

# CIC0176 IPI - Trabalho Final

Rodrigo Rios

Depto. de Ciência da Computação

Universidade de Brasília

Brasília, Brasil

rodrigor98@gmail.com

**Resumo**—O presente estudo se dedica a analisar técnicas de Processamento Digital de Imagens aplicadas à avaliação de qualidade de fertilizantes, por meio da inspeção de características geométricas das partículas. São propostas seis estratégias de conjuntos de pré-processamento e limiarização. Em seguida, realizam-se as etapas de eliminação de ruídos e segmentação *watershed*, esta última por meio da qual se extraem as características desejadas para a realização da análise.

## I. INTRODUÇÃO

A agropecuária representa um dos principais fatores no comércio exterior brasileiro, que, por sua vez, representa uma fatia importante do Produto Interno Bruto do Brasil. Nesse sentido, os fertilizantes desempenham um papel essencial no alavancamento da produtividade agrária, a partir da correção da composição de nutrientes do solo. Do ponto de vista do processamento de imagens, uma importante avaliação da qualidade desses produtos é a análise granulométrica. Um dos objetivos desse tipo de análise é a classificação mássica de partículas, de forma a classificá-las de acordo com o tamanho. Com isso, é possível se ter uma medida da segregação dos nutrientes dos fertilizantes, o potencialmente compromete a aplicação no solo.

A extração das características geométricas das partículas - e sua posterior classificação - nem sempre é possível com operações simples de processamento de imagens. Do ponto de vista da classificação dos tipos de processo na teoria de PDI, esse tipo de problema é considerado de nível médio, uma vez que a entrada desse processo é uma imagem e a saída é um atributo dela, obtido após sucessivas operações. A sequência de técnicas utilizadas para resolver o problema é mostrada na Figura 1. Neste presente estudo, não se fará a primeira etapa, de aquisição de imagens laboratoriais; isto é, a imagem-padrão utilizada foi previamente adquirida.

A etapa de segmentação é fundamental para que se possa efetivar a análise granulométrica de imagem de entrada. No entanto, alguns passos anteriores são necessários, conforme mostrado pelo próprio diagrama anterior. Em especial, nota-se que é crucial que sejam feitos passos de pré-processamento anteriores à limiarização que segmenta a imagem. Em outras palavras, é importante que se altere características como o contraste e o brilho antes de binarizar a imagem. Esse tipo de operação afeta, por exemplo, a magnitude das variações de fundo que aparecerão na imagem binária. Uma abordagem possível, nesse sentido, é a equalização de histograma, que visa alterar a distribuição de frequência dos níveis de brilho de

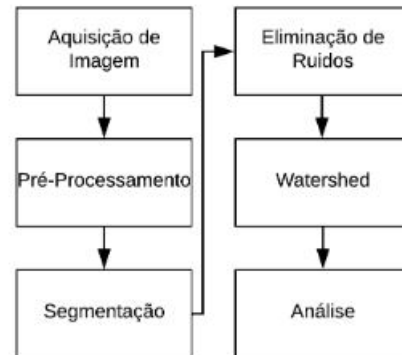


Figura 1. Sequência de Operações

dada imagem. A Figura 2 mostra a aplicação de um algoritmo de equalização de histograma adaptativa para uma imagem em níveis de cinza. Algumas dessas estratégias serão discutidas na Seção 3 A.

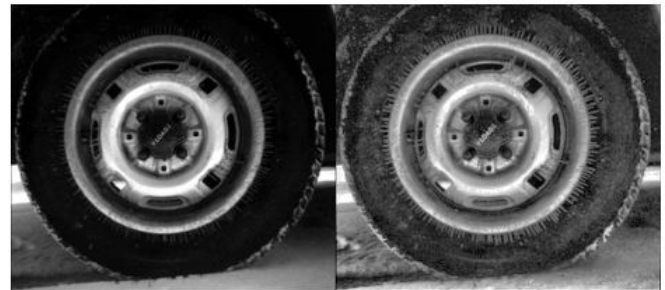


Figura 2. Exemplo da Aplicação de Equalização (direita)

Para que se complete a implementação, é necessário que se eliminem ruídos da imagem de entrada, de modo a evitar o comprometimento dos resultados obtidos pela granulometria. Uma forma atingir esse resultado é por meio de morfologia matemática. Por fim, é importante que se faça uma segmentação capaz de diferenciar elementos contíguos. Caso contrário, partículas individuais poderiam ser equivocadamente analisadas como um aglomerado. Para este fim, procede-se com um algoritmo de *watershed*, que se baseia no mapeamento dos mínimos da imagem para gerar a segmentação.

