



PROPOSTA DE AULA SOBRE CARACTERIZAÇÃO DE POROSIDADE EM CERÂMICOS APLICANDO METODOLOGIAS ATIVAS, PDI E USANDO O *IMAGEJ*

CLASS PROPOSAL FOR POROSITY CHARACTERIZATION IN CERAMICS APPLYING ACTIVE METHODOLOGIES, DPI AND USING *IMAGEJ*

Tessie Gouvêa da Cruz Lopes¹, Rodrigo Sampaio Fernandes², Jerusa Goes Aragão Santana³, Eleasar Martins Marins⁴, Elson de Campos⁵

DOI: 10.37702/REE2236-0158.v44p277-290.2025

RESUMO: Entre as atividades utilizadas por profissionais das mais diferentes áreas de atuação, seja na indústria, na pesquisa acadêmica ou na área de saúde, encontra-se a medição de amostras. Um dos recursos possíveis para atingir essa finalidade é a microscopia quantitativa e, neste sentido, é de grande relevância a formação de profissionais qualificados para realizá-la. Este trabalho apresenta um plano de aula, baseado em metodologias ativas, propondo a realização de medições de porosidade em material cerâmico e utilizando o Processamento Digital de Imagens (PDI), cuja análise seja realizada por meio de um software de domínio público, o *ImageJ*. Com tal objetivo, foram elaborados um "Plano de aula" e um "Guia de estudo" para serem empregados no desenvolvimento da aula, apresentando-se um exemplo de aplicação da metodologia proposta, mais especificamente, uma análise realizada em imagens de cerâmicas de carbeto de silício (SiC). Essas imagens ficarão à disposição do docente, visando auxiliá-lo no momento da aplicação da atividade. Importante ressaltar que, apesar de proposta apresentada utilizar uma amostra cerâmica, a metodologia descrita pode ser aplicada a diferentes ramos da Engenharia e das Ciências.

PALAVRAS-CHAVE: microscópio; metodologias ativas; Processamento de Imagens; *ImageJ*; porosidade.

ABSTRACT: Professionals from different areas normally measure a certain parameter of a sample during their activities. One of the possible resources is the use of quantitative microscopy. Therefore, it is of great importance to train professionals with attitudes and skills to carry out this type of activity. In this work, using active methodologies, a class is proposed for porosity measurements in ceramic material, using Digital Image Processing (DIP) and analysis using public domain software, *ImageJ*. Despite the choice of a ceramic material, this proposal can be applied in different branches of Engineering and Science. This article presents a "Lesson Plan", a "Study Guide" to be used in the development of the class, and an example of application of the proposed methodology in images of silicon carbide (SiC) ceramics, aiming to assist the teacher when applying the activity.

KEYWORDS: optical microscopy; active methodologies; Digital Image Processing; *ImageJ*; porosity.

¹ Professora Doutora, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ), tessiegouvea@hotmail.com

² Professor Doutor, Universidade Federal de Alfenas (Unifal), rodrigo.fernandes@unifal-mg.edu.br

³ Professora Doutora, Universidade Federal de Alagoas (UFAL), jerusa.santana@ceca.ufal.br

⁴ Professor Doutor, Escola de Especialistas de Aeronáutica (EEAR), eleasar.marins@gmail.com

⁵ Professor Doutor, Escola de Especialistas de Aeronáutica (EEAR), elsoncmps@gmail.com



INTRODUÇÃO

O período de pandemia, gerada pelo coronavírus que recebeu o nome de *Severe Acute Respiratory Syndrome – Related Coronavirus 2* (Sars-CoV-2), foi marcado por muito sofrimento e luto. As Instituições de Ensino suspenderam temporariamente as aulas e passaram, posteriormente, a adotar o Ensino Remoto Emergencial (ERE) para garantir que as atividades educacionais não fossem interrompidas. Isso exigiu que novas metodologias de ensino e abordagens inovadoras fossem adotadas no processo ensino-aprendizagem, buscando reduzir os prejuízos provenientes do momento. (Ferreira, Branchi e Sugahara, 2020; Costa, 2020; Antolin e Antolin, 2021; Vaz, Ribeiro e Costa, 2022). Além disso, observou-se que, mesmo antes da pandemia, as grandes mudanças em relação ao processo de obtenção de informações pelos discentes e sua forma de interagir com as mídias digitais geravam grande dificuldade em relação à concentração ou ao acompanhamento das aulas no modo de ensino tradicional (Castro e Queiroz, 2020).

