D	S/D	S/D	3,36
	43	0,011	S/D	S/D	S/D	S/D	3,44

Os descritores que apresentam resultados idênticos são marcados como sem diferença, S/D.

Os Experimentos 15 e 16 também apresentaram resultados idênticos para quatro dos seis descritores que tiveram suas equações propostas neste estudo. Os demais, assim como nos experimentos anteriores, apresentaram diferenças bem pequenas considerando a grandeza do descritor. As Tabela 62 e Tabela 63 apresentam estes resultados para os Experimentos 15 e 16. Os valores apresentados nas tabelas também são computados considerando uma média de todas as diferenças obtidas no cálculo de cada um dos quatro ângulos.

Tabela 62. Diferença a partir dos descritores propostos – Experimento 15

	Tex.	ENE	COR-2	DIS	MED-J	MED-G	DPA-J
GLCM x SDH	44	0,001	S/D	S/D	S/D	S/D	2,41
	45	0,014	S/D	S/D	S/D	S/D	2,16
	46	0,011	S/D	S/D	S/D	S/D	1,84
	47	0,011	S/D	S/D	S/D	S/D	2,95

Os descritores que apresentam resultados idênticos são marcados como sem diferença, S/D.

	Tex.	ENE	COR-2	DIS	MED-J	MED-G	DPA-J
GLCM x SDH	48	0,013	S/D	S/D	S/D	S/D	3,20
	49	0,001	S/D	S/D	S/D	S/D	2,34
	50	0,011	S/D	S/D	S/D	S/D	3,36
	51	0,011	S/D	S/D	S/D	S/D	3,44

Tabela 63. Diferença a partir dos descritores propostos – Experimento 16

Os descritores que apresentam resultados idênticos são marcados como sem diferença, S/D.

Assim como no Experimento 14, considerando os cinco descritores baseados em Unser que tiveram suas equações adaptadas neste estudo, somente o descritor VAR não apresenta resultados idênticos nos Experimentos 15 e 16. Contudo esta diferença foi significativamente diminuída. A Tabela 64 apresenta os resultados de diferença para o descritor comparando as duas abordagens, nos Experimentos 14, 15 e 16. Os valores apresentados também se referem a uma média das diferenças obtidas no cálculo de cada ângulo.

Ang.	Abordagam	Descritor VAR					
1	Abbruugem	Experimento 14	Experimento 15	Experimento 16			
0°	GLCM x SDH Proposto	3,27	2,39	3,27			
-	GLCM x Unser	2099,16	2499,57	2099,16			
45°	GLCM x SDH Proposto	2,26	2,13	2,26			
	GLCM x Unser	2062,10	3096,52	2062,10			
90°	GLCM x SDH Proposto	3,40	1,68	3,40			
	GLCM x Unser	2171,03	18881,69	2171,03			
135°	GLCM x SDH Proposto	3,54	2,96	3,54			
	GLCM x Unser	21,50	2509,51	2150,40			

Tabela 64. Comparações de resultados para VAR – Experimentos 14, 15 e 16

A Figura 13 apresenta todos os sete descritores que numericamente não possuíam resultados idênticos aos obtidos pela GLCM (5 dos baseados em Unser e 2 das equações propostas neste estudo). Através dessas imagens também é possível observar que a diferença entre as abordagens reduziu significativamente, chegando a zero ou muito perto de zero em todos os descritores.



Figura 13. Diferenças entre Unser e Propostas – Experimentos 14, 15 e 16

CAPÍTULO 7 – CONCLUSÕES

Os experimentos realizados e discutidos neste trabalho mostram a correspondência entre as equações computacionais dos descritores de textura da GLCM e do SDH. Em todos os casos discutidos aqui, as diferenças entre os descritores diminuíram ou são completamente eliminadas após o uso das equações propostas.

Os experimentos do Grupo A utilizaram texturas binárias com diferentes tamanhos de textons e orientações. Através destes experimentos foram observados o padrão de comportamento das estruturas da GLCM e SDH e os resultados numéricos dos seus descritores. Foi possível entender a maneira como as estruturas da GLCM, dos SDH e seus descritores funcionam e quais são os resultados obtidos por ambas. Os experimentos do Grupo A permitiram ainda observar que as abordagens apresentam resultados são similares quando um mesmo tipo de textura apresenta versões com variações no tamanho do texton.

As texturas de Lazebnik utilizadas no Grupo B permitiram validar em texturas reais as mesmas conjecturas investigadas nas texturas sintéticas, isto é, como as estruturas do SDH e seus descritores se comportam. Foi possível observar que, assim como a GLCM, os SDH calculados a partir do ângulo mais próximo do ângulo da textura se destacam em relação aos demais.

Os resultados deste estudo mostraram que o uso dos SDH não implica qualquer desvantagem sobre a GLCM. Embora alguns descritores não tenham valores numericamente idênticos, a diferença entre eles não altera o seu padrão de comportamento. Isso significa que quaisquer atividades computacionais que usem descritores de textura calculadas a partir do GLCM podem considerar o uso dos mesmos descritores dos SDH sem impacto negativo no resultado da atividade.

