Revista Multidisciplinar do Nordeste Mineiro, v.02, 2025
ISSN 2178-6925

O USO DA ANÁLISE DE IMAGEM DIGITAL NA DISCIPLINA DE OPERAÇÕES UNITÁRIAS PARA CARACTERIZAÇÃO DE PARTÍCULAS DE AREIA

THE USE OF DIGITAL IMAGE ANALYSIS IN THE DISCIPLINE OF UNIT OPERATIONS FOR THE CHARACTERIZATION OF SAND PARTICLES

Wesley Zany dos Santos
Graduando titular, Universidade Federal do Amazonas - UFAM, Brasil
E-mail: wesley.zany@gmail.com

Dr. Alex Martins Ramos
Professor adjunto, Universidade Federal do Amazonas - UFAM, Brasil
E-mail: wesley.zany@gmail.com

Resumo

Parâmetros morfológicos e geométricos podem levar ao entendimento de importantes características relativas às partículas que estão em análise, quanto a sua forma e geometria. Esta caracterização torna-se importante ao estudo, pois fornece detalhes precisos da partícula que poderão ajudar nas análises. Este estudo utilizou grãos de areia com o objetivo de determinar seus parâmetros morfométricos, desta forma, foi utilizado um software de imagem digital de domínio público, ImageJ. O software mostrou grande eficácia no processamento e na análise de imagem, entregando resultados de parâmetros de grande importância no processo como área da partícula, perímetro, eixo maior, eixo menor, circularidade, alongamento, arredondamento de cada partícula em amostra de diferentes granulométricas. A partir destes resultados, foi possível determinar e caracterizar os parâmetros propostos neste estudo como diâmetro equivalente, volume da partícula, esfericidade, área superficial e a massa da partícula, além de poder determinar que os grãos são de areia grossa.

Palavras-chave: Diâmetro de partícula; Morfometria; Análise; ImageJ.

Abstract

Morphological and geometrical parameters can lead to the understanding of important characteristics concerning the particles under analysis, as to their shape and geometry. This characterization becomes important to the study, as it provides precise details of the particle that can help in the analysis. This study used sand grains in order to determine their morphometric parameters, so a public domain digital imaging software, ImageJ, was used. The software showed great efficiency in image processing and analysis, delivering results of parameters of great importance in the process as particle area, perimeter, major axis, minor axis, circularity, elongation, rounding of each particle in samples of different granulometries. From these results, it was possible to determine and characterize the

parameters proposed in this study such as equivalent diameter, particle volume, sphericity, surface area, and particle mass, besides being able to determine that the grains are coarse sand.

Keywords: Particle diameter; Morphometry; Analysis; ImageJ..

1. Introdução

O uso de imagens digitais iniciou-se na década de 20 do século passado como forma de reduzir o tempo do transporte de imagens entre os jornais de Londres e Nova York (Ignacio, 2013). As imagens eram digitalizadas e enviadas por um cabo submarino, reduzindo o tempo de envio de mais de uma semana para menos de três horas (Gonzalez, 2000). Isso fez com que o interesse na digitalização de imagens aumentasse e chegasse até hoje. A este processo de transformar uma imagem real capturada por equipamentos específicos em uma imagem digital deu-se o nome de Processamento Digital de Imagens (PDI) (Ignacio, 2013).

Segundo Barbosa et al. (2014), o Processamento Digital de Imagens (PDI) é uma técnica que se utiliza de operações matemáticas para alterar os valores dos pixels de uma imagem digital, modificando-a, para facilitar sua visualização, ou para preparar a imagem para ser analisada pelo próprio computador. A análise digital de imagem (ADI) consiste na extração e tratamento de dados quantitativos de imagens digitais. Através de ADI pode-se realizar medições mais rápidas, precisas e acuradas, possibilitando ainda a realização de medidas impossíveis de se executar manualmente. Marcomini e Souza (2011), afirmam que, a determinação manual do tamanho de grãos e fração volumétrica de fases pode ser uma tarefa laboriosa, geralmente sujeita a erros do operador. Como alternativa para minimizar tais erros e diminuir o tempo de análise o uso de programas computacionais de análise de imagem têm sido cada vez mais comuns.

Atualmente a análise de imagem digital é usada em diversas áreas da ciência para estudo das partículas, como na física, computação, matemática. Além de conceitos como óptica, física do estado sólido, projeto de circuitos, teoria dos grafos, álgebra, estatística, dentre outros (Queiroz e Gomes, 2006), presente também nas engenharias (Barbosa et al., 2014; Coelho et al., 2019; Marcomini e

Souza, 2011; Prado e Campos, 2009), na medicina e na Indústria Química (Coelho et al., 2019; Silva et al., 2019). Desta forma é possível obter parâmetros de grande importância no processo (ADI), como diâmetro aparente, área da partícula e volume (Guilherme et al., 2015), esfericidade (Lucio et al., 2020), de cada partícula em amostras de diferentes granulometrias (Barbosa et al., 2014; Guilherme et al., 2015).

Guilherme et al. (2015) apresenta três métodos para a realização de análises granulométricas, segundo ele, pode ser feita por peneiramento, muitas vezes utilizada pelo seu baixo custo, mas depende de treinamento técnico especializado para não ser suscetível a erros humanos. A segunda é difração a laser, que para ele, é um método rápido e descomplicado, contudo possui um alto valor na aquisição e manutenção do equipamento [...]. Seus resultados são questionados por muitos autores. E a terceira, é a análise de imagem, no qual, segundo o autor, utiliza equipamentos simples e que muitas das vezes já estão disponíveis no laboratório ou gabinete de trabalho, mas também demanda de certo treinamento e alto dispêndio de tempo. Ainda assim, é uma alternativa viável justamente por ter um custo operacional baixo e apresentar resultados fieis que podem ser gerados pelo próprio pesquisador.

