

Image Analysis Methods for Automated Cell Counting

João Matos^a, Maria Carvalho^a, Maria Loureiro^a

^aFaculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Portugal

Resumo - A automatização de contagem de células é fulcral aquando da avaliação de culturas celulares. Desenvolveu-se um algoritmo de deteção automática de células a partir de imagens de microscópio, através de dois métodos principais: obtenção da região de interesse e segmentação de células na imagem, através de um conjunto de operações de processamento de imagem. Para o primeiro método, as distâncias médias entre cantos homólogos obtidas são de $(2,5356 \pm 0,5920)$ pixels - conjunto de treino - e $(2,4856 \pm 0,7668)$ pixels - conjunto de teste. Para o segundo método, os valores de F1-measure obtidos são $(87,64 \pm 8,56)\%$ e $(84,74 \pm 11,71)\%$, para os conjuntos de treino e teste, respetivamente. Os resultados obtidos apresentam potencial para o desenvolvimento de um algoritmo complexo e robusto.

I. INTRODUÇÃO

A densidade celular é um parâmetro essencial a ser avaliado em culturas celulares, sendo para isso necessário efetuar uma contagem de células. O objetivo deste trabalho é desenvolver um programa que permita a contagem automática de células, através de análise de imagem. O algoritmo desenvolvido divide-se em dois métodos principais: delinear a região de interesse (ROI) - um retângulo delimitado por uma linha tripla - e segmentar as células na imagem, procedendo à sua contagem e localização dentro da ROI. O software utilizado foi MATLAB R2018a.

Para avaliar a exatidão dos métodos desenvolvidos, os resultados obtidos são comparados com o seus *Ground Truth* (GT) - resultados que correspondem à resposta ideal.

Relativamente à delineação da ROI, é avaliado o índice de *Jaccard* e os valores máximos e médios de distância entre pontos homólogos dos retângulos. O índice de *Jaccard* avalia a exatidão dos resultados obtidos através do quociente da interseção das duas áreas, pela sua reunião.

Relativamente à deteção de células, é avaliada a ocorrência de verdadeiros positivos (TP) - células detetadas com localização e raio semelhantes aos da GT -, falsos positivos (FP) - células detetadas que, na verdade, não existem ou não devem ser consideradas -, e falsos negativos (FN) - células que não foram, mas deveriam ter sido identificadas. Esta classificação baseia-se no cálculo do índice de *Jaccard* para os retângulos que delimitam as células na imagem obtida e no GT. Quando a área segmentada da imagem apresenta um índice de *Jaccard* superior a 0.5, em relação à do seu GT, esta corresponde a um TP. O total de distinções em TP, FP e FN é usado posteriormente no cálculo de outros parâmetros de avaliação de segmentação: sensibilidade, que corresponde à percentagem de objetos identificados corretamente em relação aos objetos presentes na imagem; precisão, que mede a percentagem de objetos identificados corretamente em

relação a todos os objetos contabilizados; F1-measure, que combina as contribuições da precisão e sensibilidade.

II. METODOLOGIA

A. OBTENÇÃO DA REGIÃO DE INTERESSE

Nesta parte do trabalho, utilizam-se os dados do GT da ROI e o conjunto de imagens a ser analisadas, obtendo-se as máscaras com fundo preto e a ROI pretendida a branco.