## II. METODOLOGIA

Na Seção 3 A, são mostrados os resultados de pré-processamento e limiarização. Dois algoritmos de limiarização são utilizados: o método de Otsu (*graythresh*) e o adaptativo (*adapthresh*). As operações de pré-processamento envolvem a transformada *top-hat* (*imtophat*), ajuste de contraste (*imadjust*), equalização de histograma adaptativo limitada por contraste (*adapthisteq*) e máscara de nitidez (*imsharpen*). Por meio de inspeção, estabelece-se o melhor critério para essas duas operações.

Na seção 3B, utiliza-se morfologia matemática para a eliminação de ruídos. A operação utilizada é a abertura de área (*bwareaopen*).

Na Seção 3C, são feitas duas operações em cascata: a transformada de distâncias (ou função de distâncias) e a transformada *watershed*. No primeiro caso, utiliza-se *bwdist*, enquanto que no segundo, *watershed*.

Implementada a segmentação, são extraídas as características desejadas das partículas: área, perímetro, circularidade e excentricidade. Além disso, é feita a contagem das partículas e compara-se com o valor real de partículas presentes na imagem. Todas essas operações são realizadas por meio da função *regionprops*. A partir dos resultados obtidos, propõe-se um novo método de eliminação de ruídos, de modo a evitar que os ruídos também tenham suas características extraídas, comprometendo a análise. O novo método de eliminação de ruídos é a abertura binária (*imopen*), com elemento estruturante quadrado. Por fim, os resultados do novo método são comparados aos do anterior.

## III. RESULTADOS

Esta seção se dedica a mostrar os resultados e discussões correlatos às operações realizadas sobre a imagem de base disposta na Figura 3. As subseções foram divididas conforme exposto na Seção 1.

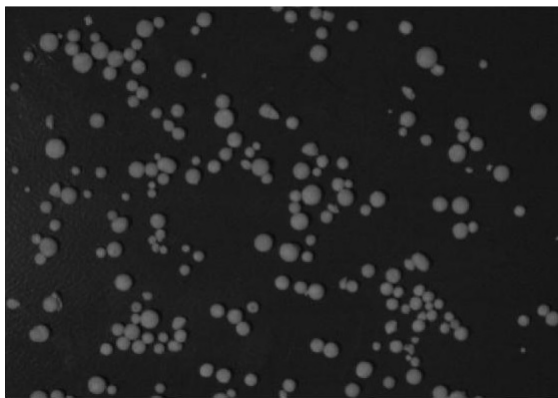


Figura 3. Imagem de Base em Níveis de Cinza

### A. Pré-Processamento e Segmentação

Nesta seção, algumas abordagens de pré-processamento seguidas de limiarização - consequentemente a segmentação - são discutidas. Em que pese visualmente algumas das imagens

obtidas nesta etapa se assemelhem, há uma mudança significativa no resultado final a depender de como a forma e o volume das partículas foi representado.

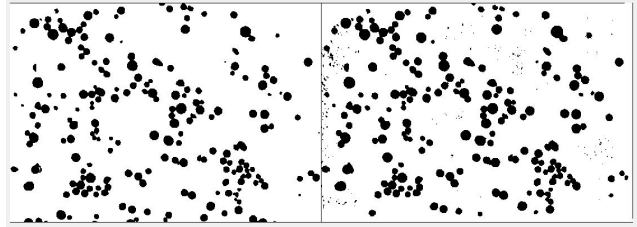


Figura 4. Binarização Direta a Partir do Complemento e Binarização Usando *Adapthresh*

A Figura 4 mostra dois resultados de pré-processamento seguido de binarização: à esquerda, utilizando-se o método de Otsu a partir do complemento da imagem original, e à direita, utilizando-se o método *adapthresh*. Observa-se que o segundo método introduz bastante ruído, ao passo que o primeiro traz resultados melhores, em que pese algumas partículas terem seu formato alterado.

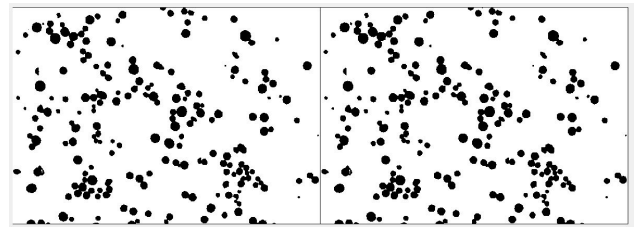


Figura 5. Limiarização Precedida de Aumento de Contraste e Limiarização Precedida de *Top-Hat* e Aumento de Contraste

A Figura 5 mostra mais duas abordagens: à esquerda o resultado de se fazer um aumento de contraste antes da limiarização, e à direita o resultado de se fazer o algoritmo de *top hat* seguido de aumento de contraste e limiarização. Observa-se que ambos os resultados são bastante próximos, o que indica que o *top hat* pouco contribuiu no resultado final. Entretanto, apesar de alguma alteração na circularidade das partículas, ambos os resultados são superiores aos da Figura 4.