Segundo Coelho et al. (2019) a análise de imagem automatizada fornece uma forma ágil de analisar o tamanho da partícula e, Marcomini e Souza (2011) afirmam que este método gera resultados com grande rapidez e precisão. O acesso às aplicações que facilitam a análise de imagens digitais exclui o método trabalhoso e excruciante que é contar e medir as partículas a serem analisadas. Para isso, existem diversos softwares de análises granulométrica automatizados que proporcionam grandes resultados na aquisição de dados de imagens. A maioria destes softwares apresentam alto custo benefício, como o CPA Computerizerd, PMPWin, SieveWare e outros (Industry, 2022), porém existem softwares livres disponíveis, sem custo benefícios, entre eles destaca-se o ImageJ (Barbosa et al., 2014; Lucio et al., 2020; Queiroz e Gomes, 2006; Guilherme et al., 2015; Marcomini e Souza, 2011; Prado et al., 2009) que apresenta uma diversidade de ferramentas, facilitando a análise da imagem e, entregando precisões de dados minuciosos quanto a caracterização de parâmetros como

diâmetro, volume e esfericidade da partícula (Guilherme et al., 2015). O objetivo deste estudo é determinar parâmetros morfométricos de partículas de areia utilizando o software ImageJ.

2. Metodologia

Existem diversas formas e diferentes etapas que podem ser incorporadas à cadeia de processamento de sistemas de PDI (Coelho et al., 2019), porém neste trabalho serão empregadas as seguintes etapas mostradas na (Figura 1) a seguir.

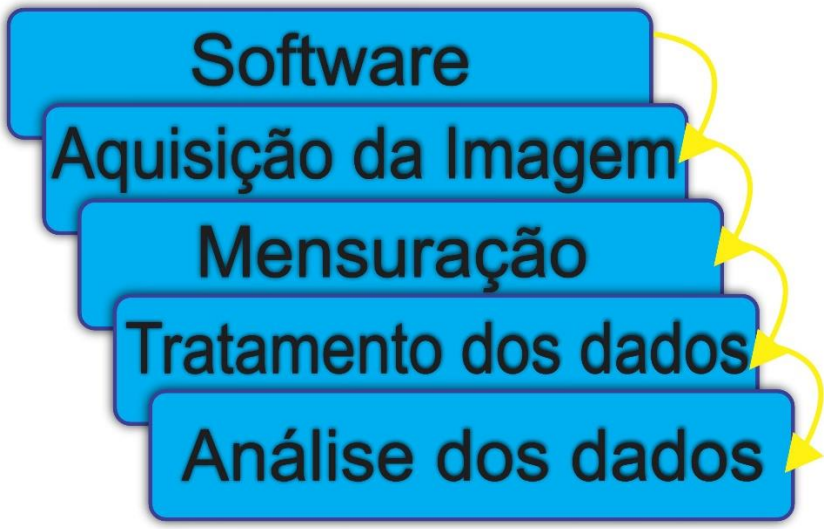


Figura 1 - Etapas do processamento da imagem digital.

2.1 Software

Alguns softwares permitem realizar análises matemáticas de imagens digitais para determinar parâmetros morfométricos das partículas. O ImageJ é um software para processamento e análise de imagens, desenvolvido por Wayne Rasband no *National Institute of Mental Health* (NIMH), USA, em linguagem Java. Com este software é possível exibir, editar, analisar, processar, salvar e imprimir imagens de 8, 16, 32 e 48 bits. Permite o processamento de diversos formatos de imagem como TIFF, GIF, JPEG, BMP, DICOM e FITS. Suporta a técnica de empilhamento de imagens, isto é, uma série de imagens que compartilham uma única janela para animações. Além disso, a leitura de um arquivo de imagem pode ser feita paralelamente a outras operações. A janela contendo os resultados (área,

perímetro, orientação, etc.) permite que estes sejam exportados para um arquivo, como por exemplo, no formato XLS (Microsoft Excel) (Barbosa et al., 2014).

2.2 Aquisição da imagem

A areia utilizada no procedimento é de origem comercial e apresenta diferentes granulometrias. Para a análise, as amostras foram dispostas sobre uma folha de papel A4 branca, separadas manualmente umas das outras a uma distância suficiente para não haver sobreposição de partículas. Uma escala gráfica foi posta próximo aos grãos de areias, pois se faz necessária para a calibração do software e mensuração da imagem posteriormente. Neste estudo foi utilizada uma régua com escala de 0 à 30 cm.

Com o auxílio de um smartphone de marca MotoG-6 Play, com resolução de câmera de 13 megapixel, foi capturada uma imagem fotográfica com resolução de 3120 x 4160 pixels (Figura 2), a imagem foi captura em um ângulo de 90° com o objetivo de evitar a presença de sombras e conseguir uma luminosidade homogênea. Os procedimentos de análise de imagem deste estudo, seguiu o protocolo proposto por Guilherme et al., (2015) quanto à aquisição, tratamento e preparação da imagem.



Figura 2 - Imagem com resolução de 3120 x 4160 pixels com fundo branco junto com uma escala (régua).
Fonte: Autor (2022)

Após a execução do protocolo proposto pelos autores, o software forneceu uma imagem 8 bits em escala de cinza conforme a (Figura 3) e logo depois com aplicação do tratamento foi fornecida uma outra imagem com o resultado final. A imagem original pode ser comparada com a imagem binária e com a imagem tratada, de forma a confirmar se as partículas foram devidamente segmentadas e se não houve nenhuma alteração ou distorção da imagem durante o processo.

