

# CARACTERIZAÇÃO DE AGREGADOS MIÚDOS POR ANÁLISE DE IMAGEM

Mariana Januthe<sup>1</sup>; Wilgner Christ de Almeida Prata<sup>1</sup>; Poline Fernandes Fialho<sup>2</sup>.

1. Acadêmico de Engenharia Civil na Faculdade Brasileira – Multivix Vitória

2. Mestra em Engenharia Civil na UFES, docente na Faculdade Brasileira - Multivix Vitória

## RESUMO

Sendo a forma do agregado miúdo tão importante em concretos, argamassas e misturas asfálticas, podendo influenciar as propriedades desses materiais e desta maneira na vida útil do projeto, sua caracterização deve ser realizada com maior confiabilidade. Atualmente essa caracterização é realizada por análise visual, sendo que esta técnica além de demorada, é subjetiva e dependente da experiência do operador, existindo a possibilidade de divergências na classificação do agregado. Este trabalho foi elaborado no intuito de desenvolver um método que torne o processo de classificação rápido, confiável sendo com menor suscetibilidade a erros e automatizado para análise de grãos, utilizando a forma do agregado graúdo como parâmetro principal na elaboração de intervalos numéricos para possibilitar a caracterização do agregado miúdo. Reunindo um conjunto de informações para que seja possível detalhar com mais clareza, agilidade e precisão a forma do agregado miúdo por uma análise computacional de imagem de grãos, utilizando o software ImageJ. Este estudo de caso objetivou a criação de intervalos numéricos para a classificação de agregado miúdo com uma melhor precisão através de uma análise computacional, já que os parâmetros fornecidos pela análise visual estabelecida pela NBR 7389-1 (ABNT, 2009) não é um método de classificação confiável, dependendo da experiência do operador. A obtenção das imagens foi realizada por meio de fotografias dos grãos. Para isto foram utilizadas ferramentas que auxiliaram a nitidez, contraste e a eliminação de sombras das fotografias dos agregados miúdos. Com base nos intervalos encontrados é possível, utilizando o software ImageJ, classificar diversos tipos de agregado miúdo por sua forma por meio de imagens.

Palavras-chave: Agregado. Análise computacional. ImageJ. Forma. Parâmetros.

## INTRODUÇÃO

As características fundamentais dos agregados são denominadas parâmetros ou propriedades texturais (SUGUIO, 1973). O estudo dos parâmetros texturais dos agregados e a caracterização principalmente da sua forma, é de fundamental importância, visto que têm influência significativa em concretos, argamassas e misturas asfálticas. Em concretos, esta influência está relacionada à dosagem, através da teoria do empacotamento das partículas. A forma do agregado altera a demanda de água da mistura em argamassas, interferindo assim no consumo de cimento. Por fim, em misturas asfálticas, a forma tem o poder de gerar trincas por fadiga ou deformações permanentes.

Sendo assim, a forma dos grãos uma propriedade tão importante, esta caracterização deve ser feita com mais precisão, visto que, atualmente o procedimento para caracterização da forma do agregado miúdo é realizado por comparação visual. Entretanto, além de demorada, essa técnica de ensaio acaba por ser subjetiva e muito dependente da experiência do operador. Diante disto, este projeto tem por objetivo propor o software ImageJ como um método computacional válido, preciso, rápido, e automatizado, para caracterização da forma

do agregado miúdo quanto à forma do grão, utilizando, porém, quantidades maiores de amostra a fim de estabelecer maior precisão e confiabilidade nos resultados, para elaboração de parâmetros.

Desenvolvendo um método eficaz para capturar imagem dos agregados, neutralizando qualquer tipo de sombra para diminuir a incerteza da sua forma, a fim de exportar tal imagem para o software ImageJ, é possível estabelecer uma relação numérica entre a circularidade e o grau de arredondamento, além de indicar um intervalo numérico que relacione a razão dos diâmetros Ferret dos grãos e o grau de esfericidade, sendo, assim, possível analisar os grãos de acordo com os intervalos criados.

## **REFERENCIAL TEÓRICO**

As características fundamentais dos agregados são denominadas parâmetros ou propriedades texturais. O detalhamento dos parâmetros texturais é necessário visto que há grande diversidade de agregados miúdos. Os tamanhos, expressos em termos de distribuição granulométrica, a textura superficial, a forma representada pelo arredondamento e esfericidade, área superficial e a composição mineralógica fazem parte dos parâmetros texturais dos grãos. Normalmente para que seja analisada a influência dos aspectos geométricos dos grãos de solo é utilizado o ensaio de peneiramento para tal avaliação. Entretanto esse ensaio não permite uma verificação de parâmetros como formato do grão e rugosidade (ARAUJO, 2001; TRISTÃO, 2005).

Segundo Gouveia et al. (2015) a classificação de suas características de forma não é uma tarefa fácil, tendo em vista que os agregados são materiais naturais e heterogêneos que podem apresentar elevada variabilidade e magnitude do conjunto forma/angularidade e desta maneira um mesmo tipo de agregado pode apresentar formas bem distintas.

A microestrutura da rocha matriz, o grau de intemperismo ao qual ela é exposta e as condições do processo de fabricação são os fatores que influenciam nas características do agregado (ISAIA, 2010).

Agregados miúdos naturais tendem a ser arredondados devido à abrasão, ao atrito, e ao efeito cumulativo de colisões múltiplas que geram perda de vértices e arestas como, por exemplo, areias de depósitos eólicos, assim como areias e pedregulhos de zonas marítimas ou leitos de rio. A forma dos agregados miúdos provenientes de trituração depende de fatores tais como, composição da rocha-mãe, modo de fratura, coordenação durante a trituração e a relação de redução, sendo que a tendência do processo de trituração é produzir partículas angulares de forma afiada. O processo de produção dos agregados nas pedreiras pode afetar significativamente a qualidade dos mesmos, devido à influência da britagem nas propriedades de forma e na granulometria dos agregados produzidos (MARQUES, 2001).

A importância em se classificar a forma do agregado miúdo está na sua influência no concreto, argamassas e misturas asfálticas. No concreto, a forma do agregado exerce maior influência do que a distribuição granulométrica, tanto no consumo de cimento quanto na resistência. A forma das partículas exerce uma influência muito grande na produção de concretos,

principalmente sobre a trabalhabilidade, compacidade, ângulo de atrito interno e quantidade da água de amassamento necessária à mistura (COUTINHO, 1997).