A primeira etapa consiste na leitura das imagens a analisar. De seguida, procede-se à construção de uma máscara que envolva a ROI pretendida. Para a obtenção da máscara, tratando-se de uma imagem RGB, opta-se por utilizar apenas o canal verde, uma vez que confere mais contraste à imagem e as linhas ficam realçadas, útil na segmentação do retângulo central. É aplicado um filtro de fecho com um elemento estruturante (SE) quadrado com 29 pixels, que irá fazer com que a tripla linha se agregue numa única linha, mais espessa. Recorrendo a uma segmentação baseada em histograma, com um threshold calculado pelo método de Otsu, a imagem é binarizada e ficam apenas as linhas de fundo, com remoção das células. De seguida, é aplicado um filtro de mediana, 5x5, responsável por remover ruído existente. Com uma sequência de operações de fecho, abertura e fecho, recorrendo a SEs quadrados com 30, 20 e 40 pixels de tamanho, respetivamente, as linhas com maior espessura do bordo são reforçadas e preenchidas, todas as linhas do interior são eliminadas, e danos provocados na moldura exterior são reparados. Obtém-se, nesta fase, o retângulo interior todo a preto e a moldura exterior a branco, segmentada e coesa. Para obter o retângulo preto interior segmentado, em relação a toda a imagem, aplica-se o método de *watersheds*. Nesta fase, tem-se segmentado o retângulo interior, ficando apenas a faltar incluir a espessura correspondente ao bordo de linha tripla, para que seja contemplada na ROI. Tal é alcançado através de uma dilatação, com um SE quadrado, 66 pixels de largura, que corresponde à espessura do bordo de linha tripla, em falta. Para visualizar as imagens com as máscaras obtidas, multiplica-se, ponto a ponto, cada imagem pela máscara. Finalmente, para avaliar a performance global do algoritmo, em relação aos três parâmetros anteriormente descritos, calcularam-se valores mínimos, médios, com respetivo desvio padrão, e máximos dos mesmos.

B. SEGMENTAÇÃO E CONTAGEM DAS CÉLULAS

No sentido da segmentação e contagem das células, dentro de cada região, utilizam-se as máscaras provenientes do GT utilizado na tarefa anterior, limitando a região a processar. Para além das imagens a processar e das máscaras do GT, recorre-se também ao GT da segmentação de células, com as

posições dos quadrados que rodeiam as células que devem ser detetadas, permitindo a avaliação da eficácia do algoritmo desenvolvido. A posição de cada quadrado é identificada através das coordenadas do seu canto superior esquerdo, da sua largura e altura.

Neste sentido, o primeiro passo corresponde à leitura de todas as imagens a analisar, máscaras do GT e ficheiros com as posições dos quadrados das células do GT.

De seguida, para limitar as imagens à sua ROI, as máscaras do GT multiplicam-se pelas imagens a processar, com um pequeno desvio da máscara no sentido do canto superior esquerdo. Este desvio cria uma margem nos limites esquerdo e superior da ROI, após as três linhas seguidas que delimitam o retângulo, permitindo a deteção de células que tenham o centro localizado num desses dois lados, cujo corpo possa ultrapassar os seus limites. Células que se sobreponham aos lados inferior e direito do retângulo não devem ser contabilizadas.

O processamento de imagem realiza-se apenas sobre o canal vermelho da imagem RGB, pois é neste que as células apresentam maior contraste.

Devido à diferença de fundo para células no interior da grelha e células nos limites da ROI, dois processamentos de imagem distintos são desenvolvidos, um para cada caso.

Para a deteção das células no interior da grelha, utiliza-se, primeiramente, um filtro de mediana de dimensões 9x9 que suaviza a imagem, retirando algum ruído, mas preservando as orlas. Depois, aplica-se a transformada *Bottom Hat*; esta operação é extremamente importante, pois realça as transições escuras, ou seja, o contorno das células, e uniformiza as restantes regiões. Assim, a imagem resultante desta transformada apresenta o fundo maioritariamente preto e os contornos das células, assim como algumas transições dentro da moldura, num tom mais claro. De seguida, segue-se uma série de operações cujo objetivo é realçar estes contornos e remover ruído: um filtro de mediana menor que o inicial, que suaviza a imagem proveniente do *Bottom Hat*; um fecho que retira pequenas fontes de ruído ao longo da imagem e uma abertura, cujo SE é uma linha, de modo a eliminar linhas claras que resultaram da operação de realce das transições escuras na moldura e, finalmente, outro filtro de mediana de dimensões menores, permitindo uma filtragem final mais precisa de objetos menores. De seguida, faz-se um ajuste do histograma da imagem, convertendo a imagem para uma escala entre 0 e 1, com o parâmetro gama igual a 0,8, o que faz com que o mapeamento seja feito de modo a produzir valores de saída mais elevados, destacando contornos. Este passo torna-se fundamental já que oferece um grande destaque aos contornos de cada célula, tornando possível a aplicação do método de Sobel. Assim, para acentuar mais os contornos, usa-se o método de Sobel, em ambas as direções, e, para fechar as circunferências resultantes, realiza-se uma operação de fecho com uma linha com 5 pixels e ângulos variáveis, entre 0 e 180°, como SE.