As adaptações propostas nos descritores de Unser (1986) fazem com que o número de descritores que não possuem valores numericamente idênticos à GLCM diminua de cinco para um. Com isso, os descritores COR-1, CSHA, CPRO e MED-I calculados a partir dos SDH passaram a apresentar exatamente o mesmo valor dos correspondentes na GLCM. Já a VAR, que antes apresentava um delta de diferença entre as duas abordagens na casa de milhares (10³), agora apresenta resultados numéricos muito próximos à correspondência na GLCM. A diferença para este descritor entre a GLCM e os SDH é de centésimos (10⁻¹). Essa redução chega a ser de aproximadamente 98%.

O trabalho também contribuiu para a discussão de seis outros descritores, apresentando equações de correspondência com a GLCM: ENE, COR-2, DIS, MED-J, MED-G e DPA-J.

Quatro destes descritores apresentam resultados idênticos aos resultados calculados a partir da matriz de coocorrência: COR-2, DIS, MED-J e MED-G. Os outros dois descritores, ENE e DPA-J, apresentam resultados similares, sem comprometer o padrão de comportamento.

Através dos experimentos também foi possível observar que alguns descritores se mostram mais expressivos que outros: COR-1, COR-2, HOM, DIS, CON, CSHA e CPRO. Observando individualmente os resultados destes descritores, para cada ângulo de cálculo, é possível identificar que um ângulo se destaca em relação aos demais, apresentando resultados mais expressivos. Este ângulo de cálculo representa a direção predominante da textura em questão.

Os SDH não apenas mostraram o mesmo padrão de comportamento, mas também mostraram ser mais eficientes do que a GLCM do ponto de vista computacional. Todos os descritores calculados a partir do SDH possuem assintoticamente, complexidade linear de O(N). Em contraste, os mesmos descritores, quando obtidos da GLCM, possuem assintoticamente, complexidade quadrática de O (N²). Isso mostra que os SDH discutidos neste trabalho também contribuem para a melhoria do processo computacional. O cálculo dos descritores torna-se mais eficiente, pois utiliza menos recursos computacionais e menos tempo de processamento.

Outro ponto interessante em relação ao uso dos SDH diz respeito à sua simplicidade teórica, quando comparado com a GLCM. Os SDH, por serem lineares, são muito mais simples de serem entendidos teoricamente, permitindo uma implementação mais básica em qualquer linguagem de programação ou com o uso de qualquer ferramenta computacional disponível atualmente.

Vários tipos de texturas foram considerados neste estudo e os resultados mostram que as equações de correspondência propostas se comportam igual a GLCM tanto em imagens sintéticas quanto em imagens reais.

A correspondência entre as abordagens também pode ser notada através de texturas com diferentes escalas. As texturas sintéticas foram compostas de forma a apresentarem três pontos de vista diferentes da mesma textura, representando visualmente, três diferentes escalas para o mesmo tipo de textura. Já as texturas reais, obtidas do repositório de Lazebnik, representam diversas amostras do mesmo tipo de textura. Essas amostras, naturalmente, estão dispostas em diferentes escalas. Independentemente do tipo de textura ou escala utilizada, os SDH se mostraram equivalentes à GLCM.

Os SDH também se mostraram equivalentes à GLCM mesmo quando os dados das suas estruturas não são normalizados. Os resultados dos experimentos, apresentados de forma absoluta e em forma de probabilidade, mostraram que o comportamento entre as abordagens não é impactado quando a estrutura de dados é ou não normalizada. Em ambas as situações as estruturas se mantêm equivalentes.

Embora os SDH e a GLCM possuam estruturas de dados diferentes, respectivamente lineares e bidimensionais, foi possível notar que as abordagens se comportam de forma similar no que diz respeito ao armazenamento dos dados de relacionamento entre os tons de cinza de uma imagem. A soma de todas as frequências de cada histograma é equivalente à soma de todas as células da GLCM, mesmo quando as estruturas não são dadas em probabilidades ou percentagens, isto é, não são normalizadas antes do cálculo dos descritores.

Um ponto interessante, constatado a partir deste estudo, é o fato de os SDH, assim como a GLCM, serem capazes de apontar a direção predominante da textura a partir do seu comportamento. Por se tratar de estruturas diferentes, naturalmente essa característica é expressa também de forma diferente. Contudo, o comportamento da GLCM, onde as células de maiores valores estão concentradas na diagonal principal da matriz, é traduzido nos SDH através da análise individual de cada histograma. O HS tende a apresentar picos com maiores frequências nos extremos do histograma. Já o HD apresenta um pico com maior frequência nos índices próximos a zero, isto é, no centro do histograma.

7.1 TRABALHOS FUTUROS

No prosseguimento deste trabalho pode-se utilizar para experimentos outros repositórios texturas sintéticas que apresentem outros padrões, além de faixas lineares. Isso permitirá investigar a existência de outros padrões de comportamento, em cada abordagem, para outros tipos de texturas. Na existência destes padrões, será possível ainda explorar a correspondência entre as duas abordagens no que tange os padrões de comportamento.