Assim, a adoção de estratégias que tornem o ensino remoto e/ou híbrido mais eficientes e mais atrativos são extremamente importantes, buscando atender às novas competências exigidas na formação de engenheiros e, conseqüentemente, às novas Diretrizes Curriculares para os cursos de Engenharia. Nesse sentido, propõe-se a utilização de metodologias que se mostrem eficazes no processo ensino-aprendizagem, como ocorre com as chamadas “metodologias ativas”. Para Mitre *et al.* (2008), essas metodologias utilizam a problematização como estratégia de ensino-aprendizagem, com o objetivo de alcançar e motivar o discente, pois, diante do problema, ele se detém, examina, reflete, relaciona-o à sua história e passa a ressignificar suas descobertas.

Relatos de propostas e aplicações usando as metodologias ativas em áreas da Engenharia têm sido frequentes. Palma (2020), por exemplo, usou o Ambiente Virtual de Aprendizagem (AVA) Moodle para ministrar a disciplina Mecânica dos Materiais e, como resultado, verificou que o papel do professor passou a ser de orientador, de mediador e de esclarecedor do aprendizado e não somente de transmissor de conhecimento. No trabalho de Pereira, Valega e Colombo (2020), foi relatada a utilização de vídeos disponibilizados no AVA e de metodologias ativas – Aprendizagem Baseada em Problemas (PBL) – em sala de aula para as disciplinas do curso de Engenharia Química. Os resultados observados, no questionário aplicado sobre a proposta da aula, apresentaram os relatos dos



estudantes que se sentiram mais preparados em relação aos conteúdos trabalhados.

Em função da crescente demanda pelo uso do Processamento Digital de Imagens (PDI) nas mais diferentes áreas, vem crescendo, também, a importância da sua inserção nos diferentes cursos de Graduação. Isso ocorre porque profissionais que demonstram habilidades e competências para o uso do PDI se tornam mais competitivos e interessantes para o mercado de trabalho. No trabalho de Campos *et al.* (2019), foi elaborado um questionário para verificar o perfil de alguns alunos com relação à familiaridade e interesse em um curso voltado ao estudo do PDI. Observou-se, de acordo com os resultados, um grande interesse por esse curso e por sua utilização em projetos inter ou transdisciplinares. O ensino do PDI constitui um desafio, uma vez que implica na apresentação, para uma audiência cada vez mais heterogênea, de tópicos interdisciplinares relacionados a conceitos de uma diversidade de áreas.

Porosidade e caracterização em materiais cerâmicos

No processamento de determinadas cerâmicas, a porosidade pode surgir indesejavelmente por conta da granulometria do pó e outros fatores ou pode ser voluntária, no caso de adição de materiais orgânicos, por exemplo (Schuller, Bianchi e Aguiar, 2008). Nos sólidos denominados porosos, a presença de poros é proveniente da existência de cavidades, canais ou interstícios. Classificados quanto ao estado de continuidade, tamanho e morfologia, a presença de poros em escalas variadas contribui para a formação de amostras com características físicas e microestruturais particulares (Ishizaki, Komarneni e Nanko, 1998; Riley e Richardson, 1965).

De acordo com a continuidade, os poros são classificados em abertos ou interconectados e fechados ou isolados, sendo estas propriedades fundamentais para definirem a aplicabilidade do material. Para uso como isolantes térmicos é favorável uma porosidade fechada, enquanto filtros e membranas requerem uma porosidade aberta. No caso de materiais biocerâmicos, para uso em implantes, a porosidade deve ser adequada para promover a integração com o tecido biológico. O comportamento do material quando é sujeito a esforço mecânico é diretamente influenciado pela presença de poros no material, pois estes estão relacionados com a forma como o corpo cerâmico irá resistir ou conduzir os esforços sem que ocorra a trinca (Ishizaki, Komarneni e Nanko, 1998; Riley e Richardson, 1965).