Finalmente, depois do devido realce das orlas de cada célula e eliminação de ruído e linhas de fundo, recorre-se à Transformada de *Hough*, com duas dimensões, para a deteção de círculos. Através desta deteção, obtêm-se os valores de centro e raio para cada célula. A gama de raios detetados utilizada é de 20 a 50 pixels.

Por outro lado, para a deteção das células que se encontram no bordo da ROI, é necessária a combinação entre a máscara da ROI e uma que limita apenas a região da grelha. Neste sentido, aplica-se um processamento muito semelhante ao da primeira tarefa do projeto, com algumas alterações: mantendo tudo igual até à abertura, a dimensão do SE desta é aumentada, para garantir a eliminação mais eficaz de todas as linhas no interior da grelha. É feita uma dilatação com um SE quadrado de dimensão 15 pixels que aumenta a largura da máscara na zona do bordo da grelha. Uma operação de fecho é aplicada, com SE quadrado de dimensão 50 pixels, permitindo uma redução das falhas nos limites da grelha. Finalmente, a máscara é convertida para uma imagem binária, sendo depois aplicada na imagem a processar em conjugação com a máscara da ROI obtida. A máscara final consiste apenas nos bordos esquerdo e superior da grelha.

Seguidamente, aplica-se a transformada *Bottom Hat*, cujo objetivo é o mesmo do processamento anterior. Realiza-se um conjunto de operações de melhoramento de imagem, através de duas imagens intermédias: a diferença entre a imagem resultante do *Bottom Hat* e sua dilatação com um SE com forma de disco de raio 5; a soma entre a imagem resultante do *Bottom Hat* e a sua dilatação com um mesmo SE. Estas imagens irão ter as células realçadas a branco, com os contornos mais bem definidos a preto; são, então, multiplicadas ponto a ponto e o resultado é invertido, o que resulta numa imagem com fundo preto, a grelha exterior a cinzento e as células presentes na grelha com a forma de mancha bastante mais clara, realçada.

Para o realce das células, aplica-se uma operação de preenchimento de fundo, seguida de um filtro gaussiano que reduz o ruído, e de uma operação de fecho, com SE circular de raio 8 pixels, que fortalece os contornos. Finalmente, soma-se a imagem com o resultado da transformada *Top Hat*, realçando substancialmente os pixels mais claros, tornando as células mais visíveis.

Para realçar as diferenças entre as células e a grelha, é aplicado um filtro *LoG*, que intensifica o gradiente. Este filtro aplica-se com um sigma equivalente ao quociente entre um valor de raio médio das células e a raiz quadrada de dois, maximizando a sua resposta. A imagem obtida consiste nos círculos com um interior escuro e uma orla branca no seu contorno, tal como esperado. Aplicando o método de *Otsu*, as intensidades da imagem são divididas segundo um conjunto de 6 limiares, utilizando-se o valor mais elevado destes para a binarização, obtendo-se uma imagem com um fundo branco e manchas pretas, bem definidas, que correspondem às células detetadas. Para aumentar o tamanho destas manchas, aplica-se uma operação de erosão, SE circular de raio 10

pixels, seguida de uma operação de remoção de todos os objetos com uma área inferior a 40 pixels, eliminando ruído que possa ser detetado. Finalmente, detetam-se as manchas com um método de deteção de *Blobs*.

É importante sublinhar que células presentes no quadrado interior da ROI são detetadas como círculos, pela Transformada de Hough, enquanto as células das bordas, uma vez que não têm as orlas tão bem definidas, são detetadas como manchas, através de um detetor de *Blobs*.