É possível também aliar ao custo computacional outras medidas de consumo de memória e tempo de processamento para a construção e leitura das estruturas da GLCM e SDH e cálculo dos seus descritores. Esse conjunto de medidas pode apresentar mais detalhadamente o desempenho de cada abordagem.

Outro ponto interessante a se investigar diz respeito ao uso de algoritmos de aprendizado de máquina para comparar o desempenho dos descritores que apresentam valores similares, mas não idênticos entre as duas abordagens. O principal objetivo deste tipo de experimentos é observar se os descritores calculados a partir dos SDH são capazes de apresentar o mesmo comportamento dos seus correspondentes na GLCM quando submetidos a algoritmos de aprendizado de máquina. É possível avaliar ainda o desempenho destes descritores em

diferentes algoritmos, como a Máquina de Vetores de Suporte (*Support Vector Machines - SVM*) (CHANG; LIN, 2011; VAPNIK, 1995) e redes neurais como a *Perceptrom* Multicamadas (*Multilayer Perceptron - MLP*) (ROSENBLATT, 1958; WHITE; ROSENBLATT, 1963), ambos amplamente utilizados em trabalhos da literatura (GIL; JOHNSSON, 2010; SUGANYA; KIRUBAKARAN, 2014; SEWAK *et al.*, 2007; SORIA *et al.*, 2008; VAIDYA; YU; JIANG, 2008).

Experimentos neste sentido, utilizando parte das equações propostas neste estudo, começaram a ser investigados em ARAUJO *et al.* (2018). Estes experimentos utilizaram, além das imagens de Lazebnick, algumas texturas de Brodatz (1966) para avaliar a correspondência dessas equações. Contudo diversos outros métodos de aprendizado de máquina, como citados no parágrafo anterior, podem ser inseridos nestes experimentos. Ainda no contexto de aprendizado de máquina, é possível avaliar o quão os descritores similares, mas não idênticos são importantes em relação aos demais. Neste caso, um dos experimentos possíveis diz respeito a utilizar bases de características formadas por todos os descritores (idênticos ou não) e avaliar o desempenho destes algoritmos para nestas bases. Ou ainda utilizar técnicas de seleção de atributos para determinar quais descritores são mais importantes (TAN *et al.*, 2008; YANG; HONAVAR, 1997).

Os próximos passos deste estudo podem prover comparações no cálculo dos SDH com versões dos SDH que trabalham como análises de texturas em tempo real. Ainda é possível comparar o desempenho dos SDH com descritores calculados a partir de outras técnicas como, Padrões Binários Locais (*Local Binary Patterns – LBP*) (HE; WANG, 1990). Essas comparações poderão observar não só o custo computacional e comportamento numérico, mas também o desempenho ao utilizar algoritmos de classificação.

No que tange a comparação dos padrões entre as duas abordagens, é possível ainda realizar estudos com o objetivo de realizar tais comparações numericamente, e não apenas visualmente. Estas comparações podem enriquecer estes experimentos, permitindo comparar as abordagens em maior número.

Por fim, outros estudos poderiam ser realizados comparando os SDH com versões da matriz de coocorrência que computam informações de relacionamento entre os pixels baseandose em imagens coloridas também podem ser realizados. Os resultados destes estudos permitiram avaliar a viabilidade desta abordagem neste tipo de imagem, e, por sua vez, aferir se os descritores discutidos neste estudo necessitariam de novas adaptações.

REFERÊNCIAS

ARAUJO, A. S.; CONCI, A.; RESMINI, R.; MORAN, M. B. H. Comparing the Use of Sum and Difference Histograms and Gray Levels Occurrence Matrix for Texture Descriptors. International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN), Rio de Janeiro, 2018.

ARAUJO, A. S.; CONCI, A.; RESMINI, R.; MUCHALUAT-SAADE, D. C.; MORAN, M. B. H. *On Computation of Texture Descriptor from Sum and Difference Histograms*. 25° International Conference on Systems, Signal and Image Processing (IWSSIP), Maribor, Eslovênia, 2018.

ARAUJO, A. S.; CONCI, A.; RESMINI, R.; MORAN, M. B. H.; MELO, R. H. C. *On Efficient Computation of Texture Descriptors from Sum and Difference Histograms Considering the Scales of Patterns.* 15° International Conference on Computer Systems and Applications (AICCSA), Aqaba, Jordan, 2018.

BARALDI, A.; PARMIGGIANI, F. *Investigation of the textural characteristics associated with gray level cooccurrence matrix statistical parameters*. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, v. 33, n. 2, p. 293–304, 1995.