Na dosagem do concreto o empacotamento tem que ser o mais denso possível, sendo que de acordo com CASTRO (2009), uma série de fatores pode alterar o empacotamento de um determinado conjunto de partículas, dois deles é a existência de partículas com distribuições granulométricas diversas e a morfologia das partículas.

No caso do agregado miúdo, sua forma e textura superficial têm um efeito significativo sobre a demanda de água de amassamento da mistura, enquanto a lamelaridade e a forma do agregado graúdo geralmente têm um efeito apreciável sobre a trabalhabilidade do concreto (NEVILLE, 1997).

De acordo com Gouveia et al. (2015), muitos dos defeitos dos pavimentos podem estar diretamente relacionados à escolha inadequada dos agregados, já que estes constituem 90 % do volume total das misturas asfálticas e têm como função principal formar seu esqueleto estrutural, responsável por resistir ao movimento dos veículos. Desta maneira, devido às suas características de forma passam a formar esqueletos estruturais muito rígidos ou muito deformáveis o que pode vir a causar problemas como trincas por fadiga e deformações permanentes.

Tristão (2005) observou, em estudos realizados com argamassas que as propriedades destas no estado fresco foram alteradas em função da forma do agregado, sendo que quanto mais arredondado e esférico o grão, menor a quantidade de pasta de argamassa, o que implica em menor consumo de aglomerante e de água de emassamento. Ainda segundo Tristão (2005) a forma dos grãos do agregado miúdo deve ser representada através da determinação do arredondamento e da esfericidade. O arredondamento se relaciona com o grau de curvatura dos cantos e o grau de esfericidade mostra o quanto o grão se aproxima da forma esférica.

D'Agostino (2008), define o arredondamento como o grau de abrasão de uma partícula demonstrado por quão agudas são suas bordas e cantos. E define que a esfericidade está relacionada com a forma geral da partícula, retratando a similaridade entre o comprimento da partícula, a altura e a largura.

A tabela de Rittenhouse permite a análise por comparação visual convencional e classifica a esfericidade numericamente de 0,45 até 0,97 (Rittenhouse, 1943). Quanto mais próximo de 1 for o grau de esfericidade, mais a forma da partícula se aproxima de uma esfera.

Segundo a NBR 7389-1 (ABNT, 2009), deve-se avaliar a forma do grão visualmente, ou com auxílio de lupa, e compara-se com padrões que indicam o grau de esfericidade e arredondamento.

Conforme Ferreira Junior e Camarini (2002), com a evolução dos computadores, e o progresso da aquisição, armazenagem, apresentação de imagens, e dos novos algoritmos e softwares, pesquisadores da área da engenharia civil também passaram a utilizar a análise

automática de imagens para caracterizar seus materiais por um método mais acessível e com bases estatísticas.

N. Olszewski et. al (2004) utilizou a análise de imagens para a detecção de mudanças na morfologia dos agregados do solo, utilizando como recurso o programa de computador denominado UTHSCSA Image Tool (Wilcox et al., 1997), sendo que ao final do estudo concluiu-se que esta análise foi satisfatória ao seu objetivo e constitui uma ferramenta promissora nos estudos da estrutura do solo.

O software ImageJ, desenvolvido por Wayne Rasband do Research Services Branch, National Institute of Mental Health, Bethesda, Maryland, é a ferramenta para processamento e análise das imagens. O software ImageJ é viável para uso na análise da forma do agregado miúdo, visto que o mesmo já existe há mais de vinte e cinco anos, durante os quais o mesmo vem recebendo atualizações conforme Schneider (2012), além de ser o programa pioneiro em análise de imagens, o mesmo é atualmente uma moderna plataforma de processamento de imagens com uma interface que um usuário que utilizou o programa há mais de 20 anos, iria reconhecer e prontamente utiliza-lo.

O mesmo software foi utilizado com sucesso na análise das imagens para a comparação das propriedades do agregado natural e o triturado (ARASAN, 2010), onde os autores utilizaram o programa para analisar as imagens superiores e frontais dos grãos dos agregados, as imagens foram então processadas pelo ImageJ e os dados transferidos para o programa Excel, tais dados continham informações de cada agregado como área e perímetro, dentre outros, e ao fim do estudo obtendo com sucesso importantes conclusões sobre os agregados estudados.

## **METODOLOGIA**

A pesquisa realizada neste projeto pode ser classificada como exploratória, utilizando como procedimento técnico um estudo de caso, objetivando a criação de intervalos numéricos para a classificação de agregados miúdo com uma melhor precisão através de uma análise computacional, já que os parâmetros fornecidos pela análise visual estabelecida pela NBR 7389-1 (ABNT, 2009) não é um método de classificação confiável, dependendo da experiência do operador.

O termo análise de imagem designa a análise computacional de imagens digitalizadas. Neste projeto a obtenção das imagens será realizada por meio de fotografias dos grãos. Para isto serão utilizadas ferramentas que auxiliem na nitidez, contraste e na eliminação de sombras das fotos.

## **MÉTODOS UTILIZADOS PARA ELABORAÇÃO DOS PARÂMETROS**

### **Métodos da coleta e classificação dos grãos**

Foi coletado uma amostra total de 360 grãos graúdos, escolhendo-os de forma que estatisticamente se comportassem como uma distribuição normal. Sendo que metade destes de esfericidade alta e a outra metade de esfericidade baixa. Após a coleta os mesmos foram separados por sua classificação de circularidade e de esfericidade conforme a NBR 7809 (ABNT, 2006).

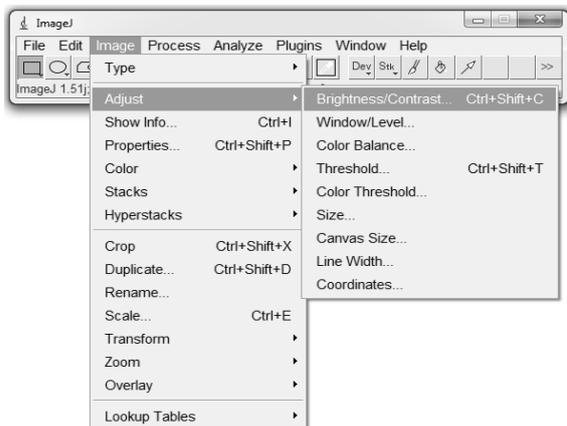
### Métodos da fotografia dos grãos graúdos

Após o processo de separação e classificação dos grãos graúdos, iniciou-se a etapa de fotografar os grãos. Com os grãos separados foram posicionados em cima de um plano de folha A4 de cor branca, com o intuito de ter um bom contraste. As luminárias foram posicionadas de forma equidistante formando um círculo aéreo sobre os grãos, e a câmera foi posicionada no centro do círculo formado pelas luminárias e também de forma aérea, possibilitando assim o máximo possível na eliminação de sombras que pudessem equivocar o software sobre as reais dimensões dos grãos.