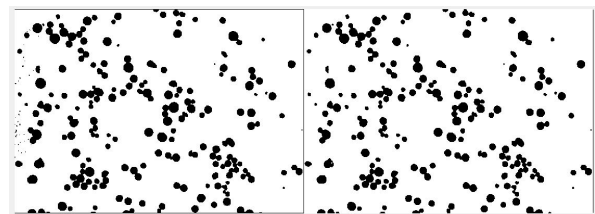


Figura 6. Limiarização Precedida de Equalização de Histograma Limitada por Contraste e Limiarização Precedida de Máscara de Nitidez

A Figura 6 mostra mais duas estratégias de pré-processamento: equalização de histograma limitada por contraste e máscara de nitidez (*unsharpen mask*). Novamente,

ambas não foram capazes de prover um resultado muito superior. No caso da máscara de nitidez, observou-se menos ruído na saída e menos deformação morfológica nas partículas. A ideia central desta abordagem é que os contornos fiquem ressaltados, de modo que, uma vez feita a binarização, as bordas dos elementos fiquem preservadas. De um modo geral, nota-se que as seis estratégias geraram resultados próximos, a menos de um grau maior de ruído e de deformação no formato das partículas em algumas delas. Além disso, foram feitos testes com filtros de suavização e de aguçamento, mas estes também não geraram bons resultados: no primeiro caso, as partículas tiveram seu tamanho aumentado, enquanto que no segundo, diminuído. Também não houve alteração significativa ao se aplicar um filtro de média antes da binarização.

### B. Eliminação de Ruídos

Para além da limiarização, é importante que se faça algum tipo de processamento para eliminar ruídos da imagem. Isso se deve ao fato de que a divisão feita adiante pelo *watershed* levará em conta os mínimos da imagem para traçar as linhas divisórias que completam a segmentação. Por esse motivo, é importante que se tenha um tratamento específico para esse problema. Caso contrário, não só as divisões estariam erradas, como as características coletadas - área e perímetro, por exemplo - também. No domínio espacial, é comum que se use filtros de média para a remoção de ruídos do tipo *salt and pepper*. Como a imagem utilizada como base para as próximas operações é a resultante da aplicação da máscara de nitidez seguida de limiarização (Figura 6), não houve necessidade de se usar filtro de média, já que o ruído referido não estava presente. Para a remoção dos ruídos, utilizou-se abertura morfológica de área, em que se definiu o raio do elemento estruturante por inspeção. A Figura 7 mostra o resultado da operação.

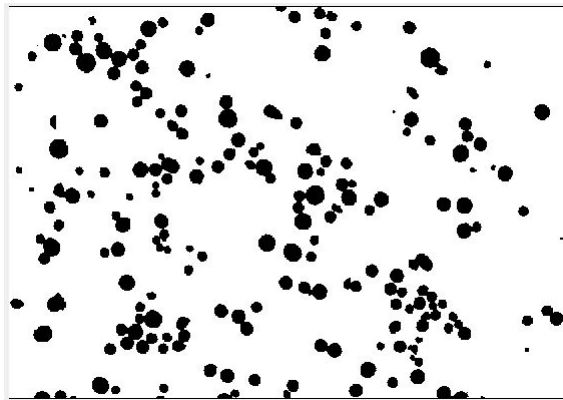


Figura 7. Resultado da Abertura Morfológica de Área

### C. Watershed

Nesta seção, analisa-se os resultados obtidos utilizando-se a técnica de *watershed*. Tendo em vista a natureza bimodal da imagem de entrada, é presumível que esse tipo de segmentação

é adequada. No entanto, alguns passos anteriores à transformação em si são necessários. Em primeiro lugar, toma-se a transformada de distância da imagem binária - que já passou pela eliminação de ruídos. Com isto, todos os *pixels* brancos da imagem receberão valor 0, enquanto que os pretos receberão o valor da distância euclidiana para o *pixel* diferente de 0 mais próximo. A transformada *watershed*, no entanto, utiliza os valores de mínimo para definir as linhas divisórias. De modo a adequar a função de distâncias à essa transformada e evitar a hipersegmentação, define-se todos os *pixels* do fundo com valor infinito utilizando a imagem binária como máscara para a operação. Em seguida, a imagem é invertida. Desse modo, garante-se o requisito dos mínimos locais e a transformada *watershed* pode ser utilizada nessa última imagem. A Figura 8 mostra os resultados da função de distâncias da imagem binária da Figura 7 e da implementação da segmentação.