Microscopia quantitativa e uso do *ImageJ* na caracterização da porosidade

Existem diferentes técnicas para determinar a porosidade em materiais cerâmicos, que apresentam vantagens e limitações. O processamento e análise de imagens têm feito da microscopia quantitativa uma técnica cada vez mais relevante na caracterização dos materiais (Palash *et al.*, 2019; Zhao *et al.*, 2019). As técnicas comumente utilizadas na caracterização possibilitam avaliar um único parâmetro quantitativo, enquanto a análise por microscopia, por meio de uma série de procedimentos, permite uma caracterização mais completa (Groen, Peffer e Perez-Ramirez, 2003; Ilzig *et al.*, 2021).

O *ImageJ* é um *software*, de domínio público (*freeware*), escrito em linguagem de programação Java e desenvolvido por Wayne Rasband (*Research Services Branch*), que permite a adição de recursos específicos a partir de *plugins* e macros desenvolvidos pelos próprios usuários. O programa dispõe de ferramentas que permitem ao usuário: utilizar dados em tons de cinza (8 ou 16 bits) e em cor (RGB); ler e salvar arquivos com várias extensões; selecionar imagens e, caso seja necessário, melhorar a qualidade desta imagem por meio da utilização de filtros e ajustes do brilho e do contraste; calibrar imagens e analisá-las por meio da adoção de parâmetros específicos e aplicáveis à determinada área de interesse; medir distâncias, ângulos; criar histograma; plotar gráficos tridimensionais a partir de uma pilha de imagens etc. (Rasband, 2012).

PROPOSTA DA METODOLOGIA

Este trabalho apresenta uma proposta de aula que aplica metodologias ativas e PDI em um curso de Engenharia de Materiais, com o objetivo de caracterizar a porosidade em cerâmicas — abordagem que pode ser estendida a diversos ramos da Engenharia e do Ensino de Ciências, utilizando diferentes materiais e imagens. A elaboração deste artigo teve como referência o trabalho de Lopes *et al.* (2022) e pode ser dividida em duas etapas, conforme apresentado no Quadro 1.



Quadro 1 – Descrição das etapas básicas



Fonte: elaborado pelos autores (2024).

Na “Parte I”, apresenta-se como deve ser conduzida a atividade em sala de aula, associando aulas síncronas e assíncronas, bem como a interação com o ambiente virtual. Nas aulas síncronas serão trabalhados os conceitos de porosidade e será apresentado o *software*. Nas aulas assíncronas será disponibilizado uma videoaula em ambiente virtual (canal de *Youtube*) com demonstração da instalação do *software* e das rotinas de processamento. Nos Quadros 2 e 3 estão apresentados os modelos para o “Plano de Aula”, que deve nortear as atividades do docente, e para o “Guia de Estudo”, que deve ser disponibilizado para os discentes.

Quadro 2 – Plano de Aula

Plano de Aula: Determinação de porosidade em materiais cerâmicos usando PDI.
1.1 Objetivo Geral: Determinar a porosidade de materiais cerâmicos utilizando imagens de microscopia óptica e um <i>software</i> , de domínio público (<i>ImageJ</i>), para o processamento e análise de imagens
1.2 Objetivos Específicos: • Uso de PDI em aulas síncronas e assíncronas; • Aprender o conceito de porosidade em cerâmicas porosas; • Conhecer e aprender os principais comandos do <i>ImageJ</i> na caracterização de materiais porosos; • Realizar o processamento e análise de imagens com base na Microscopia Quantitativa; e • Discutir os resultados obtidos nas realizações das atividades.
1.3 Conteúdos: • Porosidade em materiais cerâmicos; • Uso de Microscopia Quantitativa na caracterização de porosidade em materiais cerâmicos; • O programa <i>ImageJ</i> e as principais rotinas do <i>software</i> na caracterização de porosidade; e • Aplicação e principais características das amostras de cerâmica a serem caracterizadas.

1.4 Recursos:

- Disponibilidade de internet para atividades em ambientes virtuais;
- Computador para instalação do *software ImageJ*;
- Multimídia para demonstração dos recursos do *software* e apresentação de *slides* com os conceitos; e
- Conjunto de imagens, obtidas por microscopia óptica, disponibilizado em ambiente virtual.