### Métodos de tratamento de imagem no software

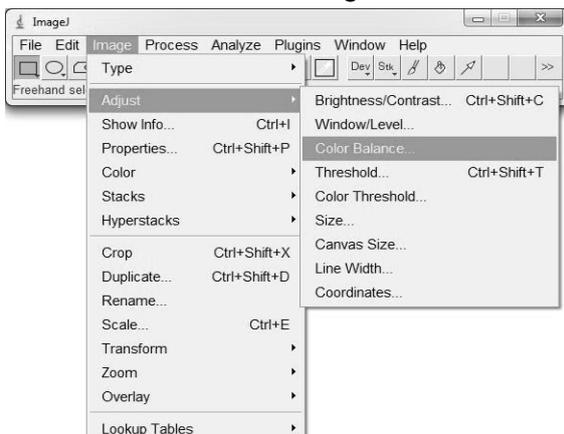
O software ImageJ, desenvolvido por Wayne Rasband do Research Services Branch, National Institute of Mental Health, Bethesda, Maryland, é a ferramenta utilizada para o processamento e a análise das imagens. Primeiramente, as imagens serão tratadas, ajustando o brilho e o contraste, a fim de facilitar o reconhecimento das bordas dos grãos e, assim, se obter uma imagem binária que permite separar os contornos dos grãos do fundo. Para isso, serão utilizadas as ferramentas indicadas para o processamento inicial das imagens que estão localizados na aba Image → Adjust → Brightness/Contrast ou Image → Adjust → Color Balance, conforme Figuras 1 e 2, respectivamente.

Figura 1 – Ferramenta de processamento inicial.



Fonte: ImageJ, 2017.

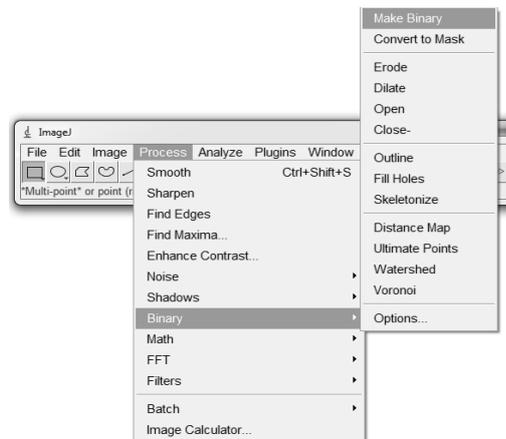
Figura 2 – Ferramenta de processamento inicial



Fonte: ImageJ, 2017.

Após a aplicação das ferramentas básicas de processamento e a imagem estar praticamente binarizada, será aplicada a ferramenta de binarização que está na aba *Process* → *Binary* → *MakeBinary*, conforme Figura 3.

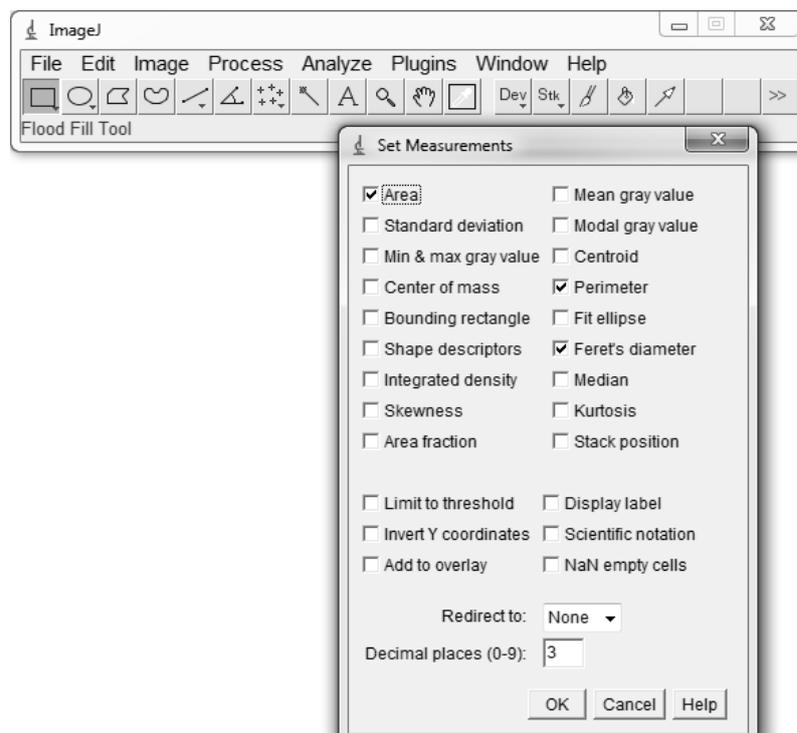
Figura 3 – Ferramenta de Binarização



Fonte: ImageJ, 2017.

Posteriormente à binarização, com o software ImageJ as imagens serão analisadas, proporcionando dados como área, perímetro, diâmetro de Ferret, entre outros parâmetros. Para isso, os parâmetros desejados serão selecionados no software na aba *Analyze* → *Sets Measurements*, como mostram as Figuras 4 e 5.

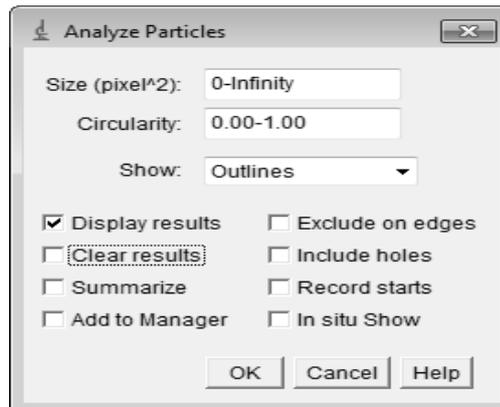
Figura 5 – Ferramenta de seleção de parâmetros.



Fonte: ImageJ, 2017.

