

6

Resultados da Segmentação

Neste capítulo são avaliados os três algoritmos de binarização abordados no capítulo 4. A avaliação é obtida comparando-se as imagens segmentadas, com as mesmas imagens segmentadas manualmente [PEREZ, 2001a], [HANCE, 1996]. É avaliado também o índice de desempenho do algoritmo que realiza a escolha automática do canal de intensidade utilizado na segmentação. Essa medição é realizada segmentando-se os seis canais, RGB e HSI, de uma mesma imagem, utilizando o algoritmo de binarização que obteve melhor desempenho, e comparando cada canal segmentado com a mesma imagem segmentada manualmente; avaliação semelhante é realizada com os algoritmos de "threshold". Além dos testes realizados com imagens de úlcera de perna, outras imagens são utilizadas nos testes a fim de demonstrar a versatilidade do algoritmo que pode ser utilizado para segmentar outros tipos de imagem.

6.1. Métrica de Erro Utilizada para a Avaliação da Segmentação

Para determinar o sucesso dos algoritmos de segmentação, é utilizada uma métrica que mede o acerto da segmentação em relação à área que deveria ser segmentada na imagem. A área que deveria ser segmentada na imagem é determinada manualmente.

Considere A_{ij} a imagem contendo a úlcera segmentada manualmente, e B_{ij} a imagem segmentada por um dos algoritmos. A_{ij} e B_{ij} são ambas imagens binárias onde 0=fundo e 1=úlcera (na prática a úlcera é representada por 255). A equação 6.1 é utilizada para calcular o erro da segmentação. Na equação 6.1 o símbolo \otimes refere-se ao operador **OU Exclusivo**.

$$Erro = \frac{area(A_{ij} \otimes B_{ij})}{area(A_{ij})} \quad (6.1)$$

Utilizando essa definição, o resultado da equação 6.1 será 0, se ambas as imagens forem exatamente iguais, ou 1 no caso da imagem segmentada ser um conjunto vazio, o que pode ocorrer se o algoritmo não segmentou nada.

6.2. Resultados do Algoritmo de Escolha de Canal

A fim de verificar o desempenho do algoritmo que seleciona o canal que será segmentado, quatro imagens foram processadas e o canal sugerido pelo algoritmo segmentado. Além do canal sugerido, a imagem foi segmentada pelos demais cinco canais restantes. A taxa de erro, referente a cada canal segmentado em relação à imagem segmentada manualmente, foi calculada com o objetivo de verificar se o canal segmentado que obteve o menor erro de segmentação, foi o canal escolhido pelo algoritmo. As tabelas 6.1, 6.3, 6.5 e 6.7 ilustram os valores resultantes dos cálculos efetuados pelo algoritmo para cada canal processado, destacando o canal escolhido. Já as tabelas 6.2, 6.4, 6.6 e 6.8 comparam os resultados da segmentação de cada canal em relação à imagem segmentada manualmente. Os resultados demonstram que o canal selecionado pelo algoritmo proposto é o que obteve menor erro de segmentação nas imagens utilizadas.

Canal	Média interna	Média externa	Desvio padrão interno	Desvio padrão externo	Contraste	Contraste/Desvio padrão externo	Contraste/Desvio padrão interno
R	188	178,1	28,4	53,8	9,9	0,18	0,006
G	129	141,3	24,5	50,2	12,3	0,25	0,01
B	103	132,5	20,4	47,9	29,5	0,62	0,03
H	18	47,7	33,9	49,14	29,7	0,604	0,0178
S	68	33,4	9,63	10,3	34,6	3,36	0,3489
I	140	150,3	23,8	50,6	10,3	0,174	0,0073

Tabela 6.1 - Resultados da imagem do Paciente 13 de 08/09/97 (ver Apêndice 1) em relação aos seis canais processados pelo algoritmo de escolha de canal para segmentação. Nessa imagem, o canal "Saturation" foi selecionado para a segmentação.

Canal	Erro Medido
R	0,96653205156326
G	0,80487191677093
B	0,55572384595871
H	0,72731286287307
S	0,13908873498439
I	0,82807439565658

Tabela 6.2 - Taxa de erro referente aos seis canais segmentados da imagem de úlcera do Paciente 13 (ver Apêndice 1) de 08/09/97, utilizando o algoritmo de Otsu, em relação à mesma imagem segmentada manualmente. O canal "Saturation" demonstrou menor erro de segmentação.