1.5 Metodologia:

- Aulas (síncronas) destinadas para apresentação dos conteúdos:
 - (i) porosidade em materiais cerâmicos;
 - (ii) uso de Microscopia Quantitativa na caracterização de porosidade em materiais cerâmicos;
 - (iii) o programa *ImageJ* e as principais rotinas do software na caracterização de porosidade;
 - (iv) aplicação e principais características das amostras de cerâmica a serem caracterizadas na aplicação da metodologia proposta;
- Nesta etapa podem-se dividir os alunos em equipes (que devem ter uma liderança definida por eles);
- Videoaula (aula assíncrona) para apresentação do conteúdo: Rotina de processamento e análise de imagens na caracterização de porosidade usando o *software ImageJ*;
 - Aula (síncrona) destinada para:
 - (i) apresentação dos resultados obtidos na análise (disponibilizado em ambiente virtual) que servirá como gabarito para a discussão dos resultados obtidos pelos alunos e,
 - (ii) apresentação do guia de estudo e as imagens testes para a execução da atividade.
 - Aula (síncrona) destinada a devolutiva dos alunos, com a apresentação dos resultados e discussão em sala de aula das atividades desenvolvidas.

1.6 Avaliação:

- Avaliação utilizando os relatórios apresentados e as interações em sala de aula.

Fonte: elaborado pelos autores (2024).

Quadro 3 – Guia de Estudo

Guia de Estudo: Determinação de porosidade em materiais cerâmicos.	
1.1. Objetivo	Determinar a porosidade tendo como base imagens de microscopia óptica e uso de software (<i>ImageJ</i>).
1.2. Metodologia de Processamento e Análise de imagem	<i>Passo 1</i> - Faça o <i>download</i> do programa no site https://imagej.nih.gov/ij/. Para o passo a passo acesse o vídeo disponibilizado na plataforma virtual. <i>Assista o vídeo disponível no Youtube:</i> https://www.youtube.com/watch?v=32p_OuN2080 <i>Passo 2</i> - Faça o <i>download</i> das imagens testes no endereço eletrônico disponibilizado pelo professor. <i>Disponível em:</i> https://drive.google.com/drive/folders/1_7PjtYpI_RQKt12-h6imX17odesZX8iL?usp=sharing <i>Total de 4 imagens testes designadas: Imagem teste 01, teste 02, teste 03 e teste 04.</i> <i>Passo 3</i> - Abrir a imagem teste (<i>file>open</i>); <i>Passo 4</i> - Converter as imagens em 8 bit (<i>image > type > 8 bit</i>); <i>Passo 5</i> - Definição dos parâmetros que devem ser medidos, é possível determinar vários parâmetros, porém, para este trabalho escolhe-se apenas fração de área (<i>set measurements > area fraction</i>). <i>Passo 6</i> - Separar o objeto de interesse: aplicação do <i>threshold</i> e binarização (<i>image>adjust>threshold</i>); <i>Passo 7</i> -Determinar o valor da ‘fração porosa’ usando o comando no software (<i>analyze>measure</i>). <i>Assista o passo a passo no vídeo disponível no Youtube:</i> https://www.youtube.com/watch?v=32p_OuN2080
1.3. Resultados:	
1.3.1-	Construa uma tabela com o resultado para cada imagem teste e discuta com seus colegas os resultados encontrados.

1.3.2- Elabore um relatório contendo as tabelas obtidas e uma discussão sobre esses resultados com base nos pontos do item 1.4 deste Guia de Estudo.

1.4. Considerações:

No relatório a ser apresentado em sala de aula, discorra sobre as seguintes questões:

Os resultados apresentaram grande dispersão em relação ao Guia de Estudos? Caso a resposta seja sim, isso afeta a interpretação dos resultados? Justifique.

Os resultados obtidos por todos os colegas foram semelhantes? Caso a resposta seja afirmativa, o que pode ter sido fundamental para que isso ocorresse?

Como estudante de engenharia, descreva como essa prática te enriqueceu, levando em conta seu lado pessoal e profissional e correlacionando outras disciplinas já estudadas anteriormente.

Fonte: elaborado pelos autores (2024).