Após a escolha dos parâmetros, na aba *Analyse* → *AnalyseParticles* será aberta uma janela, as configurações serão ajustadas como na Figura 6, para que o resultado seja uma tabela com os valores desejados e uma imagem com o contorno dos grãos e a numeração dos mesmos.

Figura 6 – Ferramenta para análise das partículas.



Fonte: ImageJ, 2017.

Esse processo foi efetuado em 8 etapas divididas pela classificação dos grãos em relação às arestas e vértices (angulosos, semiangulosos, arredondados e semiarredondados) e em quanto às dimensões (esfericidade alta e esfericidade baixa). A fim de obter os resultados separadamente de cada classificação.

### **Método da obtenção dos intervalos numéricos de classificação da forma dos grãos**

Após a obtenção das dimensões dos grãos separados pela classificação da NBR 7809 (ABNT, 2006), é possível calcular a circularidade para cada classificação, com isso se tem a relação de parâmetros numéricos utilizando a média da circularidade dos grãos de cada classe, e como a amostra se comporta como uma distribuição normal, constatasse a possibilidade de um grau de confiança de 95% nos intervalos obtidos. Como o valor numérico encontrado para circularidade do agregado graúdo é adimensional, logo pode-se aplicar os mesmos parâmetros encontrados para a classificação do agregado miúdo.

## **MÉTODOS UTILIZADOS PARA CLASSIFICAÇÃO DO AGREGADO MIÚDO**

### **Métodos do preparo para a classificação dos grãos**

Foi coletado uma amostra de 100g de areia lavada para concretagem, a mesma foi peneirada para garantir a redução de sujeira, após o peneiramento da areia iniciou-se o processo de

secagem onde a amostra foi colocada num forno elétrico a 300 ° C durante 10 minutos para a remoção de umidade, e com a areia seca iniciou-se o processo de fotografia dos grãos.

### **Método de fotografar os grãos**

Para realizar o processo de captura de imagem dos grãos miúdos, a amostra de 100g por ter uma quantidade muito maior de grãos em relação a amostra dos graúdos, a mesma foi posicionada e dividida em 4 planos com dimensões de 21cm x 29,7cm para cada plano, obtendo-se um peso de 25g de areia por plano. Os demais métodos se repetem de acordo com os procedimentos citados anteriormente no item métodos utilizados para fotografar os grãos graúdos.

### **Métodos de tratamento de imagem no software**

Para manuseio do software repete-se os mesmos procedimentos citados anteriormente no item referente a utilização do imageJ, em métodos utilizados para elaboração dos parâmetros, diferindo apenas na quantidade de grãos analisados.

## **APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS**

Neste tópico estão apresentados e discutidos os resultados obtidos no programa experimental. A fim de facilitar a leitura e compreensão, inicialmente são abordados os resultados relativos à definição dos parâmetros para análise dos grãos e, posteriormente, a caracterização dos grãos de areia baseada nos parâmetros previamente definidos.

### **DEFINIÇÃO DE PARÂMETROS**

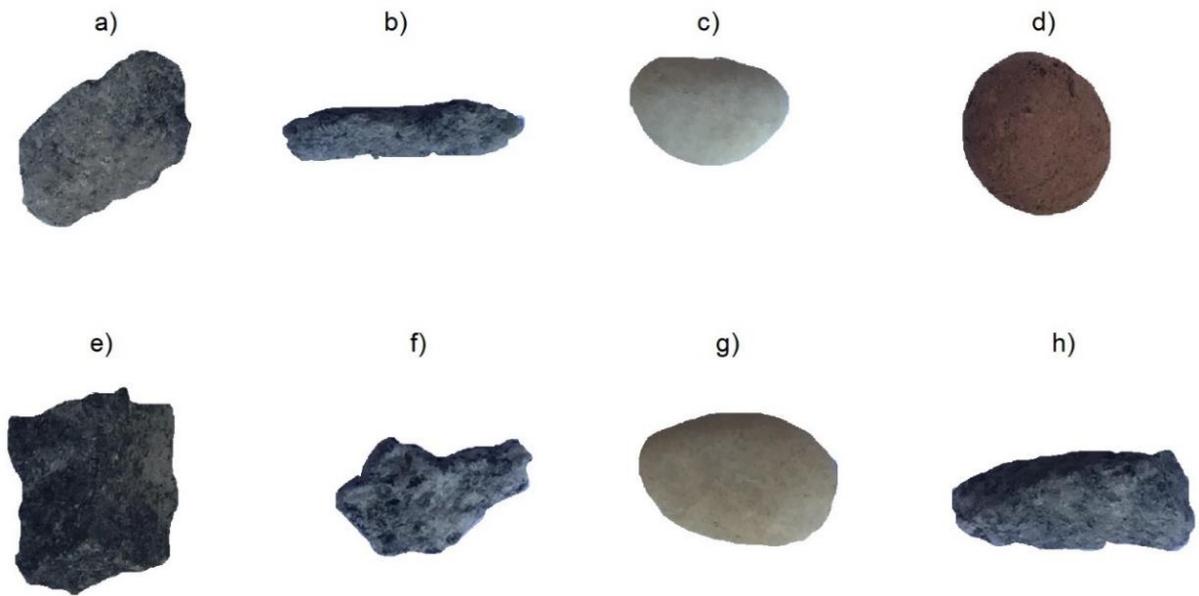
A determinação dos parâmetros para análise do agregado miúdo foi realizada através da análise dos grãos de agregado graúdo no software ImageJ, estes que por sua vez tem sua forma definida de acordo com a NBR 7809 (ABNT, 2006) que garante maior precisão em relação a sua forma por apresentar dimensões maiores, possibilitando a criação de intervalos numéricos que permitem classificar a forma do agregado.

### **ANÁLISE DE IMAGENS**

O software ImageJ, após o tratamento das imagens, é capaz de definir o contorno do agregado e a partir deste fornece dados, tais como, área, perímetro, maior e menor diâmetro de Ferret.

De acordo com Arnold (2011), a forma do grão é a feição exterior que o grão do agregado apresenta quanto à relação de dimensões (grão alongado, grão esférico, grão cúbico, grão lamelar, grão discóide ou grão quadrático), arestas e cantos (grão anguloso ou grão arredondado).