Para remover o ruído que possa originar um FP, a intensidade média da região onde se encontra a célula é comparada com a da restante grelha; se a diferença entre estas for superior a 0.17, valor encontrado iterativamente, esta é eliminada. Para reduzir o número de FP de ambos os processamentos, eliminam-se casos de células com um centro fora da máscara da ROI, e de duplicados, com quadrados sobrepostos para uma mesma célula.

De seguida, para a visualização das células detetadas e a avaliação do algoritmo, calculam-se os parâmetros necessários para identificar e desenhar os quadrados que rodeiam cada célula contabilizada. Estes parâmetros correspondem aos mesmos fornecidos pelo GT desta tarefa.

Além do cálculo das métricas, descritas na introdução, para cada imagem, calculam-se valores mínimos, médios, com respetivo desvio padrão, e máximos para 3 parâmetros, que são relevantes para uma análise global do algoritmo: precisão, sensibilidade e *F1-measure*, permitindo uma avaliação do desempenho do código desenvolvido.

III. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O programa desenvolvido é testado utilizando dois conjuntos diferentes de imagens: o conjunto de treino, usado ao longo do desenvolvimento do código, e o conjunto de teste, que faz a verificação do desempenho do algoritmo para imagens nunca treinadas, validando a eficácia para uma maior diversidade de dados.

A. OBTENÇÃO DA REGIÃO DE INTERESSE

Os valores médios para os parâmetros utilizados na avaliação da segmentação de células estão descritos na tabela 1, para os dois conjuntos de imagens testados.

Tabela 1 - Valores médios e desvio-padrão de Índice de *Jaccard*, distâncias máximas e médias, para conjuntos de treino e teste

	Índice de <i>Jaccard</i> (%)	Distância Máxima (pixels)	Distância Média (pixels)
Treino	99,48 ± 0,13	4,0116 ± 0,9189	2,5356 ± 0,5920
Teste	99,50 ± 0,16	4,0541 ± 1,3719	2,4856 ± 0,7668

Analisando os resultados presentes na tabela 1, observa-se que os valores obtidos para o índice de *Jaccard* são bastante elevados e próximos de 100%, para ambos os conjuntos, tal como pretendido. Ambos os desvios-padrão obtidos são

muito próximos de 0, o que demonstra uma consistência nos resultados de todo o conjunto de imagens. De facto, devido à elevada dimensão das imagens, era já de esperar índices de *Jaccard* muito elevados. Assim, os valores máximos e médios de distância são essenciais na avaliação da obtenção da ROI, tornando a diferença entre cantos uma medida mais eficaz.

Neste sentido, relativamente à distância máxima entre vértices homólogos da máscara obtida e do seu GT para as imagens de treino e teste, os valores médios obtidos são muitos próximos, 4,0116 e 4,0541 pixels, respetivamente, com desvios-padrão também baixos, o que demonstra, mais uma vez, que os resultados são pouco dispersos, para ambos os conjuntos de imagens. No que toca à distância média entre cantos, os resultados são semelhantes aos da distância máxima, no entanto sempre mais baixos, tal como esperado já que se trata dos valores médios dos 4 cantos. Assim, após uma análise dos 3 parâmetros considerados, é possível concluir que o algoritmo desenvolvido é bastante preciso e eficaz na deteção da máscara da ROI, para o conjunto das 100 imagens. A título de exemplo, a figura 1 mostra o resultado de duas das máscaras obtidas, para o conjunto de treino e teste, aplicadas à imagem original.