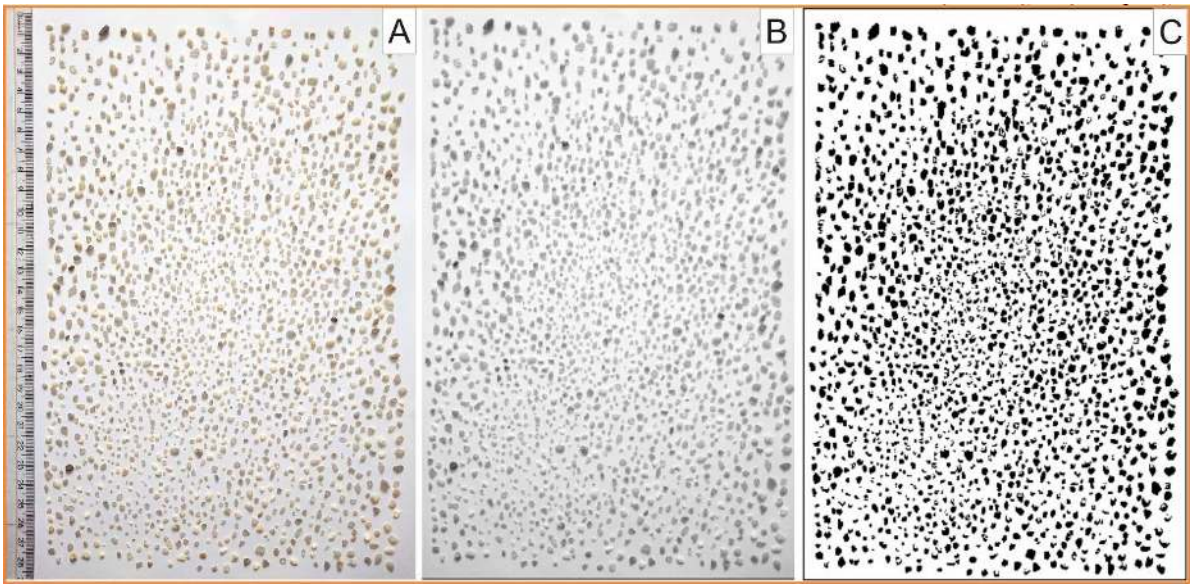


Figura 3 – Imagem original (A), imagem em 8 bits (B) e imagem devidamente tratada (C).
Fonte: Autor (2022)

2.3 Mensuração

Para que se pudesse visualizar melhor os detalhes das partículas mensuradas, a (Figura 4) foi ampliada conforme mostrada a seguir:

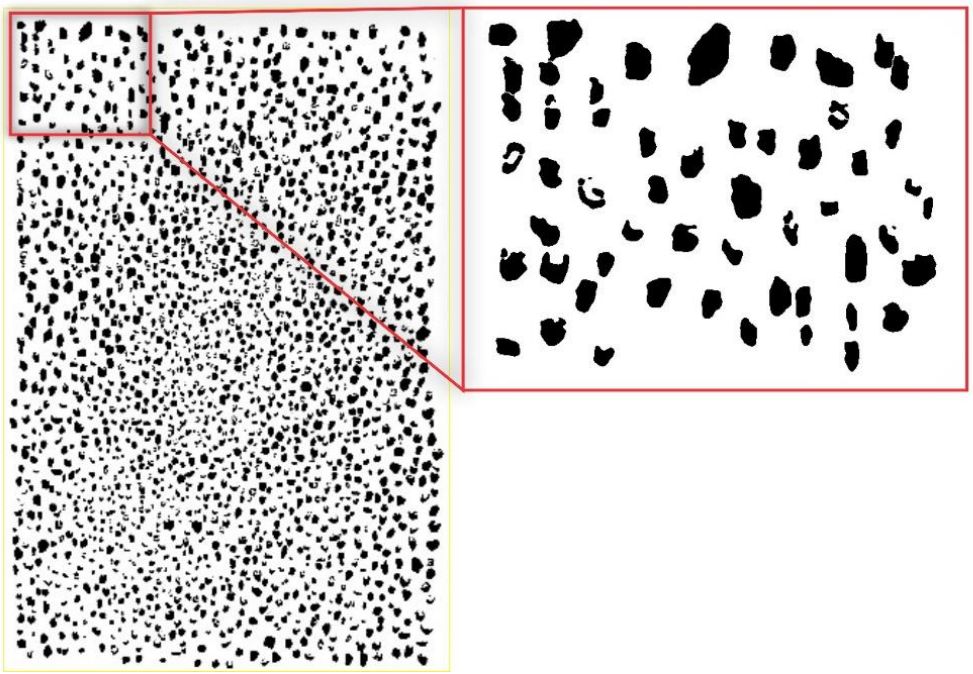


Figura 4 - Partículas mensuradas, imagem ajustada e ampliada.
Fonte: Autor (2022)

Nesta seção, foram configuradas as opções de área e de ajuste de elipses, que por sua vez, criou uma elipse sobre a partícula, calculando o eixo maior e o menor, fornecendo o ângulo entre eles. Além destas, outras opções importantes foram selecionadas como a circularidade, a esfericidade e o perímetro.

Após estas configurações, o software forneceu uma imagem contendo as partículas que foram consideradas, enumerando cada uma delas, conforme a figura 5, onde foram identificadas 2579 partículas. Para que se possa analisar com mais precisão, a (Figura 5) foi ajustada e ampliada.