BASTOS, L. D. O.; LIATSIS, P.; CONCI, A. Automatic texture segmentation based on kmeans clustering and efficient calculation of co-occurrence features. 15° International Conference on Systems, Signal and Image Processing (IWSSIP), p. 141–144, 2008

BORCHARTT, T. B.; CONCI, A.; LIMA, R. C. F.; RESMINI, R.; SANCHEZ, A. *Breast thermography from an image processing viewpoint: A survey*. Signal Processing, v. 93, n. 10, p. 2785–2803, 2013.

BRODATZ, P. Textures: A Photographic Album for Designers and Artists, 1966.

CHANG, C.-C.; LIN, C.-J. *LIBSVM*. ACM Transactions on Intelligent Systems and Technology, v. 2, n. 3, p. 1–27, 2011.

CONCI, A.; AZEVEDO, E.; LETA, F. Computação Gráfica Teoria E Prática, 2003.

DUBEY, S. R.; JALAL, A. S. *Fruit disease recognition using improved sum and difference histogram from images*. International Journal of Applied Pattern Recognition, v. 1, n. 2, p. 199, 2014.

EBERT, D. S.; MUSGRAVE, F. K.; PEACHEY, D.; PERLIN, K.; WORLEY, S. *Texturing and modeling: a procedural approach*, 2002.

GIL, D.; JOHNSSON, M. Supervised SOM Based Architecture versus Multilayer Perceptron and RBF Networks. Proc. of the. Linköping Electronic Conf, p. 15–24, 2010.

GONZALEZ, R. C.; WOODS, R. E. Processamento de imagens digitais, 2000.

HARALICK, R. M.; SHANMUGAM, K.; DINSTEIN, I. Textural Features for Image Classification. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, v. SMC-3, n. 6, p. 610–621, 1973.

HE, D. C.; WANG, L. *Texture Unit, Texture Spectrum, and Texture Analysis*. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, v. 28, n. 4, p. 509–512, 1990.

IBARRA-MANZANO, M. A.; ALMANZA-OJEDA, D. L.; LÓPEZ-HERNÁNDEZ, J. M. Design and optimization of real-time texture analysis using sum and difference histograms implemented on an FPGA, p. 325–330, 2010.

JULESZ, B. *Textons, the elements of texture perception, and their interactions*. Nature, v. 290, n. 5802, p. 91–97, 1981.

KNUTH, D. E. Mathematical Analysis of Algorithms, p. 135–143, 1971.

KOKARE, M.; CHATTERJI, B. N.; BISWAS, P. K. Comparison of similarity metrics for texture image retrieval, 2003.

LAZEBNIK, S.; SCHMID, C.; PONCE, J. A sparse texture representation using local affine regions. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2005.

LIPARI, C. A.; HEAD, J. F. Advanced infrared image processing for breast cancer risk assessment. Engineering in Medicine and Biology Society, p. 673–676, 1997.

MINARNO, A. E.; MUNARKO, Y.; KURNIAWARDHANI, A.; BIMANTORO, F. Classification of Texture Using Multi Texton Histogram and Probabilistic Neural Network, 2016.

NEPOMNIACHTCHI, G.; KLIATSKINE, V.; KOTOVICH, N. Systems and methods for classifying payment documents during mobile image processing, 2016.

NISWANTI, Z. Pengenalan Pola Tekstur Brodatz Dengan Metode Jarak Euclidean. Faktor Exacta, v. 5, p. 243–253, 2010.

PARK, T. S.; LI, W.; MCCRACKEN, K. E.; YOON, J.-Y. Smartphone quantifies Salmonella from paper microfluidics. Lab on a Chip, v. 13, n. 24, p. 4832, 2013.

PARKER, J. R. Algorithms for Image Processing and Computer Vision. Vasa, p. 504, 1997.

PEDRINI, H.; SCHWARTZ, W. Análise de imagens digitais: princípios algoritmos e aplicações, Thomson Learning, 2008.

QIN, C.; BAO, X. TagSense : A Smartphone-based Approach to Automatic Image Tagging. Interfaces, p. 1–14, 2011.

R. SUGANYA, R. KIRUBAKARAN, S. R. *Computational Intelligence, Cyber Security and Computational Models*. Advances in Intelligent Systems and Computing, v. 246, p. 155–162, 2014.

RAGHUWANSHI, G.; TYAGI, V. *Texture image retrieval using adaptive tetrolet transforms*. Digital Signal Processing, v. 48, p. 50–57, 2016.

RESMINI, R.; CONCI, A.; DA SILVA, L. F.; SEQUEIROS, G. O.; ARAÚJO, F.; DE ARAÚJO, C.; DOS SANTOS ARAÚJO, A.; RODRÍGUEZ-RAMOS, R.; LEBON, F. *Application of Infrared Images to Diagnosis and Modeling of Breast*, p. 159–173, 2017.

ROSENBLATT, F. The perceptron: A probabilistic model for information storage and organization. Psychological Review, v. 65, n. 6, p. 386–408, 1958.

RUBIN, T. Analysis of radar image texture with variograms and other simplified descriptor, p. 185–198, 1990.