Canal	Média interna	Média externa	Desvio padrão interno	Desvio padrão externo	Contraste	Contraste/Desvio padrão externo	Contraste/Desvio padrão interno
R	188,96	178,36	19,77	42,73	10,6	0,248	0,01254
G	121,34	132,41	17,32	34,91	11,07	0,3171	0,018308
B	92,86	118,72	16,37	37,12	25,86	0,6967	0,04256
H	11,48	11,23	4,85	1,79	0,25	0,1397	0,028804
S	79,22	45,38	15,04	11,72	33,84	2,8874	0,191981
I	134,05	142,86	16,18	38,13	8,81	0,2311	0,014283

Tabela 6.3 - Resultados da imagem do Paciente 13 de 24/09/97 (ver Apêndice 1) em relação aos seis canais processados pelo algoritmo de escolha de canal para segmentação. Nessa imagem, o canal "Saturation" foi selecionado para a segmentação.

Canal	Erro Medido
R	1,0
G	0,679603695869446
B	0,566010355949402
H	1,0
S	0,230931043624878
I	0,788127422332764

Tabela 6.4 - Taxa de erro referente aos seis canais segmentados da imagem de úlcera do Paciente 13 de 24/09/97 (ver Apêndice 1), utilizando o algoritmo de Otsu, em relação à mesma imagem segmentada manualmente. O canal "Saturation" demonstrou menor erro de segmentação.

Canal	Média interna	Média externa	Desvio padrão interno	Desvio padrão externo	Contraste	Contraste/Desvio padrão externo	Contraste/Desvio padrão interno
R	194,06	210,83	15,06	6,69	16,77	2,5067	0,166448
G	113,33	158,29	11,32	4,34	44,96	10,3594	0,915141
B	108,29	152,11	13,69	4,05	43,82	10,8198	0,790343
H	24,54	119,33	70,28	19,41	94,79	4,8836	0,069488
S	57,10	31,84	8,80	3,57	25,26	7,0756	0,804045
I	133,6	172	13,16	4,99	38,4	7,695	0,58473

Tabela 6.5 - Resultados da imagem do Paciente 1 de 14/06/97 (ver Apêndice 1) em relação aos seis canais processados pelo algoritmo de escolha de canal para segmentação. Nessa imagem, o canal "Green" foi selecionado para a segmentação.

Canal	Erro Medido
R	0,463021814823151
G	0,066463738679885
B	0,076364733278751
H	0,700695753097534
S	0,157378911972046
I	0,080780036747455

Tabela 6.6 - Taxa de erro referente aos seis canais segmentados da imagem de úlcera do Paciente 1 de 14/06/97 (ver Apêndice 1), utilizando o algoritmo de Otsu, em relação à mesma imagem segmentada manualmente. O canal "Green" demonstrou menor erro de segmentação.

Canal	Média interna	Média externa	Desvio padrão interno	Desvio padrão externo	Contraste	Contraste/Desvio padrão externo	Contraste/Desvio padrão interno
R	163,67	202,88	12,57	5,47	39,21	7,1682	0,570263
G	117,70	156,91	12,60	4,69	39,21	8,3603	0,663516
B	101,29	146,27	9,71	5,49	44,98	8,1931	0,84378
H	9,78	33,49	3,02	15,52	23,71	1,5277	0,505861
S	51,99	34,24	6,66	4,01	17,75	4,4264	0,664625
I	127,21	168,35	11,21	4,83	41,14	8,5176	0,759822

Tabela 6.7 - Resultados da imagem do Paciente 1 de 16/06/97 (ver Apêndice 1) em relação aos seis canais processados pelo algoritmo de escolha de canal para segmentação. Nessa imagem, o canal "Blue" foi selecionado para a segmentação.