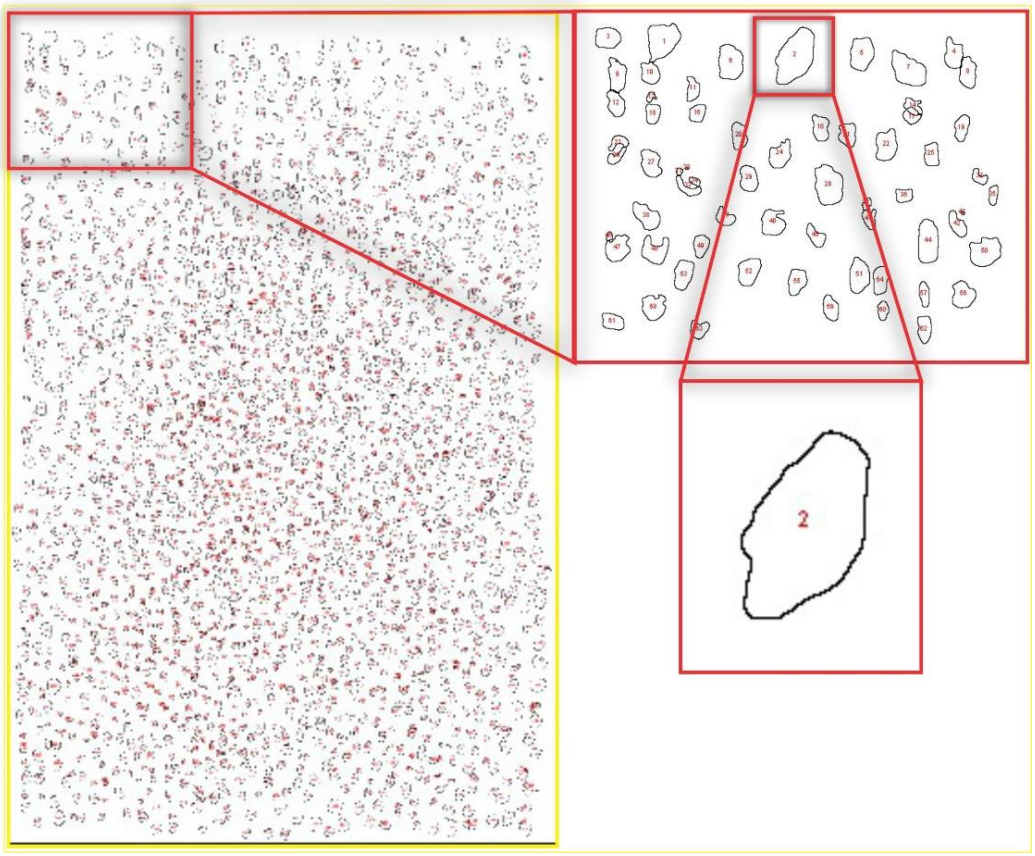


Figura 5 - Partículas mensuradas automaticamente pelo ImageJ – Fiji no modo Outlines.
Fonte: Autor (2022)

2.4 Tratamento dos dados

Os dados obtidos nos processos anteriores foram utilizados para calcular os parâmetros geométricos descritos na (Tabela 1).

Tabela 1 - Equações relativas aos parâmetros geométricos das partículas.

Diâmetro Equivalente	Área Superficial	Volume da Partícula
(1) $d_e = 2\frac{\sqrt{A_p}}{\pi}$	(2) $A_p = \frac{\pi d_e^2}{4}$	(3) $V_p = \frac{\pi d_e^2}{6}$

Onde d_e é diâmetro equivalente; Ap é área da partícula; Vp é volume da partícula

De acordo com Guilherme (2015) a equação (1) pode ser utilizada para futuros cálculos dos parâmetros estatísticos das análises granulométricas como moda, curtose e assimetria.

Já para os cálculos dos parâmetros morfológicos, foram utilizadas as seguintes equações (4-7) apresentadas na (Tabela 2).

Tabela 2 - Equações relativas aos parâmetros morfológicos das partículas.

Arredondamento	Circularidade	Esfericidade	Alongamento
(4) $A_r = \frac{1}{CC}$	(5) $CC = \frac{4\pi A}{P^2}$	(6) $\phi = \frac{1}{Al}$	(7) $Al = \frac{a}{b}$

Onde A_r é arredondamento (adimensional); A é área do objeto; P é perímetro do objeto; ϕ é esfericidade; Al é alongamento; a é eixo maior; b é eixo menor

3. Resultados e Discussão

3.1 Caracterização Geométrica

Para os cálculos do diâmetro equivalente, da área superficial e do volume da partícula foram utilizadas as equações propostas na (Tabela 1) e, a partir dos resultados foi possível calcular as estatísticas descritivas como a média e o desvio padrão (s) de cada parâmetro. Ao término do processamento e quantificação dos resultados, foram obtidos os valores, apresentados na (Tabela 3). Vale a pena mencionar que a média e o desvio padrão foram calculados, considerando todas as partículas como uma amostra de uma população.

Tabela 3 – Resultados obtidos para os parâmetros geométricos.

	(D_e) Diâmetro equivalente (mm)	(A_s) Área superficial (mm^2/g)	(V_p) Volume da partícula (mm^3)
Média ($\bar{x}$)	2,07	685,59	8,64
Desvio Padrão (s)	1,09	867,64	11,47

Após as análises dos grãos, pode-se observar que o diâmetro médio das partículas foi 2,07, como pode ser observado na (Tabela 3). A (Figura 6) que consta o histograma do diâmetro equivalente da partícula, desta forma pode-se determinar que estas partículas se classificam como areia grossa, conforme Winge (2001) onde define o tamanho da areia em três classes: areia fina (>1/16mm e <1/4mm), areia média (>1/4 e <1mm) e areia grossa (>1mm e <2mm) e Santana (2017) que define areia grossa na escala de (2,0-0,25mm).