RUIZ, L. A.; RECIO, J. A.; FERNÁNDEZ-SARRÍA, A.; HERMOSILLA, T. *A feature extraction software tool for agricultural object-based image analysis.* Computers and Electronics in Agriculture, v. 76, n. 2, p. 284–296, 2011.

SCIAMMARELLA, C. A. *The moiré method - A review*. Experimental Mechanics, v. 22, n. 11, p. 418–433, 1982.

SEWAK, M.; VAIDYA, P.; CHAN, C. C.; DUAN, Z. H. SVM approach to breast cancer classification, p. 32–37, 2007.

SOOMRO, M. H.; GIUNTA, G.; LAGHI, A.; CARUSO, D.; CIOLINA, M.; MARCHIS, C. DE; CONFORTO, S.; SCHMID, M. Haralick's Texture Analysis Applied to Colorectal T2-Weighted MRI: A Preliminary Study of Significance for Cancer Evolution, p. 16–19, 2017.

SORIA, D.; GARIBALDI, J. M.; BIGANZOLI, E.; ELLIS, I. O. *A Comparison of Three Different Methods for Classification of Breast Cancer Data*. 2008 Seventh International Conference on Machine Learning and Applications, p. 619–624, 2008.

SZARKA, M.; GUTTMAN, A. Smartphone Cortex Controlled Real-Time Image Processing and Reprocessing for Concentration Independent LED Induced Fluorescence Detection in Capillary Electrophoresis. Analytical Chemistry, v. 89, n. 20, p. 10673–10678, 2017.

SZWARCFITER, J. L.; MARKENZON, L. Estruturas de dados e seus algorithmos, 1994.

TAHIR, M. A.; BOURIDANE, A.; KURUGOLLU, F.; AMIRA, A. Accelerating the computation of GLCM and Haralick texture features on reconfigurable hardware. 2004 International Conference on Image Processing 2004 ICIP 04, 2004

TAN, F.; FU, X.; ZHANG, Y.; BOURGEOIS, A. G. A genetic algorithm-based method for *feature subset selection*. Soft Computing - A Fusion of Foundations, Methodologies and Applications, v. 12, n. 2, p. 111–120, 2008.

UNSER, M. Sum and Difference Histograms for Texture Classification. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, v. PAMI-8, n. 1, p. 118–125, 1986.

VAIDYA, J.; YU, H.; JIANG, X. Privacy-preserving SVM classification, p. 161–178, 2008.

VAPNIK, V. Support vector machine. Machine learning, v. 20, n. 3, p. 273-297, 1995.

WATT, A. H.; POLICARPO, F. The Computer Image, 1998.

WHITE, B. W.; ROSENBLATT, F. *Principles of Neurodynamics: Perceptrons and the Theory of Brain Mechanisms*. The American Journal of Psychology, v. 76, n. 4, p. 705, 1963.

WIBMER, A.; HRICAK, H.; GONDO, T.; MATSUMOTO, K.; VEERARAGHAVAN, H.; FEHR, D.; ZHENG, J.; GOLDMAN, D.; MOSKOWITZ, C.; FINE, S. W.; REUTER, V. E.;

EASTHAM, J.; SALA, E.; VARGAS, H. A. *Haralick texture analysis of prostate MRI: utility for differentiating non-cancerous prostate from prostate cancer and differentiating prostate cancers with different Gleason scores.* European Radiology, v. 25, n. 10, p. 2840–2850, 2015.

YANG, J.; HONAVAR, V. Feature Subset Selection Using a Genetic Algorithm Feature Subset Selection Using A Genetic Algorithm Feature Subset Selection Using A Genetic Algorithm. Computer Science Technical Reports. Paper, v. 156, 1997.

APÊNDICE A – SDH E GLCM DO EXPERIMENTO 1

As tabelas deste apêndice apresentam todos SDH e GLCM computados a partir do Experimento 1 e suas texturas.



Tabela Ap. 1. SDH do Experimento 1

GLCM									
ÂNG.			1	TEXTU	RAS		-		
					2	_	2		
00	0.5	0.0		0.5	0.0	0.5	0.0		
	0.0	0.5		0.0	0.5	0.0	0.5		
45°	0.0	0.5039		0.0	0.5079	0.0	0.5161		
	0.496	0.0		0.492	0.0	0.4838	0.0		
	0.0	0.5039		0.0	0.5079	0.0	0.5161		
90	0.496	0.0		0.492	0.0	0.4838	0.0		
135°	0.0	0.5039		0.0	0.5079	0.0	0.5161		
	0.496	0.0		0.492	0.0	0.4838	0.0		

Tabela Ap. 2. GLCM do Experimento 1

APÊNDICE B – SDH E GLCM DO EXPERIMENTO 2

As tabelas deste apêndice apresentam todos SDH e GLCM computados a partir do Experimento 2 e suas texturas.