Nesta proposta, coloca-se o aluno em uma condição de maior protagonismo. O intuito é possibilitar ao discente o estudo e a compreensão do conteúdo (caracterização de porosidade em materiais cerâmicos) a partir da própria construção do conhecimento. Assim, durante a elaboração das atividades são empregadas as seguintes metodologias ativas: *Problem-based Learning* (aprendizagem baseada em problemas), *Team-based Learning* (aprendizagem baseada em times ou equipes) e *Flipped Classroom* (sala de aula invertida). Para Lovato *et al.* (2018), essas metodologias fazem parte do grupo das aprendizagens colaborativas, por meio das quais os membros de uma equipe trabalham juntos, apoiando e compartilhando a liderança em um processo de confiança mútua, a fim de atingir objetivos comuns. As metodologias se fazem presentes, basicamente, em três situações no trabalho: quando é apresentada ao discente a situação-problema, que é a necessidade de determinar os valores de fração porosa, a partir das imagens que ele deve baixar e processar; na segunda situação, quando os alunos devem formar equipes para realizar colaborativamente as atividades, buscando dentro do grupo eleger uma liderança para conduzir o trabalho; e, finalmente, após, o primeiro contato com o conteúdo por meio das aulas prévias, quando os discentes são incentivados a realizar uma devolutiva buscando fazer uma apresentação, em sala de aula, para os pares e professores. Essa apresentação deve conter uma descrição do assunto, os resultados obtidos e o que a atividade agrega para ele em conhecimentos científicos e tecnológicos, enfim, fomentando um espaço para discussão e aprendizagem. Além disso, em ambiente virtual, estão disponibilizados dois questionários, que podem ou não serem aplicados, para que os alunos respondam antes e após a aplicação da proposta (<https://docs.google.com/forms/d/1XTTegd76fqj9jG0lOfLQmZtYLEi9u-x4klijmfeBYYc/edit>) e



<https://docs.google.com/forms/d/1XTTegd76fqj9jG0lOfLQmZtYLEi9u-x4klijmfeBYYc/edit>).

Na “Parte II” deste trabalho, apresenta-se uma sugestão de aplicação da metodologia proposta. Neste caso, optou-se por escolher uma situação real envolvendo suas limitações e condições, ou seja, amostras que foram utilizadas em trabalhos de pesquisa. Assim, escolheu-se amostras de cerâmicas de carbeto de silício (SiC) que, em função de suas propriedades, podem ser aplicadas, por exemplo, em blindagem balística e/ou isolamento térmico, o que poderá despertar um maior interesse por parte dos discentes. As amostras foram desenvolvidas com base no trabalho de Marins (2008), que utilizou dois tipos de matéria-prima particulada: o SiC nacional (designado Ms) e o SiC importado (designado HC). As amostras foram conformadas por prensagem uniaxial (40 MPa), seguida de prensagem isostática (300 MPa) e sinterização em presença de fase líquida (1950°C), que foi obtida a partir da utilização de um ativo de sinterização, o YAG (Yttrium Aluminium Garnet). Esse aditivo foi adicionado ao material particulado, em porcentagem de massa de 5%, 7,6% e 10%, conforme mostrado na Tabela 1, o que gera diferentes níveis de porosidade.

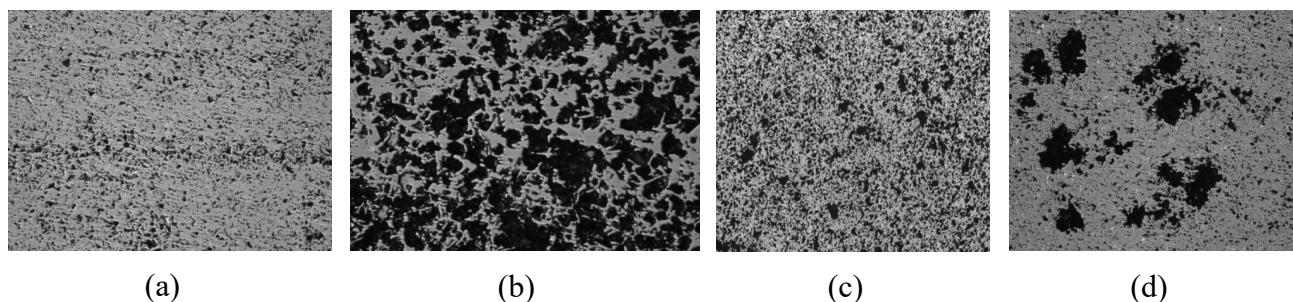
Tabela 1 – Amostras de cerâmicas de carbeto de silício (SiC)

Amostra I	Amostra II	Amostra III	Amostra IV
(HC) + 7,6%YAG	(Ms) + 5% YAG	(Ms) + 7,6% YAG	(Ms) + 10% YAG

Fonte: elaborada pelos autores (2024).