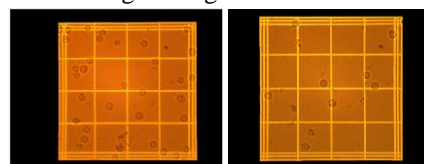


Figura 1 - Imagens exemplo do conjunto de treino e do conjunto de teste com máscara da ROI aplicada

B. SEGMENTAÇÃO DAS CÉLULAS

Após implementação da primeira parte do algoritmo, responsável por uma análise de imagem direcionada a todos os objetos circulares, observou-se que muitas células localizadas nos bordos não eram detetadas, fruto da incapacidade do detetor de contornos para distinguir orlas circulares de retilíneas, nestas zonas, uma vez que as linhas triplas do microscópio se encontram como fundo. É possível observar na figura 2 algumas das células, com estas características, que não são detetadas.



Figura 2 - células nos bordos não detetadas pela 1ª fase do algoritmo

Os valores obtidos para esta fase intermédia do algoritmo de deteção de células são de (86,61 ± 11,57) % de sensibilidade, (91,95 ± 10,51) % de precisão e (87,71 ± 11,99) % de *F1-measure*, para a fase de treino. Para detetar também as células dos bordos, em especial, acrescenta-se um segundo processamento direcionado a estas células, sendo os valores obtidos finais os descritos na tabela 2.

Tabela 2 - Valores médios e desvio-padrão para a sensibilidade, precisão e *F1-measure*, para as imagens de treino e teste

	Sensibilidade (%)	Precisão (%)	<i>F1-measure</i> (%)
Treino	87,92 ± 11,02	88,93 ± 10,75	87,64 ± 8,56
Teste	83,27 ± 14,97	90,48 ± 10,28	84,74 ± 11,71

Observa-se, como seria de esperar, um aumento (não muito significativo) de sensibilidade, uma vez que há mais TPs a ser detetados, mas uma perda de precisão, uma vez que este segundo processamento é muito afetado por lixo ou ruído. Estes valores finais apresentam um ligeiro decréscimo de desempenho, entre o conjunto de treino e o de teste. Tal deverá estar relacionado com o facto de as imagens de teste apresentarem mais células nos bordos, que não são tão bem detetadas pelo código otimizado para o conjunto de treino. Em relação a esta segunda parte do processamento, responsável por remover células dos bordos, opta-se por não aumentar de forma exacerbada a sensibilidade, ao otimizar o algoritmo, pois cair-se-ia numa situação em que muitos FPs seriam assinalados, o que diminuiria consideravelmente a precisão do mesmo. No entanto, num futuro trabalho, este segundo processamento tem bastante espaço para ser desenvolvido, por exemplo, criando um maior número de candidatos a células nos bordos, pela deteção das manchas claras, que, posteriormente, seriam criteriosamente selecionadas como células ou não, dependendo das suas intensidades médias, ou forma original, aumentando assim a capacidade de deteção, garantindo que lixo ou ruído não são incluídos.

Ao longo da fase de treino, o número de FP diminui consideravelmente, com um efeito de cerca de 5% na precisão, com a implementação de remoção de duplicados, células cujo centro se encontra fora da ROI, e comparação de intensidades de células nos bordos.

Em relação ao algoritmo de deteção de células, no geral, observa-se uma pior performance para imagens mais amareladas, possivelmente devido ao facto de apenas o canal vermelho ter sido utilizado nesta secção. Na verdade, imagens mais amarelas terão um maior conteúdo no canal verde e uma média ponderada de ambos os canais poderia otimizar o contraste das imagens utilizadas. Finalmente, observa-se também que células mais escuras ou cujos bordos são coincidentes com uma linha simples do fundo do microscópio são mais dificilmente detetadas, o que poderia ser ultrapassado com a implementação de um processamento direcionado a estas situações.

A título de exemplo, na figura 3, podem ser visualizados exemplos de imagens com as células detetadas.