Tabela Ap. 3. SDH do Experimento 2

GLCM									
ÂNG	ÂNG. TEXTURAS								
ANU.	<i>T1</i>			Τ	2	<u>T4</u>			
00	0.1425	0.3534		0.1424	0.3534	-	0.1422	0.354	
0	0.3536	0.1503		0.3539	0.1502		0.3535	0.15	
A50	0.496	0.0		0.496	0.0		0.4959	0.0	
45	0.0	0.5039		0.0	0.5039		0.0	0.504	
000	0.1425	0.3534		0.1424	0.3534		0.1422	0.354	
90	0.3536	0.1503		0.3539	0.1502		0.3535	0.15	
1250	0.2032	0.2926		0.2034	0.2922		0.2038	0.2926	
135°	0.293	0.211		0.293	0.2112		0.2918	0.2116	

Tabela Ap. 4. GLCM do Experimento 2

APÊNDICE C – SDH E GLCM DO EXPERIMENTO 3

As tabelas deste apêndice apresentam todos SDH e GLCM computados a partir do Experimento 3 e suas texturas.



Tabela Ap. 5. SDH do Experimento 1

GLCM									
ÂNG.				1	TEXTU	RAS			
			1				2		
0°		0.0	0.5039		0.0	0.5079		0.0	0.5161
		0.496	0.0		0.492	0.0		0.4838	0.0
45°		0.0	0.5039		0.0	0.5079		0.0	0.5161
		0.496	0.0		0.492	0.0		0.4838	0.0
		0.5	0.0		0.5	0.0		0.5	0.0
90		0.0	0.5		0.0	0.5		0.0	0.5
135°		0.0	0.5039		0.0	0.5079		0.0	0.5161
		0.496	0.0		0.492	0.0		0.4838	0.0

Tabela Ap. 6. GLCM do Experimento 1

APÊNDICE D – SDH E GLCM DO EXPERIMENTO 4

As tabelas deste apêndice apresentam todos SDH e GLCM computados a partir do Experimento 4 e suas texturas.



Tabela Ap. 7. SDH do Experimento 4

GLCM									
ÂNC	ÂNG. TEXTURAS								
ANO.		<i>T1</i>			1	72	<i>T4</i>		
0°		0.1425	0.3534		0.1424	0.3534		0.1422	0.354
		0.3536	0.1503		0.3539	0.1502		0.3535	0.15
45°		0.2032	0.293		0.2034	0.293		0.2038	0.2918
		0.2926	0.211		0.2922	0.2112		0.2926	0.2116
90°		0.1425	0.3536		0.1424	0.3539		0.1422	0.3535
		0.3534	0.1503		0.3534	0.1502		0.354	0.15
135°		0.496	0.0		0.496	0.0		0.4959	0.0
		0.0	0.5039		0.0	0.5039		0.0	0.504

Tabela Ap. 8. GLCM do Experimento 4

APÊNDICE E – SDH E GLCM DO EXPERIMENTO 5

As tabelas deste apêndice apresentam todos SDH e GLCM computados a partir do Experimento 5 e suas texturas.

	SDH									
ÂNG		TEXTURAS								
•	1	2	2							
0°	HISTOGRAMA DA SOMA	HISTOGRAMA DA SOMA	HISTOGRAMA DA SOMA							
	1.0		4.0							
	0.5	- 0.5	0.5							
	0.0		0.0 0 255 510							
	HISTOGRAMA DA DIFERENÇA	HISTOGRAMA DA DIFERENÇA	HISTOGRAMA DA DIFERENÇA							
	1.0		1.0							
	0.5 -	- 0.5 -	0.5							
	0.0									
		5 -255 0 255								
45°										
	0.5	0.5	0.5							
	0.0 0 255 5		0.0 1 1 1							
	HISTOGRAMA DA DIFERENÇA	HISTOGRAMA DA DIFERENÇA	HISTOGRAMA DA DIFERENÇA							
		0.5	0.5							
		5 0.0,255 0 255								
90°										
	0.5	0.5	0.5							
	0.0		0.0 0 255 510							
	HISTOGRAMA DA DIFERENÇA	1.0 HISTOGRAMA DA DIFERENÇA	HISTOGRAMA DA DIFERENÇA							
	0.5	0.5	0.5							
135°			1.0							
	0.5	0.5	0.5							
	1.0 HISTOGRAMA DA DIFERENÇA	HISTOGRAMA DA DIFERENÇA	1.0							
	0.5	0.5	0.5							
	0.0-255 0 25	5 0.0 -255 0 255	0.0_255 0 255							

Tabela Ap. 9. SDH do Experimento 5

GLCM									
ÂNG	TEXTURAS								
711/01					2		2		
0°	0.4006	0.0973		0.4017	0.0973		0.402	0.0974	
	0.0973	0.4047		0.0972	0.4037		0.0975	0.403	
45°	0.1048	0.393		0.1059	0.3927		0.1063	0.3934	
	0.3931	0.1089		0.3932	0.1079		0.3926	0.1074	
0.00	0.0075	0.4904		0.0086	0.49		0.0089	0.4906	
90	0.4904	0.0116		0.4905	0.0106		0.4904	0.0099	
135°	0.0856	0.4123		0.0866	0.4121		0.0874	0.4123	
	0.4122	0.0897		0.4125	0.0886		0.4116	0.0885	

Tabela Ap. 10. GLCM do Experimento 5

APÊNDICE F – SDH E GLCM DO EXPERIMENTO 6

As tabelas deste apêndice apresentam todos SDH e GLCM computados a partir do Experimento 6 e suas texturas.