Para a caracterização, as amostras passaram pela seguinte preparação: rebolo diamantado, seguido por polimento com pastas de diamante (6 µm, 3 µm e 1 µm) e ataque químico (hidróxido de sódio – NaOH – e hidróxido de potássio – KOH, na proporção 1:1, na temperatura de 500°C). As imagens foram capturadas, de forma aleatória, utilizando um microscópio óptico da Nikon modelo Epiphot 200, acoplado a uma câmera digital Axio Cam ICC3 Zeiss. Utilizou-se microscopia óptica por reflexão e objetivas planacromática, sem filtros. Para cada uma das quatro amostras foram capturadas imagens nas ampliações de 50x, 100x, 150x, 250x e 500x. Na Figura 1 são apresentadas as imagens com a ampliação de 100x para cada amostra.

Figura 1 – Imagens obtidas, na ampliação de 100x, das amostras: (a) I; (b) II; (c) III e (d) IV

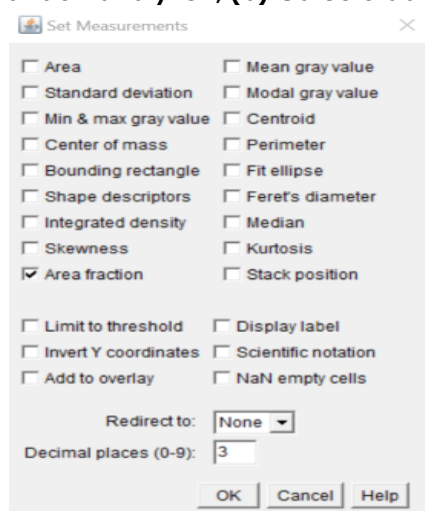


Fonte: elaborada pelos autores (2024).

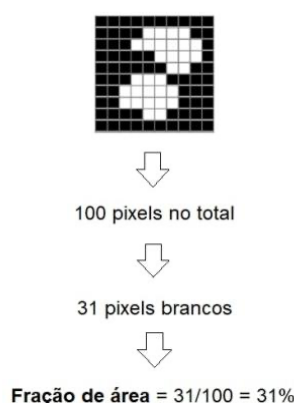
CARACTERIZAÇÃO COM BASE NO GUIA DE ESTUDO

Uma vez realizado o *download* do programa (passo 1) e das imagens testes de 01 até 04 (passo 2), deve-se abrir as imagens e conferir se elas estão em 8 bits (passos 3 e 4), definindo-se, em seguida, os parâmetros a serem medidos (passo 5). Na Figura 2(a), são apresentados todos os possíveis parâmetros que podem ser medidos; porém, sugere-se apenas a fração de área. A escolha desse parâmetro se deve ao fato de sua medição ser fácil e rápida, determinada pela razão entre números de pixels brancos e o número total de pixels na imagem binária.

Figura 2 – (a) Imagem da interface do *software* ImageJ para os parâmetros de medida do comando <analyze>; (b) Cálculo da Fração de área de uma imagem binária



(a)



(b)

Fonte: elaborada pelos autores (2024).

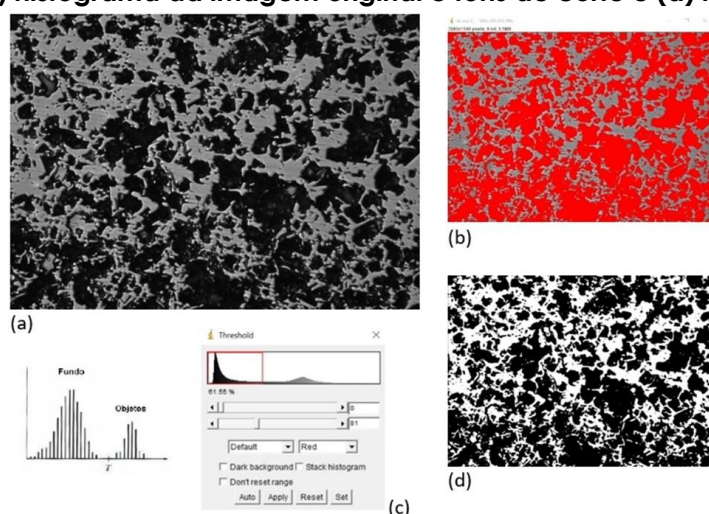


A Figura 2(b) mostra uma imagem binária de 10 x10 pixels, isto é, 100 pixels no total. O número de pixels brancos é igual a 31. Dessa forma, tem-se que a fração de área corresponde ao número de pixels brancos dividido pelo número total de pixels, ou seja, para essa imagem binária a fração de área é igual a 31/100 ou 31%.