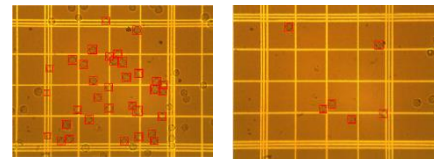


Figura 3 - Imagens exemplo do conjunto de treino e do conjunto de teste com células detetadas

Finalmente, comparando os resultados com os da literatura em que este projeto foi baseado, os resultados consideram-se bastante positivos, com a uma precisão semelhante e uma diferença de 10% abaixo para aos outros parâmetros. ¹

IV. CONCLUSÕES

Neste trabalho desenvolveram-se métodos que permitem delinear a ROI da imagem e detetar células. Os algoritmos desenvolveram-se tendo como base imagens de treino e são posteriormente testados com novas imagens. Na etapa de delimitação da ROI obtêm-se resultados bastante exatos e precisos, tanto nas imagens de treino, como de teste, sendo que as distâncias médias entre os vértices da imagem e do seu GT são de $(4,0116 \pm 0,9189)$ e $(4,0541 \pm 1,3719)$ pixels, respetivamente. Relativamente à deteção de células, os resultados obtidos são considerados bastante favoráveis, sendo que os valores de sensibilidade, precisão e *F1-measure* obtidos para as imagens de treino são de $(87,92 \pm 11,02)\%$, $(88,93 \pm 10,75)\%$ e $(87,64 \pm 8,560)\%$, enquanto que para as imagens de teste são de $(83,27 \pm 14,97)\%$, $(90,48 \pm 10,28)\%$ e $(84,74 \pm 11,71)\%$, respetivamente.

Para melhorar os resultados, é sobretudo necessário aumentar a sensibilidade, com a afinação do algoritmo de deteção de células nas bordas, que representa a região mais desafiante e com resultados menos satisfatórios.

Decidiu-se, no entanto, priorizar a precisão do algoritmo, em detrimento da sensibilidade. O algoritmo não deteta totalmente as células da borda, pois tal implicaria um considerável decréscimo na precisão, com o aumento de FPs, para o atual processamento. Tratando-se de um algoritmo cujo objetivo último é contar células, considerou-se preferível ter uma melhor precisão a aumentar bastante a sensibilidade, com efeito negativo na precisão, uma vez que assim é conhecida a tendência da deficiência na contagem de células, o que permite que seja corrigida, numa futura utilização, com a aplicação de, por exemplo, um fator de correção na contagem final, obtido para um amplo *dataset*.

V. REFERÊNCIAS

[1] Akin Ozkan et al., “Computer Vision based automated cell counting pipeline: a case study for HL60 cancer cell on hemocytometer”, *Biomedical Research* 2018; 29 (14): 2956-2962.

Anexo 1 - Resultados Delineação ROI

Tabela 1.A - Resultados para Imagens de Treino

#Image	JaccardIndex	MaxDistance	MeanDistance
1	99,46	3,162	2,351
2	99,59	5,000	2,663
3	99,63	3,162	2,350
4	99,36	3,606	3,001
5	99,41	5,657	3,323
6	99,50	3,606	2,760
7	99,45	4,123	2,341
8	99,76	2,236	1,677
9	99,47	4,472	2,531
10	99,62	3,606	2,296
11	99,39	5,657	2,816
12	99,45	3,162	2,248
13	99,17	5,385	4,177
14	99,58	4,472	2,368
15	99,69	2,236	1,559
16	99,60	3,162	1,831
17	99,36	5,000	3,840
18	99,47	6,000	3,442
19	99,30	4,472	2,821
20	99,40	5,000	3,413
21	99,67	4,472	1,618
22	99,46	4,243	2,351
23	99,28	3,162	2,494
24	99,50	4,472	2,616
25	99,30	4,123	2,797
26	99,50	4,123	2,734
27	99,52	2,236	1,559
28	99,47	4,000	2,998
29	99,36	4,243	2,660
30	99,68	4,123	2,281
31	99,38	5,000	2,868
32	99,46	4,243	2,410
33	99,51	4,243	2,532
34	99,57	3,606	2,269
35	99,46	3,606	2,605
36	99,67	2,236	1,163
37	99,44	3,606	2,810
38	99,59	4,000	2,766
39	99,33	5,831	3,709
40	99,31	4,243	2,316
41	99,37	4,472	2,519
42	99,59	3,162	2,101
43	99,63	4,472	2,718
44	99,53	3,162	2,262
45	99,52	4,123	2,590
46	99,55	4,123	2,682
47	99,26	3,606	2,704
48	99,50	3,000	1,559
49	99,63	3,000	1,854
50	99,53	4,472	2,429