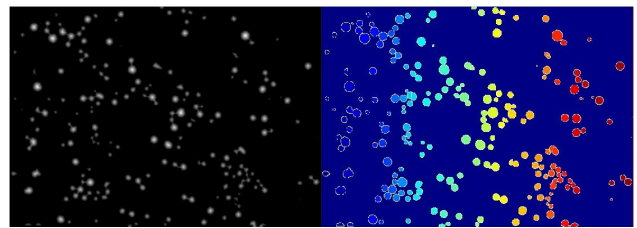


Figura 8. Função de Distâncias e *Watershed*

### D. Análise

Com a segmentação implementada, basta extrair as características de interesse das partículas já divididas. Nesse sentido, observa-se que a implementação do *watershed* é fundamental para que se evite a contagem de duas ou mais partículas adjacentes como apenas uma. A Tabela I reúne informações extraídas da imagem. Além disso, foram contadas 219 partículas. Entretanto, há apenas 213, de fato, na imagem. Um indício da presença de ruídos é também o fato de que foram encontradas seis partículas cuja área, em *pixels*, é inferior a 10.

	Área	Perímetro	Circularidade	Excentricidade
$\mu$	191.71	44.83	1.15	0.45
$\sigma$	128.11	17.21	0.59	0.20
max	615	85	6.54	0.99
min	2	1.96	0.29	0.1294

Tabela I

INFORMAÇÕES SOBRE AS PARTÍCULAS

Tendo em vista a diferença observada no número de partículas, propôs-se uma nova abordagem levando-se em conta que ela pode se dever a: a) ruídos não eliminados de forma correta; b) partículas que foram segmentadas em um ou mais pedaços. Para buscar uma solução a este problema, portanto, fez-se um novo processo de eliminação de ruídos sobre a imagem de Figura 7. Fez-se isto utilizando-se abertura binária com elemento estruturante quadrado, cujo tamanho foi estabelecido por inspeção. O restante dos procedimentos permaneceu inalterado. Na prática, as imagens também são

	Área	Perímetro	Circularidade	Excentricidade
$\mu$	193.46	45.18	1.13	0.45
$\sigma$	127.38	16.91	0.46	0.20
max	615	87.05	6.54	0.99
min	3	1.96	0.28	0.13

Tabela II

INFORMAÇÕES SOBRE AS PARTÍCULAS APÓS NOVA REMOÇÃO DE RUÍDOS

essencialmente as mesmas, à exceção dos ruídos removidos. Desse modo, conseguiu-se novos resultados, dispostos agora na Tabela II. Das 213 partículas presentes, 207 foram corretamente segmentadas e cinco delas foram subdivididas; uma delas não foi segmentada. Com efeito, os novos resultados obtidos são superiores aos de antes, mas ainda há problemas, como algumas partículas que foram divididas em duas. Este problema poderia ser resolvido por meio de algum outro método de segmentação.

#### IV. CONCLUSÕES

Do estudo realizado, constatou-se que a natureza bimodal da imagem de entrada contribuiu para os resultados obtidos, na medida em que a segmentação foi facilitada. No entanto, não é possível prescindir dos passos anteriores à segmentação em si, tendo em conta que é preciso preservar o formato original das partículas e eliminar os ruídos. Das seis propostas feitas de conjuntos de estratégias de pré-processamento e limiarização, observou-se que o melhor resultado foi obtido por meio da o emprego da máscara de nitidez em conjunto com o método de Otsu. Com respeito à eliminação de ruído, praticamente todos eles foram eliminados por meio da abertura de área. A importância de uma boa filtragem nessa etapa é verificada ao final, quando se extraem os parâmetros de interesse das partículas. Na etapa de implementação do *watershed*, obteve-se melhores resultados para traçar as linhas divisórias dos elementos por meio da pré-aplicação de uma transformada de distâncias. A análise de regiões a partir do *watershed* forneceu dados sobre a distribuição dos parâmetros geométricos das partículas, tais como a área, perímetro e excentricidade, os quais permitem avaliar a qualidade do produto na proposta em questão. No entanto, a contagem dos objetos revelou 219 partículas, quando havia somente 213. Após uma nova operação de remoção de ruído - abertura binária - e os mesmos passos subsequentes, a nova contagem realizada indicou 213 partículas. No entanto, algumas delas foram subdivididas e contadas mais de uma vez, o que indica que a remoção de ruídos também apagou partículas pequenas e que a implementação do *watershed* não foi perfeita. Por esse motivo, para que se tenha um resultado superior na extração dos parâmetros das partículas, é recomendável que se tente uma forma alternativa de segmentação. Deve-se ressaltar, ainda, que o resultado foi obtido para somente uma imagem, o que impede de generalizá-lo para diversos casos.