Para a análise da imagem, deve-se separar o objeto de interesse (passo 6). A segmentação subdivide uma imagem em regiões ou objetos que a compõem. O nível de detalhe em que a subdivisão é realizada depende do problema a ser resolvido, ou seja, a segmentação deve parar quando os objetos ou as regiões de interesse de uma aplicação forem detectados. A maioria dos algoritmos de segmentação se baseia em uma das propriedades básicas de valores de intensidade: descontinuidade e similaridade (Gonzalez e Woods 2010). Na primeira categoria, a abordagem é dividir uma imagem com base nas mudanças bruscas de intensidade, com base no seu histograma. O histograma representa a frequência relativa de ocorrência dos vários níveis de cinza na imagem considerada. O histograma de uma imagem com baixo contraste pode apresentar a concentração de níveis de cinza numa pequena faixa de distribuição (Cruz, 2007).

A Limiarização é uma técnica que faz a conversão de uma imagem em níveis de cinza em uma imagem binária (*Threshold*), por meio da adoção de um ponto (limiar) contido no seu histograma. Na Figura 3(a), apresenta-se a imagem original, e na Figura 3(b) pode ser observada a imagem durante a aplicação do *threshold*, usando o histograma relativo à imagem [Figura 3(c)], mostrando dois picos com intensidade bem definida. Desse modo, para os pixels com níveis de cinza menores ou iguais a esse ponto, é atribuído valor "0" (preto). Caso contrário é atribuído o valor "255" (branco). Essa técnica dá origem a uma imagem em preto e branco, imagem binária [Figura 3(d)].

Figura 3 – Limiarização bimodal na imagem: (a) Imagem original; (b) Imagem com aplicação do threshold; (c) histograma da imagem original e tons de corte e (d) imagem binária



Fonte: elaborada pelos autores (2024).

No passo 7 é realizada a determinação dos valores da fração porosa para cada imagem e no passo 8 são apresentados os resultados. No Guia de Estudo, os alunos são orientados a construir uma tabela com os resultados para cada imagem e discutir com seus colegas os resultados encontrados. Para contextualizar melhor este trabalho e garantir maior conteúdo ao docente que aplicará esta proposta, na Tabela 1 são apresentados os resultados obtidos por Marins (2008) e os valores determinados pelos autores. Existem diferenças nesses valores uma vez que os autores realizaram análises em apenas uma imagem de cada ampliação, para cada uma das amostras e em máquinas diferentes, enquanto Marins (2008) realizou as análises estatísticas com várias imagens de cada amostra. Portanto, os valores encontrados pelos discentes devem estar de acordo com os valores encontrados na Tabela 2.