Tabela 1.B - Resultados para Imagens de Teste

#Image	JaccardIndex	MaxDistance	MeanDistance
1	99,59	3,606	1,858
2	99,20	6,708	3,486
3	99,40	3,000	1,868
4	99,41	4,472	2,736
5	99,65	2,236	1,472
6	99,02	5,831	3,918
7	99,61	4,472	2,427
8	99,60	2,236	1,059
9	99,24	5,385	3,748
10	99,57	6,000	3,340
11	99,47	3,606	2,692
12	99,70	2,236	1,413
13	99,18	4,123	3,175
14	99,53	5,099	1,525
15	99,60	4,243	2,695
16	99,67	2,236	1,516
17	99,66	3,162	2,100
18	99,31	3,606	2,501
19	99,47	3,606	2,649
20	99,63	4,000	2,163
21	99,43	5,099	3,610
22	99,60	3,162	1,953
23	99,69	2,828	1,561
24	99,63	4,123	2,502
25	99,41	4,472	2,736
26	99,59	3,606	2,712
27	99,61	4,472	1,927
28	99,33	5,000	3,406
29	99,64	2,236	1,663
30	99,52	9,899	4,723
31	99,56	4,000	2,401
32	99,62	3,162	2,203
33	99,52	2,828	2,325
34	99,04	5,000	4,277
35	99,53	4,243	2,621
36	99,37	5,657	2,871
37	99,67	3,162	1,953
38	99,39	4,243	2,473
39	99,30	5,385	3,057
40	99,59	4,123	2,630
41	99,44	5,385	2,553
42	99,52	4,243	2,212
43	99,64	3,606	2,019
44	99,53	3,606	2,836
45	99,63	3,000	2,222
46	99,63	3,000	2,118
47	99,46	2,828	1,414
48	99,55	3,000	2,311
49	99,29	4,472	2,736
50	99,62	3,000	1,913

Anexo 2 -Resultados Segmentação e Contagem de Células

Tabela 2.A - Resultados para Imagens de Treino

#Image	CountedCells	TP	FP	FN	Recall	Precision	MeasureF1
1	6	6	0	3	66,67	100,00	75,00
2	20	17	3	6	73,91	85,00	77,27
3	22	21	1	5	80,77	95,45	85,14
4	26	26	0	1	96,30	100,00	97,50
5	23	23	0	3	88,46	100,00	92,00
6	15	15	0	4	78,95	100,00	84,91
7	2	2	0	2	50,00	100,00	60,00
8	4	4	0	1	80,00	100,00	85,71
9	5	4	1	3	57,14	80,00	63,16
10	3	3	0	1	75,00	100,00	81,82
11	4	4	0	3	57,14	100,00	66,67
12	3	3	0	4	42,86	100,00	52,94
13	6	6	0	2	75,00	100,00	81,82
14	6	6	0	2	75,00	100,00	81,82
15	4	3	1	0	100,00	75,00	90,00
16	17	12	5	4	75,00	70,59	73,47
17	12	9	3	4	69,23	75,00	71,05
18	5	5	0	2	71,43	100,00	78,95
19	8	7	1	1	87,50	87,50	87,50
20	4	4	0	3	57,14	100,00	66,67
21	10	9	1	1	90,00	90,00	90,00
22	8	8	0	0	100,00	100,00	100,00
23	7	5	2	5	50,00	71,43	55,56
24	7	6	1	1	85,71	85,71	85,71
25	7	6	1	0	100,00	85,71	94,74
26	7	5	2	0	100,00	71,43	88,24
27	8	7	1	0	100,00	87,50	95,45
28	46	39	7	5	88,64	84,78	87,31
29	19	18	1	2	90,00	94,74	91,53
30	21	21	0	4	84,00	100,00	88,73
31	22	20	2	0	100,00	90,91	96,77
32	18	17	1	2	89,47	94,44	91,07
33	27	26	1	2	92,86	96,30	93,98
34	29	26	3	2	92,86	89,66	91,76
35	37	34	3	4	89,47	91,89	90,27
36	5	5	0	1	83,33	100,00	88,24
37	6	6	0	1	85,71	100,00	90,00
38	6	6	0	0	100,00	100,00	100,00
39	31	26	5	7	78,79	83,87	80,41
40	21	18	3	6	75,00	85,71	78,26
41	24	19	5	4	82,61	79,17	81,43
42	16	12	4	7	63,16	75,00	66,67
43	7	7	0	1	87,50	100,00	91,30
44	3	3	0	3	50,00	100,00	60,00
45	5	4	1	0	100,00	80,00	92,31
46	6	6	0	2	75,00	100,00	81,82
47	20	19	1	8	70,37	95,00	77,03
48	20	20	0	9	68,97	100,00	76,92
49	20	19	1	3	86,36	95,00	89,06
50	12	11	1	1	91,67	91,67	91,67