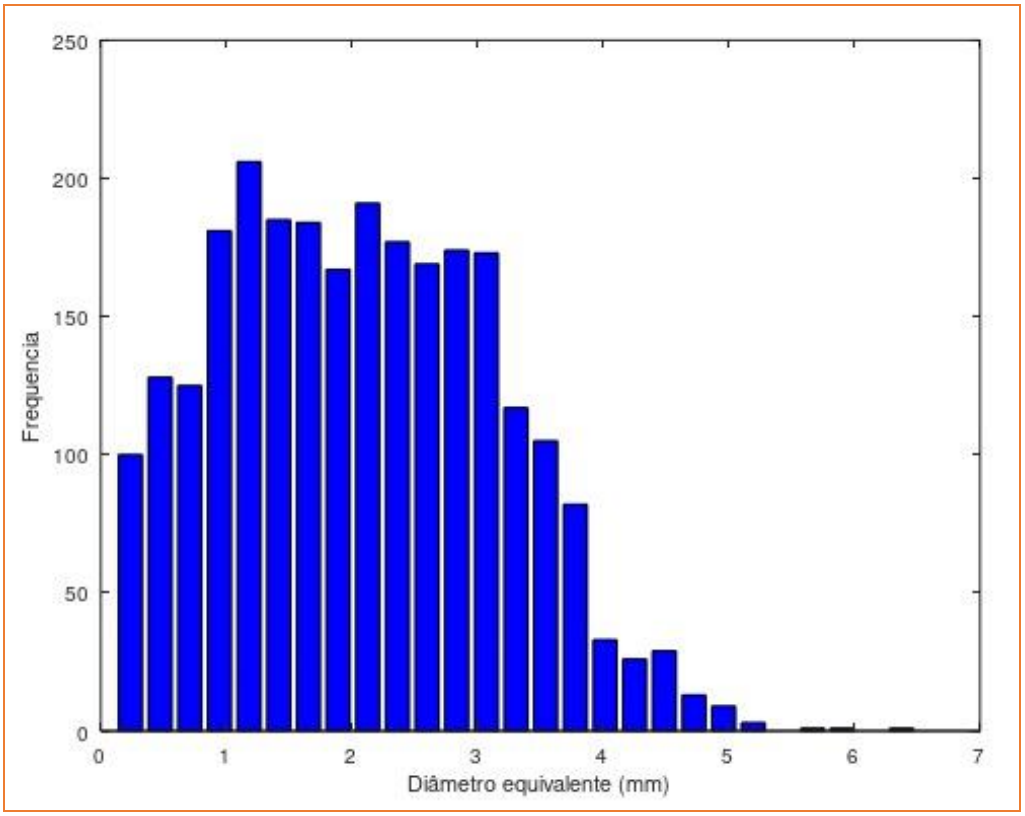


Figura 6 – Distribuição do tamanho das partículas de areia
Fonte: Autor (2022)

3.2 Caracterização Morfológica

A caracterização foi realizada através das medidas dos parâmetros de esfericidade (ϕ), circularidade e arredondamento das partículas. Para estes cálculos foram utilizadas as equações propostas na (Tabela 2). A partir de seus resultados, foi possível calcular as estatísticas descritivas dos parâmetros como a média e desvio padrão (s). Estes resultados podem ser observados na (Tabela 4).

Tabela 4 – Resultados obtidos para os parâmetros morfológicos.

	Circularidade	Arredondamento	(ϕ) Esfericidade	Alongamento
Média ($\bar{x}$)	0,77	0,67	0,67	1.58
Desvio Padrão (s)	0,14	0,15	0,15	0.41

O primeiro parâmetro morfológico analisado é a circularidade do grão (CC). Este parâmetro é usado para determinar o quão próximo de um círculo perfeito está uma partícula, uma vez que um círculo perfeito tem uma CC=1 e onde as formas mais complexas terão a circularidade próximas de zero. Por meio da (Figura 8) é possível verificar que os grãos em estudo estão distribuídos próximos de 0,8.

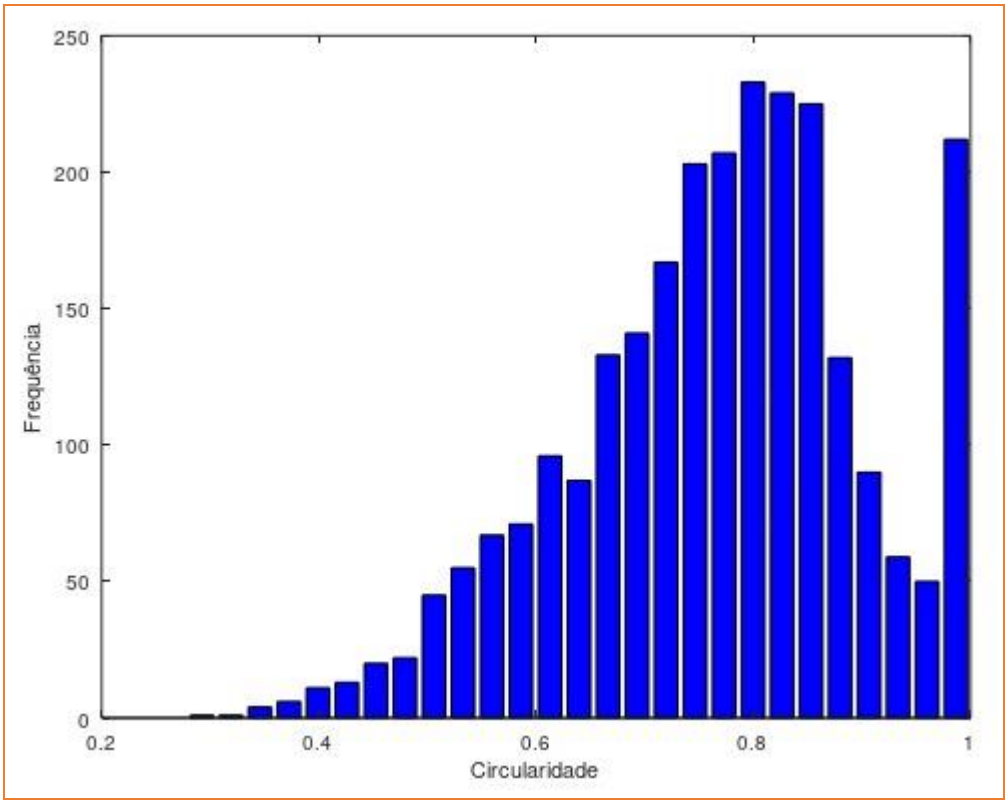


Figura 7 – Distribuição das partículas de areia, circularidade (CC).
Fonte: Autor (2022)

O arredondamento (A_r) está relacionado à quão suave é a borda da partícula. Desta forma, analisando as (Tabelas 4 e 5), pode-se dizer que as partículas de areia são arredondadas. A (Figura 8) mostra a distribuição próximo de 0,67, indicando, portanto, uma partícula arredondada conforme a classificação de escala (Powers, 1953).