Canal	Erro Medido
R	0,077239185571670
G	0,052074588835239
B	0,041535947471857
H	0,899319529533386
S	0,155494675040245
I	0,052207149565219

Tabela 6.8 - Taxa de erro referente aos seis canais segmentados da imagem de úlcera do Paciente 1 de 16/06/97 (ver Apêndice 1), utilizando o algoritmo de Otsu, em relação à mesma imagem segmentada manualmente. O canal "Blue" demonstrou menor erro de segmentação.

6.3. Resultados dos Algoritmos de "Threshold"

Abaixo, testes realizados com as mesmas quatro imagens de úlcera de perna utilizadas no item anterior são apresentados, onde os algoritmos de binarização seleção interativa, método de Niblack e método de Otsu são avaliados. Os algoritmos de "Threshold" testados utilizam os canais resultantes dos testes realizados no item anterior com o algoritmo de escolha de canal.



Figura 6.1 - Imagem de úlcera do Paciente 13 de 08/09/97 (ver Apêndice 1), segmentada manualmente. As bordas servem apenas para ilustrar a área que foi segmentada.

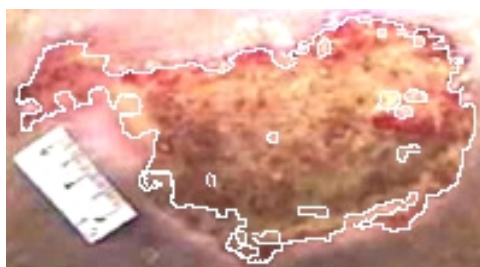


Figura 6.2 - Imagem de úlcera do Paciente 13 de 08/09/97 (ver Apêndice 1) segmentada com o algoritmo de seleção interativa.



Figura 6.3 - Imagem de úlcera do Paciente 13 de 08/09/97 (ver Apêndice 1) segmentada com o algoritmo de Niblack.



Figura 6.4 - Imagem de úlcera do Paciente 13 de 08/09/97 (ver Apêndice 1) segmentada com o algoritmo de Otsu.

Algoritmo	Erro Medido
Seleção Interativa	0,16
Método de Niblack	0,16
Método de Otsu	0,14

Tabela 6.9 - Avaliação dos algoritmos de binarização aplicados na imagem do Paciente 13 captada em 08/09/97.

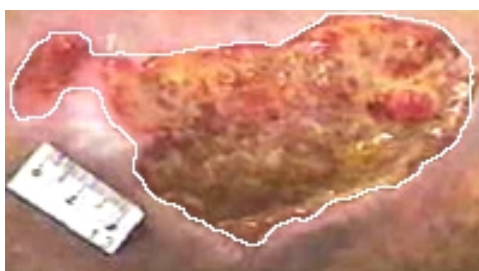


Figura 6.5 - Imagem de úlcera do Paciente 13 de 24/09/97 (ver Apêndice 1), segmentada manualmente. As bordas servem apenas para ilustrar a área que foi segmentada.

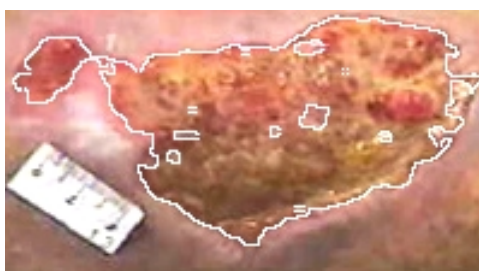


Figura 6.6 - Imagem de úlcera do Paciente 13 de 24/09/97 (ver Apêndice 1) segmentada com o algoritmo de seleção interativa.



Figura 6.7 - Imagem de úlcera do Paciente 13 de 24/09/97 (ver Apêndice 1) segmentada com o algoritmo de Niblack.



Figura 6.8 - Imagem de úlcera do Paciente 13 de 24/09/97 (ver Apêndice 1) segmentada com o algoritmo de Otsu.

Algoritmo	Erro Medido
Seleção Interativa	0,13
Método de Niblack	0,16
Método de Otsu	0,13

Tabela 6.10 - Avaliação dos algoritmos de binarização aplicados na imagem do Paciente 13 captada em 24/09/97.