Figura 7 – a) Grão Cúbico (Brita 1), b) Grão Alongado (Brita 1), c) Grão Discoide (Seixo Rolado), d) Grão Esférico (Argila Expandida), e) Grão Quadrático (Brita 1), f) Grão Anguloso Brita 1), g) Grão Arredondado (Seixo Rolado), h) Grão Lamelar (Brita 1)

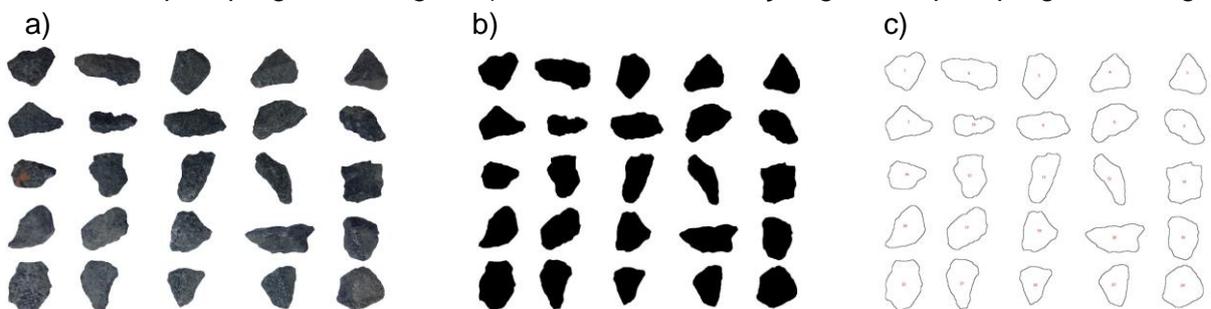


Fonte: Elaborada pelos autores, 2017.

Em vista disso, após o estudo dos parâmetros fornecidos pelo programa e observação do contorno da amostra de grãos, verifica-se que sua classificação quanto à forma deve estar relacionada às dimensões, dividindo-os em agregados de esfericidade alta e esfericidade baixa, e às arestas e cantos, agrupando-os em agregados angulosos, semiangulosos, semiarredondados e arredondados.

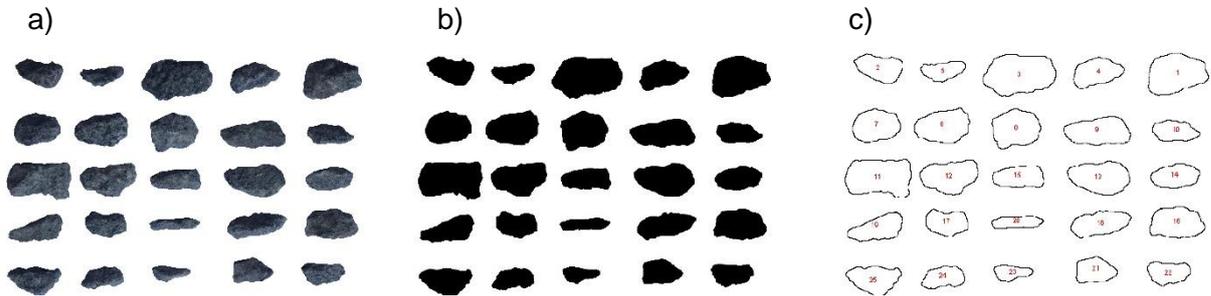
Na Imagem 8 a amostra possui característica de agregado angularo com esfericidade alta, pois apresenta grãos com dimensões semelhantes e arestas acidentadas. Enquanto que a amostra representada pela Imagem 9 é identificada com grãos angulosos de esfericidade baixa, pois apesar de possuir as arestas caracteristicamente acidentada suas dimensões são distintas umas das outras.

Figura 8 – a) Imagem do agregado graúdo (Grau de esfericidade alta, angularo), b) Imagem binarizada pelo programa ImageJ, c) Contorno e numeração gerados pelo programa ImageJ



Fonte: Elaborada pelos autores, 2017.

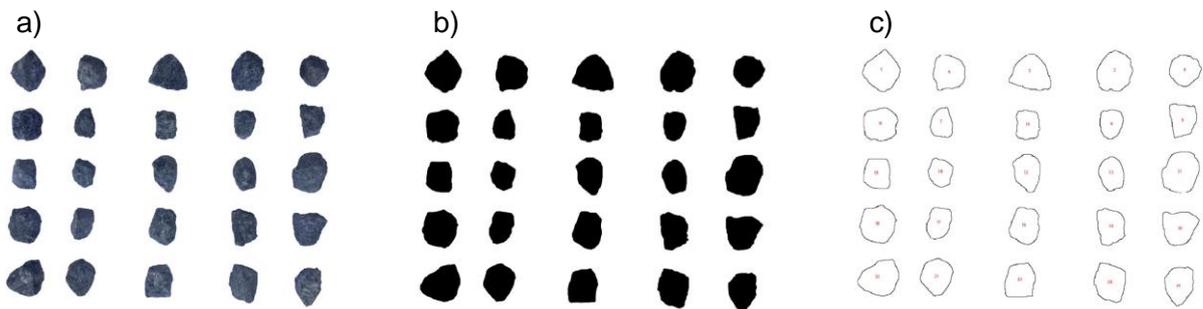
Figura 9 – a) Imagem do agregado gráudo (Grau de esfericidade baixa, anguloso), b) Imagem binarizada pelo programa ImageJ, c) Contorno e numeração gerados pelo programa ImageJ



Fonte: Elaborada pelos autores, 2017.

Os grãos que possuem arestas medianamente acidentadas, são classificados em agregados semiangulosos, os de esfericidade alta apresentados na imagem 10 e os de esfericidade baixa em 11.

Figura 10 – a) Imagem do agregado gráudo (Grau de esfericidade alta, semianguloso), b) Imagem binarizada pelo programa ImageJ, c) Contorno e numeração gerados pelo programa ImageJ



Fonte: Elaborada pelos autores, 2017.