Tabela Ap. 11. SDH do Experimento 6
	GLCM									
ÂNG.		,		TEXTU	<u>RAS</u>					
	1				2			2		
00	0.3065	0.1914		0.3075	0.191		0.308	0.1915		
0	0.1913	0.3106		0.1917	0.3097		0.1912	0.3091		
150	0.2274	0.2704		0.2282	0.271		0.2289	0.2704		
43	0.2705	0.2315		0.2702	0.2304		0.2705	0.23		
0.00	0.0359	0.4618		0.0368	0.462		0.0375	0.4616		
90°	0.4619	0.0401		0.4619	0.0391		0.4621	0.0386		
135°	0.1512	0.3466		0.1522	0.3463		0.1527	0.3467		
	0.3466	0.1554		0.347	0.1544		0.3465	0.1538		

Tabela Ap. 12. GLCM do Experimento 6

APÊNDICE G – SDH E GLCM DO EXPERIMENTO 7

As tabelas deste apêndice apresentam todos SDH e GLCM computados a partir do Experimento 7 e suas texturas.



Tabela Ap. 13. SDH do Experimento 7

	GLCM									
ÎNG				TEXTUR	AS					
ANU.	1	71		7	72	1	<u>[</u> 4			
	0.2204	0.2776		0.2212	0.2777	0.2217	0.2782			
U	0.2778	0.2241		0.2777	0.2232	0.2774	0.2226			
150	0.3602	0.1378		0.3609	0.138	0.3615	0.1378			
43	0.1378	0.364		0.1379	0.363	0.138	0.3625			
0.00	0.0825	0.4156		0.0832	0.4157	0.0836	0.4158			
90	0.4156	0.0862		0.4157	0.0851	0.4158	0.0846			
135°	0.1914	0.3066		0.1925	0.3063	0.1931	0.3063			
	0.3067	0.1951		0.3065	0.1945	0.3063	0.1941			

Tabela Ap. 14 GLCM do Experimento 7

APÊNDICE H – SDH E GLCM DO EXPERIMENTO 8

As tabelas deste apêndice apresentam todos SDH e GLCM computados a partir do Experimento 8 e suas texturas.



Tabela Ap. 15. SDH do Experimento 8

	GLCM									
ÎNC				TEXTU	RAS					
ANG.	<i>T1</i>			7	72	<i>T4</i>				
	0.0825	0.4156		0.0832	0.4157		0.0836	0.4158		
0	0.4156	0.0862		0.4157	0.0851		0.4158	0.0846		
	0.3602	0.1378		0.3609	0.1379		0.3615	0.138		
43	0.1378	0.364		0.138	0.363		0.1378	0.3625		
0.00	0.2204	0.2776		0.2212	0.2777		0.2217	0.2782		
90°	0.2778	0.2241		0.2777	0.2232		0.2774	0.2226		
135°	0.1914	0.3066		0.1925	0.3063		0.1931	0.3063		
	0.3067	0.1951		0.3065	0.1945		0.3063	0.1941		

Tabela Ap. 16. GLCM do Experimento 8

APÊNDICE I – SDH E GLCM DO EXPERIMENTO 9

As tabelas deste apêndice apresentam todos SDH e GLCM computados a partir do Experimento 9 e suas texturas.



Tabela Ap. 17. SDH do Experimento 9

	GLCM									
ÂNC			TEXTU	RAS						
ANG.	7	71	1	72	1	<u>7</u> 4				
0°	0.0359	0.4618	0.0368	0.462	0.0375	0.4616				
	0.4619	0.0401	0.4619	0.0391	0.4621	0.0386				
450	0.2274	0.2705	0.2282	0.2702	0.2289	0.2705				
	0.2704	0.2315	0.271	0.2304	0.2704	0.23				
00º	0.3065	0.1914	0.3075	0.191	0.308	0.1915				
90	0.1913	0.3106	0.1917	0.3097	0.1912	0.3091				
135°	0.1512	0.3466	0.1522	0.3463	0.1527	0.3467				
	0.3466	0.1554	0.347	0.1544	0.3465	0.1538				

Tabela Ap. 18. GLCM do Experimento 9

APÊNDICE J – SDH E GLCM DO EXPERIMENTO 10

As tabelas deste apêndice apresentam todos SDH e GLCM computados a partir do Experimento 10 e suas texturas.