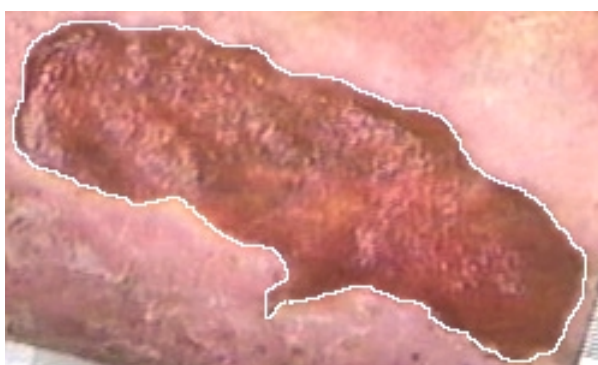


Figura 6.9 - Imagem de úlcera do Paciente 1 de 14/07/97 (ver Apêndice 1) segmentada manualmente. As bordas servem apenas para ilustrar a área que foi segmentada.



Figura 6.10 - Imagem de úlcera do Paciente 1 de 14/07/97 (ver Apêndice 1) segmentada com o algoritmo de seleção interativa.



Figura 6.11 - Imagem de úlcera do Paciente 1 de 14/07/97 (ver Apêndice 1) segmentada com o algoritmo de Niblack.



Figura 6.12 - Imagem de úlcera do Paciente 1 de 14/07/97 (ver Apêndice 1) segmentada com o algoritmo de Otsu.

Algoritmo	Erro Medido
Seleção Interativa	0,08
Método de Niblack	0,07
Método de Otsu	0,06

Tabela 6.11 - Avaliação dos algoritmos de binarização aplicados na imagem do Paciente 1 captada em 14/07/97.

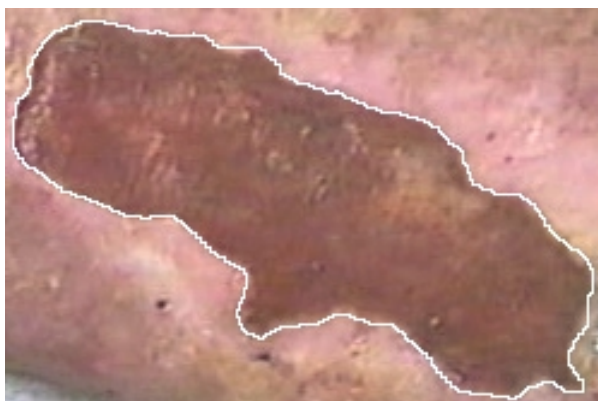


Figura 6.13 - Imagem de úlcera do Paciente 1 de 16/07/97 (ver Apêndice 1), segmentada manualmente. As bordas servem apenas para ilustrar a área que foi segmentada.



Figura 6.14 - Imagem de úlcera do Paciente 1 de 16/07/97 (ver Apêndice 1) segmentada com o algoritmo de seleção interativa.

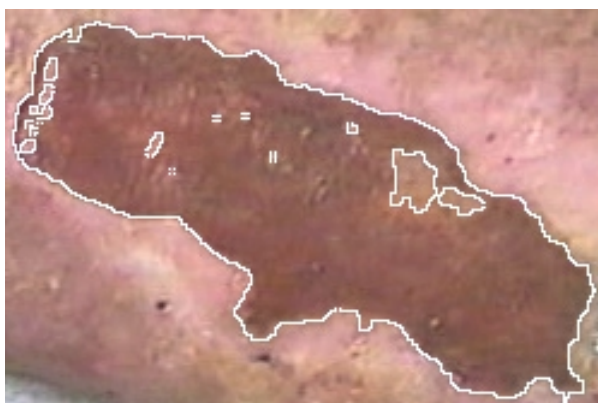


Figura 6.15 - Imagem de úlcera do Paciente 1 de 16/07/97 (ver Apêndice 1) segmentada com o algoritmo de Niblack.



Figura 6.16 - Imagem de úlcera do Paciente 1 de 16/07/97 (ver Apêndice 1) segmentada com o algoritmo de Otsu.

Algoritmo	Erro Medido
Seleção Interativa	0,05
Método de Niblack	0,06
Método de Otsu	0,05

Tabela 6.12 - Avaliação dos algoritmos de binarização aplicados na imagem do Paciente 1 captada em 16/07/97.