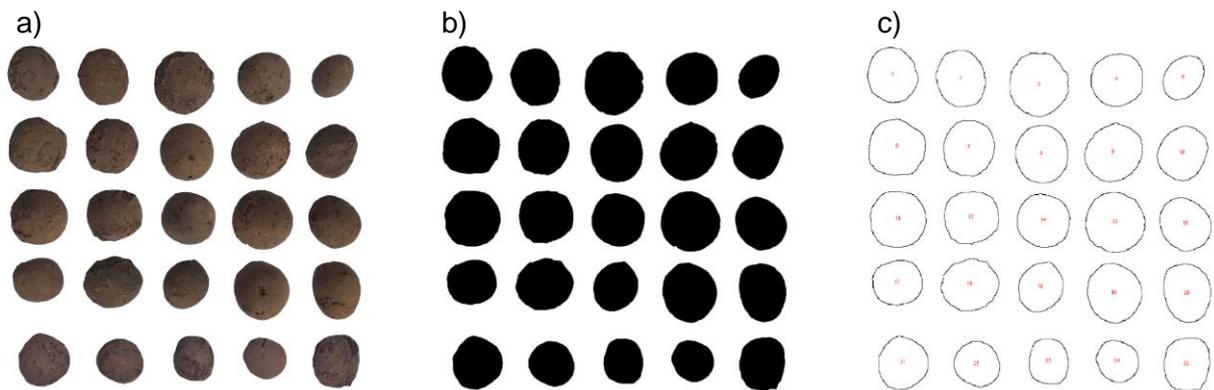
Figura 11 – a) Imagem do agregado gráudo (Grau de esfericidade baixa, semianguloso), b) Imagem binarizada pelo programa ImageJ, c) Contorno e numeração gerados pelo programa ImageJ



Fonte: Elaborada pelos autores, 2017.

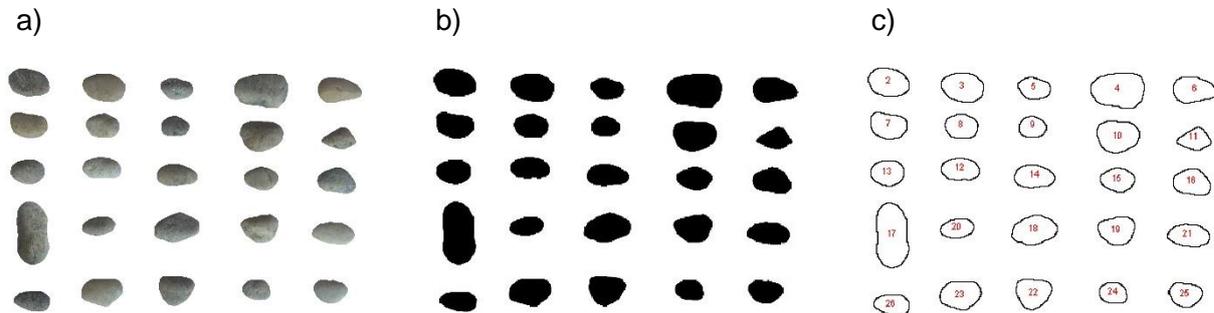
A amostra exposta nas Imagens 12 e 13 apresenta um agregado arredondado visto que possuem poucos vértices e arestas no seu formato, na qual os grãos também estão separados quanto às dimensões em esfericidade alta e baixa.

Figura 12 – a) Imagem do agregado graúdo (Grau de esfericidade alta, Arredondado), b) Imagem binarizada pelo programa ImageJ, c) Contorno e numeração gerados pelo programa ImageJ



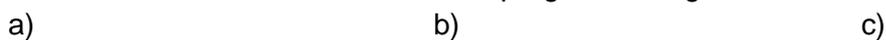
Fonte: Elaborada pelos autores, 2017.

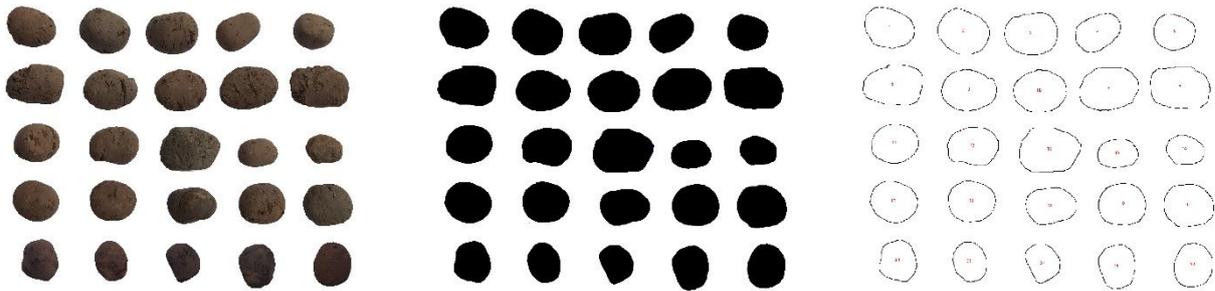
Figura 13 – a) Imagem do agregado graúdo (Grau de esfericidade baixa, Arredondado), b) Imagem binarizada pelo programa ImageJ, c) Contorno e numeração gerados pelo programa ImageJ



Por fim, tem-se os agregados semiarredondados, exibidos nas Imagens 14 e 15, que são aqueles que são medianamente arredondados por ainda possuírem vértices e arestas.

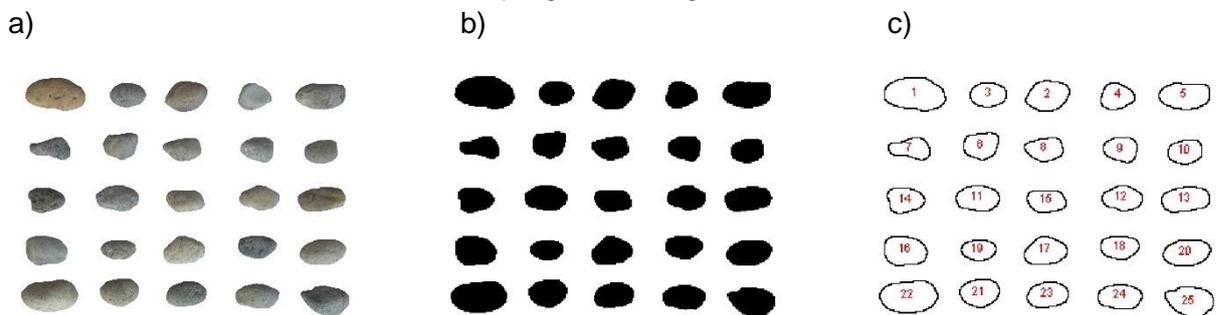
Figura 14 – a) Imagem do agregado graúdo (Grau de esfericidade alta, Semiarredondado), b) Imagem binarizada pelo programa ImageJ, c) Contorno e numeração gerados pelo programa ImageJ





Fonte: Elaborada pelos autores, 2017.

Figura 15 – a) Imagem do agregado graúdo (Grau de esfericidade alta, Semiarredondado), b) Imagem binarizada pelo programa ImageJ, c) Contorno e numeração gerados pelo programa ImageJ



Fonte: Elaborada pelos autores, 2017.