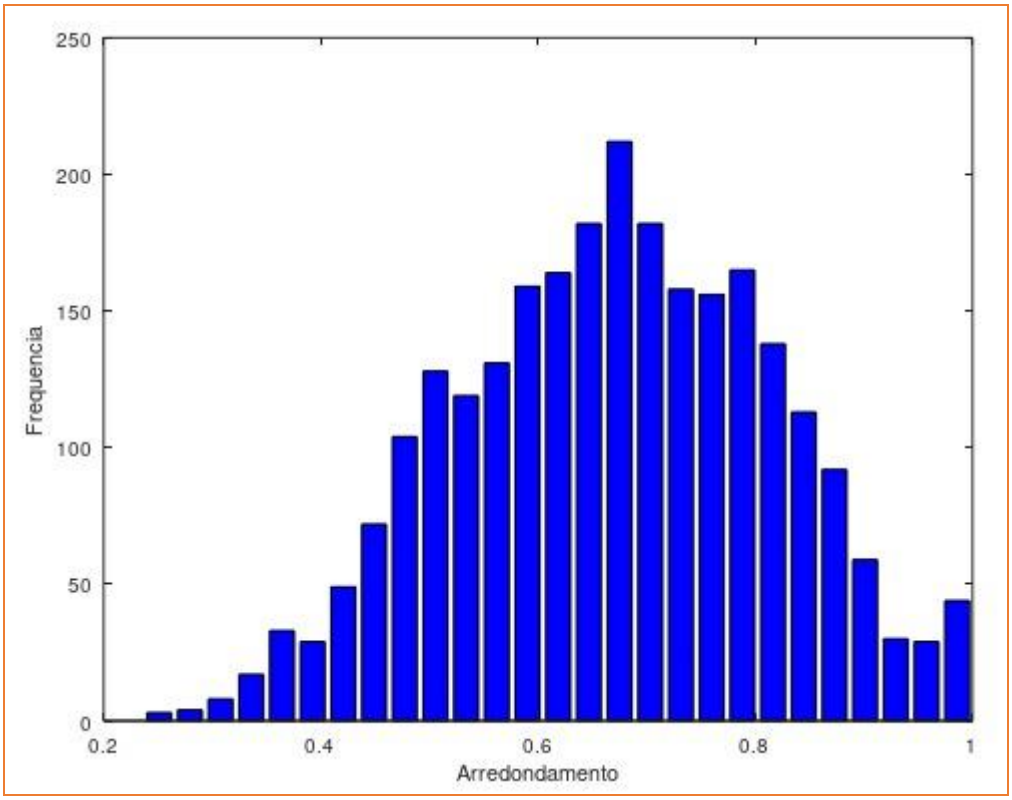


Figura 8 - Distribuição das partículas de areia, arredondamento (A_r).
Fonte: Autor (2022)

Tabela 5 – Classificação de arredondamento (Powers, 1953).

Muito anguloso	$\leq$ 0.17
Anguloso	0.17 – 0.25
Sub-angular	0.25 – 0.35
Sub-arredondado	0.35 – 0.49
Arredondado	0.49 – 0.70
Muito arredondado	$\geq$ 0.70

Já a esfericidade do grão (ϕ), conforme pode ser visto na (Figura 9) tem a sua distribuição semelhante à do arredondamento de 0,66, aproximando-se de 0,7.

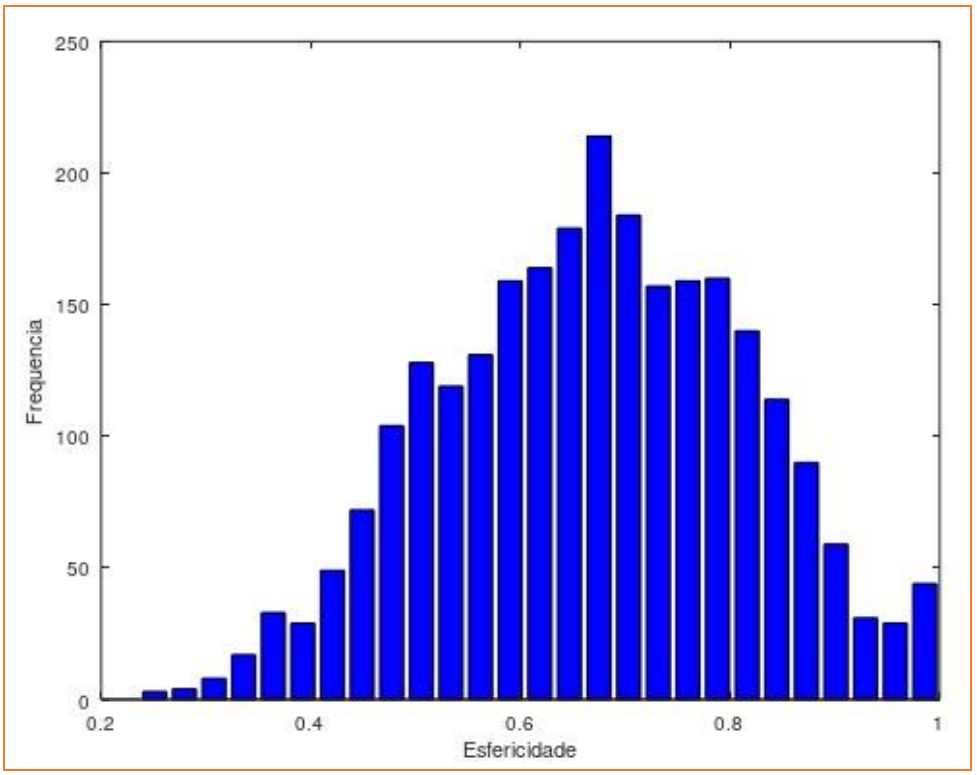


Figura 9 - Distribuição das partículas de areia, esfericidade (ϕ).
Fonte: Autor (2022)

O alongamento é o resultado obtido pela divisão do menor eixo, pelo maior eixo. A partir de então, o valor obtido deve variar entre 0 e 1. Se o valor for igual a 1, o objeto é aproximadamente circular ou quadrado. Na medida que se afasta de 1, o objeto torna-se mais alongado (Viana et al., 2016). Ao analisar a (Figura 10) nota-se que os grãos em estudo estão distribuídos próximos de 1,58.