Testes realizados com outras imagens de úlcera de perna demonstraram que o algoritmo de binarização de Otsu obteve melhores resultados nas imagens segmentadas. O gráfico da Figura 6.17 ilustra o desempenho dos algoritmos em relação a outras seis imagens utilizadas. O método de Otsu, dentre os três algoritmos analisados, mostrou-se mais eficiente para segmentar as imagens de úlcera [PEREZ, 2001a].

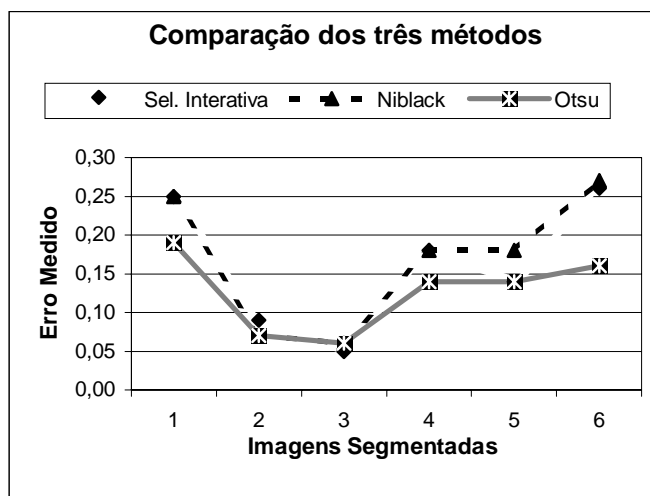
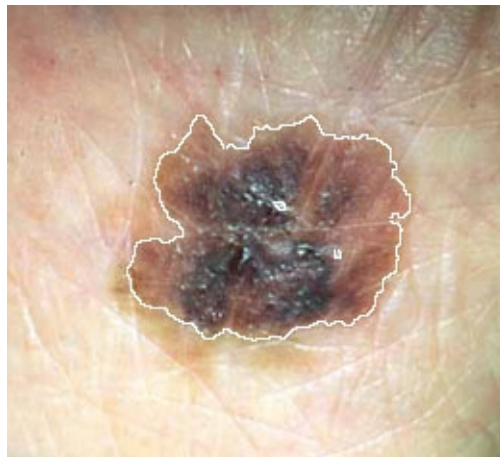


Figura 6.17 - Gráfico ilustrando a comparação dos algoritmos de binarização referente ao erro medido nas imagens segmentadas pelos algoritmos em relação às mesmas imagens segmentadas manualmente. Dentre os algoritmos avaliados, o método de Otsu obteve o menor erro em todas as imagens avaliadas.

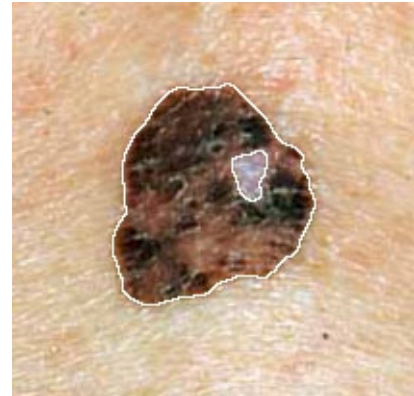
6.4. Resultados do Algoritmo de Segmentação com Outras Imagens

Testes realizados com outras imagens foram realizados a fim de verificar a versatilidade e robustez do algoritmo proposto neste trabalho. De forma resumida, são apresentadas as imagens segmentadas que foram submetidas ao teste, sem interesse em seus resultados numéricos quanto à eficiência dos algoritmos.

Pode ser verificado, nas figuras 6.18 (a) e (b), o resultado da segmentação obtido em imagens coloridas de câncer de pele. A segmentação, e extração de características de borda é de fundamental importância para o diagnóstico desse tipo de tumor. As figuras 6.18 (c) e (d) servem apenas para ilustrar a segmentação obtida em imagens coloridas comuns, onde se deseja segmentar determinado objeto, ou parte da imagem, em relação ao fundo. Os originais das figuras 6.18 (a), (b), (c) e (d) podem ser encontrados no Apêndice 1.



(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 6.18 - Diferentes imagens segmentadas pelo algoritmo proposto.