### FORMULAÇÃO DE INTERVALOS NUMÉRICOS

Segundo Tristão (2005) a forma dos grãos do agregado miúdo deve ser representada através da determinação do arredondamento e da esfericidade. O arredondamento está relacionado com o grau de curvatura dos cantos e o grau de esfericidade mostra o quanto o grão se aproxima da forma esférica.

Rittenhouse (1943) definiu esfericidade como a relação entre o diâmetro do círculo com uma área igual à projeção da partícula e ao diâmetro do menor círculo circunscrito à partícula, o que está evidenciado na equação 1. Ainda de acordo com Rittenhouse (1943), o grau de esfericidade pode variar de 0 a 1, apesar que na prática esses valores vão de 0,45, para partículas mais alongadas, a 0,97 para partículas muito esféricas.

$$\text{Esfericidade} = \frac{\text{Diâmetro de Ferret Menor}}{\text{Diâmetro de Ferret Maior}} \quad (1)$$

D'Agostino (2004) ao analisar a forma dos grãos propôs o cálculo da circularidade a partir da equação 2, possibilitando que este parâmetro fosse calculado a partir da área e do perímetro do agregado, fornecidos pelo ImageJ na análise de imagem do agregado.

$$\text{Circularidade} = \frac{4 \times \pi \times \text{Área}}{(\text{Perímetro})^2}$$

(2)

Ao analisar, estatisticamente, a circularidade do conjunto de agregados de cada classificação verifica-se através do baixo valor calculado de desvio padrão, que os dados obtidos para cada grão não se dispersam muito em torno da média, como pode ser observado nas Tabelas 1 e 2.

Tabela 1: Elaboração dos intervalos numéricos para classificação da forma do agregado de esfericidade alta em função da circularidade média e do desvio padrão da Distribuição Normal.

<b>Classificação</b>	<b>Circularidade Média</b>	<b>Desvio Padrão</b>
Anguloso	0,70	0,01
Semianguloso	0,76	0,02
Semiarredondado	0,86	0,03
Arredondado	0,93	0,005

Fonte: Elaborada pelos autores, 2017.

Tabela 2: Elaboração dos intervalos numéricos para classificação da forma do agregado de esfericidade baixa em função da circularidade média e do desvio padrão da Distribuição Normal.

<b>Classificação</b>	<b>Circularidade Média</b>	<b>Desvio Padrão</b>
Anguloso	0,48	0,02
Semianguloso	0,54	0,01
Semiarredondado	0,60	0,02
Arredondado	0,66	0,01

Fonte: Elaborada pelos autores, 2017.

Sendo assim, é possível estabelecer os intervalos através da análise de Distribuição Normal, a um nível de confiança de 95%. As Tabelas 3 e 4 demonstram os intervalos de circularidade obtidos em cada tipo de classificação, dividindo a amostra em esfericidade alta e esfericidade baixa.

Tabela 3: Classificação da forma do agregado em função do intervalo de circularidade para esfericidade alta.

<b>Classificação</b>	<b>Circularidade</b>
Anguloso	$0,68 \leq \text{circularidade} < 0,72$
Semianguloso	$0,72 \leq \text{circularidade} < 0,80$
Semiarredondado	$0,80 \leq \text{circularidade} < 0,92$
Arredondado	$0,92 \leq \text{circularidade} < 0,94$

Fonte: Elaborada pelos autores, 2017.

Tabela 4: Classificação da forma do agregado em função do intervalo de circularidade para esfericidade baixa.

Classificação	Circularidade
Anguloso	$0,44 \leq \text{circularidade} < 0,52$
Semianguloso	$0,52 \leq \text{circularidade} < 0,56$
Semiarredondado	$0,56 \leq \text{circularidade} < 0,64$
Arredondado	$0,64 \leq \text{circularidade} < 0,68$

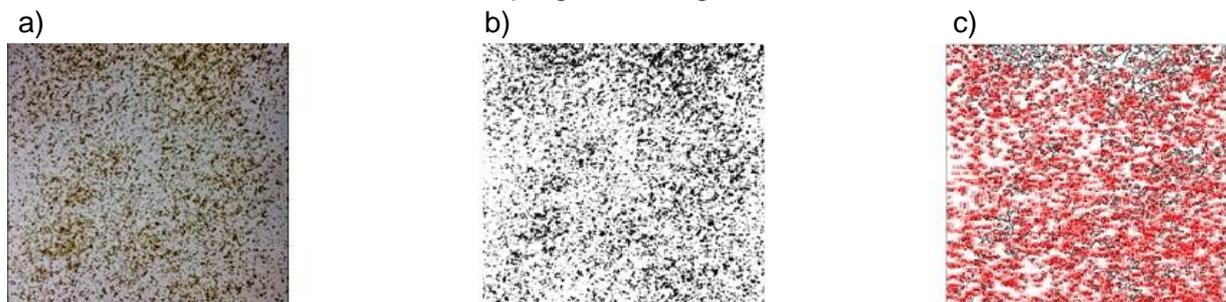
Fonte: Elaborada pelos autores, 2017.

Com base nesses intervalos é possível, utilizando o software ImageJ, classificar qualquer tipo de agregado miúdo por sua forma.

#### CARACTERIZAÇÃO DOS GRÃOS DE AREIA

A análise de 100 g de areia lavada, utilizando o software ImageJ e os parâmetros previamente definidos para a caracterização do agregado miúdo e obtenção do contorno dos grãos, ilustrados na imagem 16, contabilizou um total de 11623 grãos, que através das Fórmulas (1) e (2) apresentou 0,6 de esfericidade média e 0,83 de circularidade média.

Figura 16 – a) Imagem do agregado miúdo (Grau de esfericidade alta, Semiarredondado), b) Imagem binarizada pelo programa ImageJ, c) Contorno e numeração gerados pelo programa ImageJ



Fonte: Elaborada pelos autores, 2017.

Comparando os valores de esfericidade e circularidade da amostra de areia lavada com os parâmetros criados, que estão apresentados no item 4.1.2, é possível caracterizar essa amostragem de grãos como agregado miúdo semiarredondado de esfericidade alta.