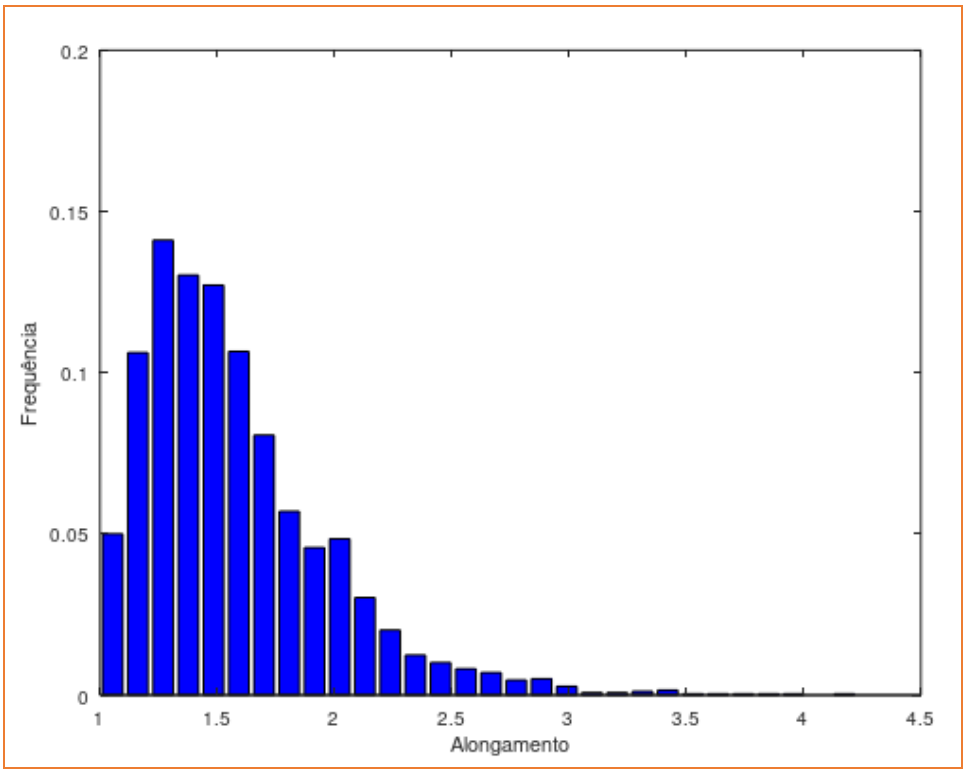


Figura 10 - Distribuição das partículas de areia, alongamento
Fonte: Autor (2022)

Em comparação com os resultados de outros autores que utilizaram dos mesmos métodos, Análise Digital de Imagem, para caracterizar a morfologia dos grãos de areia, pode-se perceber que os resultados são semelhantes.

Nas análises de Goldoni et al. (2015) para o parâmetro de arredondamento, o autor analisou que os grãos se distribuíam na faixa de 0,60 – 0,67 e para a esfericidade, os grãos se distribuíam entre 0,77 - 0,82.

Viana et al. (2016) utilizando-se da mesma análise, determinou que para a circularidade dos grãos de areia seu índice variou entre 0,81 – 0,84 e o índice do alongamento variou entre 0,81 – 0,85.

Coelho et al, (2019) em suas analises, pode verificar que a distribuição dos grãos para circularidade permaneceu entre 0,6 – 0,7 e nenhum grão apresentava circularidade no intervalo de 0,9 – 1. Concluindo-se que os grãos analisados não se assemelham a um círculo perfeito. Coelho et al, (2019) também analisou o parâmetro arredondamento, no qual obteve os valores entre 0,5 – 0,6.

Nos estudos de Lucio et al. (2020) o autor analisou que o arredondamento médio dos grãos se manteve entre 0,69 – 0,76, enquanto o alongamento esteve na média de 0,65 – 0,82.

Em um quadro comparativo (Tabela 6) podemos analisar com mais precisão os resultados obtidos por cada autor.

Tabela 6 – Comparação dos resultados obtidos por autores diferentes.

	(Goldoni, et al., 2015)	(Viana, et al., 2016)	(Coelho, et al., 2019)	(Lucio, et al., 2020)	(Próprio autor, 2022)
Arredondamento	0,60 – 0,67		0,50 – 0,60	0,69 – 0,76	0,67
Circularidade		0,81 – 0,84	0,60 – 0,70		0,67
Alongamento		0,81 – 0,85		0,65 – 0,82	1,58
Esfericidade	0,77 – 0,82				0,67

Mediante as comparações é possível notar uma aproximação dos resultados encontrados por cada autor. Para os parâmetros de arredondamento, circularidade e esfericidade os valores são bem próximos, em contrapartida para o alongamento, o valor obtido neste estudo se distancia dos resultados encontrados pelos autores citados.

Vale a pena mencionar que os histogramas apresentados demonstram que a esfericidade e o arredondamento podem seguir um modelo de distribuição normal (Figura 8 e 9) e o diâmetro e a circularidade se aproximam de uma modelo de distribuição lognormal (Figuras 6 e 7). Os dados produzidos nesta pesquisa podem ser analisados, usando estes dois modelos. Para isto, é necessário fazer um ajuste dos modelos aos dados experimentais e calcular a média e o desvio padrão da população por estes modelos, bem como os demais parâmetros da estatística descritiva como o grau de assimetria e curtose.