Tabela Ap. 19. SDH do Experimento 10

	GLCM									
ÂNG.			TEXTU	IRAS	1					
	7	1	1	[2	<u>T4</u>					
0°	0.0075	0.4904	0.0086	0.49	0.0089	0.4906				
	0.4904	0.0116	0.4905	0.0106	0.4904	0.0099				
	0.1048	0.3931	0.1059	0.3932	0.1063	0.3926				
43	0.393	0.1089	0.3927	0.1079	0.3934	0.1074				
000	0.4006	0.0973	0.4017	0.0973	0.402	0.0974				
90	0.0973	0.4047	0.0972	0.4037	0.0975	0.403				
1250	0.0856	0.4123	0.0866	0.4121	0.0874	0.4123				
135°	0.4122	0.0897	0.4125	0.0886	0.4116	0.0885				

Tabela Ap. 20. GLCM do Experimento 10

APÊNDICE K – SDH E GLCM DO EXPERIMENTO 11

As tabelas deste apêndice apresentam todos SDH e GLCM computados a partir do Experimento 11 e suas texturas.



Tabela Ap. 21. SDH do Experimento 11

	GLCM									
ÂNG			TEXTU	URAS	-					
лю.	7	<u> </u>	7	<u> </u>	7	<u> </u>				
	0.0075	0.4904	0.0086	0.49	0.0089	0.4906				
0	0.4904	0.0116	0.4905	0.0106	0.4904	0.0099				
	0.0856	0.4122	0.0866	0.4125	0.0874	0.4116				
	0.4123	0.0897	0.4121	0.0886	0.4123	0.0885				
00°	0.4006	0.0973	0.4017	0.0972	0.402	0.0975				
50	0.0973	0.4047	0.0973	0.4037	0.0974	0.403				
135°	0.1048	0.393	0.1059	0.3927	0.1063	0.3934				
	0.3931	0.1089	0.3932	0.1079	0.3926	0.1074				

Tabela Ap. 22. GLCM do Experimento 11

APÊNDICE L – SDH E GLCM DO EXPERIMENTO 12

As tabelas deste apêndice apresentam todos SDH e GLCM computados a partir do Experimento 12 e suas texturas.



Tabela Ap. 23. SDH do Experimento 12

	GLCM									
ÂNG				TEXTUR	RAS					
ANU.	7	<u> </u>		<i>T2</i>			<i>T4</i>			
	0.0359	0.4618		0.0368	0.462		0.0375	0.4616		
	0.4619	0.0401		0.4619	0.0391		0.4621	0.0386		
150	0.1512	0.3466		0.1522	0.347		0.1527	0.3465		
43	0.3466	0.1554		0.3463	0.1544		0.3467	0.1538		
90°	0.3065	0.1913		0.3075	0.1917		0.308	0.1912		
50	0.1914	0.3106		0.191	0.3097		0.1915	0.3091		
135°	0.2274	0.2704		0.2282	0.271		0.2289	0.2704		
	0.2705	0.2315		0.2702	0.2304		0.2705	0.23		

Tabela Ap. 24. GLCM do Experimento 12

APÊNDICE M – SDH E GLCM DO EXPERIMENTO 13

As tabelas deste apêndice apresentam todos SDH e GLCM computados a partir do Experimento 13 e suas texturas.



Tabela Ap. 25. SDH do Experimento 13

	GLCM									
ÂNG				TEXTUR	RAS					
ANU.	1	1		7	72		<i>T4</i>			
	0.0825	0.4156		0.0832	0.4157		0.0836	0.4158		
	0.4156	0.0862		0.4157	0.0851		0.4158	0.0846		
459	0.1914	0.3067		0.1925	0.3065		0.1931	0.3063		
43	0.3066	0.1951		0.3063	0.1945		0.3063	0.1941		
00%	0.2204	0.2778		0.2212	0.2777		0.2217	0.2774		
90	0.2776	0.2241		0.2777	0.2232		0.2782	0.2226		
1250	0.3602	0.1378		0.3609	0.138		0.3615	0.1378		
135°	0.1378	0.364		0.1379	0.363		0.138	0.3625		

Tabela Ap. 26. GLCM do Experimento 13

APÊNDICE N – SDH E GLCM DO EXPERIMENTO 14

As tabelas deste apêndice apresentam todos SDH e GLCM computados a partir do Experimento 14 e suas texturas.



Tabela Ap. 27. SDH do Experimento 14



 Tabela Ap. 28. GLCM do Experimento 14

APÊNDICE O – SDH E GLCM DO EXPERIMENTO 15

As tabelas deste apêndice apresentam todos SDH e GLCM computados a partir do Experimento 15 e suas texturas.



Tabela Ap. 29. SDH do Experimento 15

	GLCM									
ÂNG.		TEXT	<i>URAS</i>	Γ						
	44	45	46	47						
0°										
45°										
90°										
135 °										

Tabela Ap. 30. GLCM do Experimento 15

APÊNDICE P – SDH E GLCM DO EXPERIMENTO 16

As tabelas deste apêndice apresentam todos SDH e GLCM computados a partir do Experimento 16 e suas texturas.



Tabela Ap. 31. SDH do Experimento 16

	GLCM TEXTURAS										
ÂNG.	48	49	50 ST	51							
0°											
45°											
90°											
135 °											

Tabela Ap. 32. GLCM do Experimento 16