Como a classificação da circularidade é de um conjunto de grãos com característica de arestas e vértices semiarredondados, infere-se que a amostra é de agregados naturais, pois segundo Marques (2001), agregados com este tipo de origem tendem a ser arredondados devido à abrasão, ao atrito, e ao efeito cumulativo de colisões múltiplas que geram perda de vértices e arestas como, por exemplo, areias de depósitos eólicos, assim como areias e pedregulhos de zonas marítimas ou leitos de rio.

Agregados semiarredondados e de esfericidade alta, como os da amostra analisada, exigem menor consumo de aglomerante e de água de emassamento, pois Tristão (2005) observou em seus estudos com argamassas, que as propriedades no estado fresco foram alteradas em função da forma do agregado, sendo que quanto mais arredondado e esférico o grão, menor

a quantidade de pasta de argamassa, em vista da menor área superficial que os agregados arredondados tem em relação aos agregados angulosos. Como requer menor quantidade de água, há também influência na resistência à compressão, em concretos, que tende ser maior devido ao aumento da trabalhabilidade da mistura através do grão.

Em pavimentos asfálticos, conforme Cross e Brown (1992), quanto mais arredondado o agregado, menor deve ser o inter travamento entre suas partículas, portanto, menor também deve ser a resistência à deformação permanente da mistura asfáltica formada. Neste caso é necessária cautela com a utilização deste agregado pois com a resistência à deformação permanente baixa, podem surgir defeitos por fadiga no pavimento antes do período de vida útil determinado em projeto.

## CONCLUSÃO

A partir dos resultados obtidos conclui-se que o software ImageJ é um método válido, rápido, e confiável para a realização da caracterização do agregado miúdo. Os parâmetros obtidos com a análise do agregado graúdo apresentaram, analisando pela Distribuição Normal, confiabilidade de 95 %, o que torna os intervalos de classificação válidos para classificação do agregado miúdo. Desta maneira, a amostra de areia analisada foi classificada com sucesso, sendo caracterizada como agregado miúdo semiarredondado de esfericidade alta, o que indica que se trata de um agregado natural. Além de implicar que este agregado melhorará a trabalhabilidade em concretos e argamassas, e assim diminuirá o consumo de aglomerante e água de amassamento de determinada mistura em relação a uma areia angulosa. Assim sendo, este estudo fornece informações relevantes para a escolha dos grãos a serem utilizados nas misturas da construção civil, que podem influenciar significativamente na vida útil do projeto.

## REFERÊNCIAS

ARASAN, Seracettin; HASILOGLU, A. Samet; AKBULUT, Suat. Shape properties of natural and crushed aggregate using image analysis. **International Journal of Civil and Structural Engineering**, v. 1, n. 2, p. 221, 2010.

ARAUJO, G. S. **Estudo dos parâmetros texturais das areias para argamassas de revestimento através da análise de imagem. 2001.** Dissertação (Mestrado Engenharia Civil) – Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2001.

ARNOLD, D. C. M. **Análise da influência da forma dos grãos nas propriedades das argamassas. 2011.** Dissertação (Mestrado Engenharia Civil) – Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7389-1** - Agregados – Análise Petrográfica de agregado para concreto. Parte 1: Agregado miúdo. Rio de Janeiro, 2009.

\_\_\_\_\_. **NBR 7809** - Agregado graúdo – Determinação do índice de forma pelo método do paquímetro – Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2006.

CASTRO, AL de; PANDOLFELLI, V. C. Revisão: Conceitos de dispersão e empacotamento de partículas para a produção de concretos especiais aplicados na construção civil. **Cerâmica**, v. 55, n. 333, p. 18-32, 2009.

CROSS, S. A.; BROWN, E. R. (1992). Selection of Aggregate Properties to Minimize Rutting of Heavy Duty Pavements. **Effects of Aggregates and Mineral Fillers on Asphalt Mixture Performance**. ASTM STP 1147. Richard C. Meininger, Ed. American Society for Testing and Materials, Philadelphia, p. 45- 67.

COUTINHO, A. S. **Fabrico e propriedades do Betão**. 3.ed. Lisboa: Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 1997a. 3v. v.1. 401p.

D'AGOSTINO, L. Z. **Uso de finos de pedra no processo de argamassa de assentamento**. 2004. Dissertação (Mestrado em Engenharia/Construção Civil) – Escola Politécnica da USP, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

D'AGOSTINO, Luiz Fernando. **Praias de barragens de rejeitos de mineração: Características e análise da sedimentação**. Universidade de São Paulo, Doutorado em Engenharia Mineral, 2008.

FERREIRA JÚNIOR, E. L.; CAMARINI, G.. **Análise de imagens: um avanço para a tecnologia do concreto**. In: 44º Congresso Brasileiro do Concreto, 2002, Belo Horizonte. 44º Congresso Brasileiro do Concreto, 2002. v. I. p. I-1-I-16.

GOUVEIA, Lilian Tais de et al. Esqueletização multiescala para análise de forma de agregados. **Transportes**, [s.l.], v. 23, n. 2, p.14-21, 28 ago. 2015. Lepidus Tecnologia. <http://dx.doi.org/10.14295/transportes.v23i2.788>.

ISAIA, G. C. **Materiais de construção civil e princípios de ciência e engenharia de materiais**. 2.ed. São Paulo: IBRACON, 2010. 862p.

MARQUES, Geraldo Luciano de O. Procedimentos de avaliação e caracterização de agregados minerais usados na pavimentação asfáltica. I **Seminário de Qualificação ao Doutorado, COPPE-UFRJ, Rio de Janeiro**, 2001.

NEVILLE, Adam M. Propriedades do concreto; tradução Salvador E. **Giammusso**. 2ª ed. Pini, São Paulo, 1997.

OLSZEWSKI, N. et al. Morfologia de agregados do solo avaliada por meio de análise de imagens. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, n. 1, p. 901-909, 2004.

RITTENHOUSE G. A visual method of estimating two-dimensional sphericity. *J Sedim Petrol.* 1943;13:79-81.

SCHNEIDER, Caroline A. et al. NIH Image to ImageJ: 25 years of image analysis. **Nat methods**, v. 9, n. 7, p. 671-675, 2012.

SUGUIO, K. 1973. Introdução à Sedimentologia. Edgard Blücher Ltda./ EDUSP, São Paulo, SP, 317pp.

TRISTÃO, Fernando Avancini et al. **Influência dos parâmetros texturais das areias nas propriedades das argamassas mistas de revestimento**. 2005.

WILCOX, C. D. et al. UTHSCSA image tool: help on-line. **San Antonio, Texas, Universidade de San Antonio**, 1997.