A caracterização morfométrica de partículas é uma etapa fundamental em muitas operações unitárias da indústria química e congêneres. Por exemplo, a filtração e a fluidização empregados no tratamento de água necessita do diâmetro e

da esfericidade para o correto dimensionamento dos equipamentos. Isso acontece com todas as operações unitárias cujo mecanismo de funcionamento envolve sistemas particulados.

4. Conclusão

Conforme o objetivo proposto neste estudo e após a realização das análises, conclui-se que o software ImageJ se mostrou uma ferramenta muito eficaz para análise de tamanho e forma dos grãos de areia presentes na amostra tratada, pois foi possível realizar a mensuração do tamanho dos grãos de areia grossa, proporcionando uma distribuição bem detalhada dos grãos. Mostrou ser bastante útil em precisão de análise e assim podendo ser uma alternativa para amostras pequenas e muito finas. Além disso, técnicas como o peneiramento e a difração a laser necessitam de infraestrutura laboratorial e equipamentos, tomando seu custo elevado em comparação com a análise de imagem digital.

Portanto, os resultados mostram que a utilização da técnica, Análise Digital de Imagem (ADI) com o uso do ImageJ, é perfeitamente possível para o estudo e caracterização de partículas na disciplina de operações unitárias.

Por fim, os grãos de areia analisados nesta pesquisa caracterizam-se por serem grossos em relação ao diâmetro (2,07), arredondados (0,67), pouco alongados (1,58), pouco circulares (0,77) e de baixa esfericidade (0,67).

Referências

BARBOSA, D. H. et al. CARACTERIZAÇÃO GRANULOMÉTRICA E AUTOMAÇÃO DO MÉTODO DE GAUDIN ATRAVÉS DO IMAGEJ. **Enciclopédia Biosfera**, v. 10, n. 19, 2014.

COELHO, J. M. et al. CARACTERIZAÇÃO MORFOLÓGICA DE GRÃOS EM LÂMINAS DELGADAS ATRAVÉS DE TÉCNICAS DE PROCESSAMENTO DE IMAGEM. **Geosciences= Geociências**, v. 38, n. 3, p. 735-750, 2019.

GOLDONI, A. G. et al. Evaluation of a method based on image analysis to obtain shape parameters in crushed sand grains. **Revista IBRACON de Estruturas e Materiais**, v. 8, p. 577-590, 2015.

GONZALEZ, R. C.: WOODS, R. E. **Processamento de imagens digitais**. Editora Blucher, 2000.

GUILHERME, P. D. B. et al. Análise granulométrica de sedimentos arenosos de praias através de imagens digitais. Descrição de um protocolo de mensuração de partículas no software ImageJ-Fiji. Brazilian Journal of Aquatic Science and Technology, v. 19, n. 2, p. 23-32, 2015.

IGNACIO, J. S. **Processamento e análise digital de imagens em estudos da cinética de recristalização de ligas Al-Mg-X**. 2013. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

INDUSTRY, D. (05 de Julho de 2022). Softwares de Análise Granulométria. Fonte: directindustry.com: https://www.directindustry.com/pt/fabricante-industrial/software-analise-granulometrica-111007.html

LUCIO, F. S. et al. VARIAÇÃO GRANULOMÉTRICA E MORFOLÓGICA DOS SEDIMENTOS DE FUNDO DO RIO ACRE: CONTRIBUIÇÕES INICIAL AO ESTUDO HIDROSSEDIMENTOLÓGICO DE CANAL FLUVIAL NO SUDOESTE AMAZÔNICO. **UÁQUIRI-Revista do Programa de Pós Graduação em Geografia da Universidade Federal do Acre**, v. 2, n. 2, p. 19-19, 2020.

MARTINS, C. V. M. Análise Granulométrica e Distribuição dos Parâmetros de Forma e Textura de Areias Através do Processamento de Imagens Digitais. 2020.

MARCOMINI, R. F.; SOUZA, D. M. P. Caracterização microestrutural de materiais cerâmicos utilizando o programa de processamento digital de imagens ImageJ. **Cerâmica**, v. 57, p. 100-105, 2011.

POWERS, M. C. A new roundness scale for sedimentary particles. **Journal of Sedimentary Research**, v. 23, n. 2, p. 117-119, 1953.

PRADO, G. S. O emprego da análise de imagem na determinação da distribuição de tamanho de partículas da areia presente no esgoto sanitário. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 14, p. 401-409, 2009.

QUEIROZ, J. E. R. et al. Introdução ao processamento digital de imagens. **Rita**, v. 13, n. 2, p. 11-42, 2006.

RODRIGUEZ, J. et al. Particle shape quantities and measurement techniques: a review. **The Electronic journal of geotechnical engineering**, v. 18, p. 169-198, 2013.

SANTANA, M. B. et al. Mineralogia e morfologia da fração areia grossa e fina de solos aluviais no Semiárido brasileiro.

SILVA, A. M. M. et al. Processamento e análise de imagens médicas. **REVISTA BRASILEIRA DE FÍSICA MÉDICA (ONLINE)**, 2019.

VIANA, J. H. M. et al. Procedimento operacional padronizado para quantificação e mensuração de areias via análise de imagens. 2016.

VIANA, L. A. et al. Morphometric Characterization of the sand fraction in a sand grain image capture system. **Revista Árvore**, v. 40, p. 893-899, 2016.

YAMAMOTO, J. K. **Estatística, análise e interpolação de dados geoespaciais**. São Paulo: Grafica Paulos. Acesso em: 18 ago. 2022.

WINGE, M. et al. Glossário geológico ilustrado. **Publicado na Internet**, 2001. Disponível na Internet em **31 de agosto de 2022,** no site http://sigep.cprm.gov.br/glossario/