Tabela 2.B - Resultados para Imagens de Teste

#Image	CountedCells	TP	FP	FN	Recall	Precision	MeasureF1
1	13	11	2	1	91,67	84,62	89,19
2	11	10	1	0	100,00	90,91	96,77
3	27	27	0	4	87,10	100,00	91,01
4	26	24	2	3	88,89	92,31	90,00
5	19	17	2	3	85,00	89,47	86,44
6	15	11	4	3	78,57	73,33	76,74
7	22	17	5	3	85,00	77,27	82,26
8	9	9	0	3	75,00	100,00	81,82
9	8	8	0	5	61,54	100,00	70,59
10	6	6	0	1	85,71	100,00	90,00
11	3	3	0	1	75,00	100,00	81,82
12	4	3	1	0	100,00	75,00	90,00
13	4	4	0	1	80,00	100,00	85,71
14	6	6	0	0	100,00	100,00	100,00
15	6	5	1	0	100,00	83,33	93,75
16	3	3	0	1	75,00	100,00	81,82
17	6	6	0	1	85,71	100,00	90,00
18	4	4	0	0	100,00	100,00	100,00
19	11	10	1	3	76,92	90,91	81,08
20	11	10	1	0	100,00	90,91	96,77
21	12	9	3	4	69,23	75,00	71,05
22	9	9	0	2	81,82	100,00	87,10
23	7	6	1	1	85,71	85,71	85,71
24	12	11	1	1	91,67	91,67	91,67
25	7	5	2	0	100,00	71,43	88,24
26	4	3	1	1	75,00	75,00	75,00
27	7	7	0	2	77,78	100,00	84,00
28	5	4	1	0	100,00	80,00	92,31
29	5	4	1	3	57,14	80,00	63,16
30	8	7	1	0	100,00	87,50	95,45
31	31	28	3	5	84,85	90,32	86,60
32	32	29	3	4	87,88	90,63	88,78
33	16	16	0	0	100,00	100,00	100,00
34	27	26	1	2	92,86	96,30	93,98
35	34	34	0	1	97,14	100,00	98,08
36	16	16	0	1	94,12	100,00	96,00
37	6	3	3	1	75,00	50,00	64,29
38	52	44	8	4	91,67	84,62	89,19
39	38	35	3	8	81,40	92,11	84,68
40	25	23	2	6	79,31	92,00	83,13
41	13	12	1	0	100,00	92,31	97,30
42	37	30	7	5	85,71	81,08	84,11
43	9	6	3	2	75,00	66,67	72,00
44	7	7	0	3	70,00	100,00	77,78
45	18	16	2	7	69,57	88,89	75,00
46	19	17	2	4	80,95	89,47	83,61
47	5	4	1	2	66,67	80,00	70,59
48	7	7	0	3	70,00	100,00	77,78
49	9	8	1	1	88,89	88,89	88,89
50	8	8	0	3	72,73	100,00	80,00