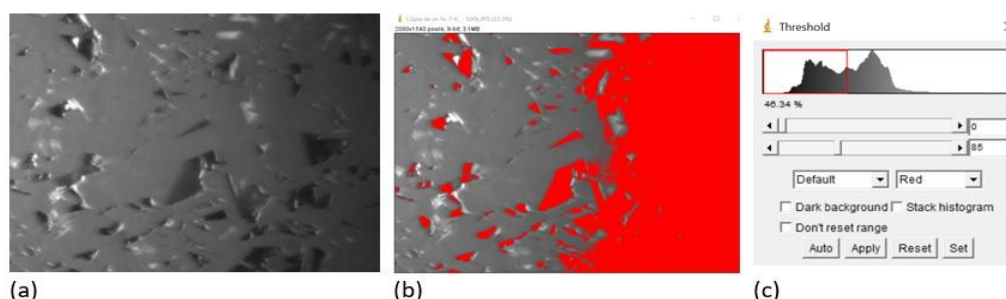
Tabela 2 – Valores de fração porosa

Fração Porosa (%)						
	Marins, 2008	100x	50x	150x	200x	250x
I	30,78 ± 0,80	31,97 ± 2,40	42,16 ± 7,12	23,33 ± 2,22	55,63 ± 1,98	46,35 ± 1,05
II	61,85 ± 0,80	61,34 ± 0,42	63,40 ± 0,42	52,81 ± 5,35	71,34 ± 6,41	67,86 ± 11,40
III	44,05 ± 0,79	43,59 ± 2,89	46,73 ± 1,86	42,61 ± 2,95	40,92 ± 10,33	25,60 ± 1,80
IV	32,44 ± 4,35	32,05 ± 3,85	34,70 ± 6,79	34,05 ± 2,95	41,41 ± 17,92	49,16 ± 12,72

Fonte: elaborada pelos autores (2024).

Nota-se, de acordo com a Tabela 2, que as imagens de maiores ampliações apresentaram grande dispersão, tendência que pode ser explicada em razão da limiarização dessas imagens. Nesse contexto, insere-se a imagem da Amostra I com ampliação de 500x, mostrado na Figura 4, em que se observa uma variação na sua luminosidade. A região à direita dessa imagem apresenta uma menor iluminação, o que deve gerar o baixo contraste e, consequentemente, dificuldade no momento da limiarização. A limiarização das imagens com menor ampliação apresentou, com maior frequência, histogramas bimodais que favorecem a segmentação – ou seja, a separação entre o fundo e o objeto de interesse (neste caso, os poros) –, reduzindo, portanto, a necessidade de intervenção do operador. Além disso, em geral, as maiores ampliações resultaram em valores médios que ficaram distantes dos valores esperados. O número de objetos observados nessas imagens é menor; logo, o fato de ter apenas uma imagem não representa bem o valor esperado da amostra. Em outras palavras, o campo de amostragem não é representativo, possibilitando, por exemplo, uma visualização de um poro de tamanho expressivo. Em função dessas observações, as ampliações de 50x, 100x e 150x apresentam tendências similares, com valores mais próximos do esperado e com menor dispersão. Entre as ampliações citadas, menores valores de dispersão, no geral, são observados nas imagens obtidas com ampliação de 100x, razão pela qual foram escolhidas para serem fornecidas aos estudantes.

Figura 4 – Limiarização na imagem da Amostra I, ampliação de 500x: (a) Imagem original; (b) Imagem com aplicação do threshold; (c) histograma



Fonte: elaborada pelos autores (2024).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir da implementação da atividade proposta, espera-se que o discente aprenda sobre o conceito de porosidade e PDI, de uma maneira diferente e dinâmica. Dessa forma, espera-se que este se torne protagonista das análises que



realiza, desenvolvendo habilidades para resolver problemas e conduzir projetos, essenciais para o cenário tecnológico crescente que vivemos. Assim, o aluno deixa de ser espectador e se torna o responsável pelo seu aprendizado.

Caso o docente deseje aplicar a atividade de forma mais aprofundada, poderá solicitar o acesso a todas as imagens utilizadas na elaboração desta pesquisa. Esse aprofundamento ampliará a discussão em torno da situação-problema, potencializando a aprendizagem e favorecendo o contato com novas informações e a construção de novos conhecimentos, uma vez que exigirá a resolução de impasses adicionais e a tomada de novas decisões pelos alunos. Nesse sentido, incentivamos os docentes a entrarem em contato pelo e-mail metodologiasativasengenharia@gmail.com para obter um conjunto mais amplo de imagens. Ressalta-se ainda que, além das imagens, o docente poderá dialogar com o grupo responsável, que poderá oferecer apoio e disponibilizar dados complementares para fundamentar a atividade.

REFERÊNCIAS

- ANTOLIN, G. D. C.; ANTOLIN, M. Q. Ensino remoto: desafios e percepções dos alunos de um curso de engenharia de uma universidade pública brasileira. **Revista Brasileira de Informática na Educação**, [S. l.], v. 29, p. 863-879, 2021.
- CAMPOS, E. *et al.* Pré-concepções de alunos dos ensinos superior e profissionalizante sobre processamento digital de imagens e software de domínio público. **Engenharias, Ciências e Tecnologia**, v. 7, p. 164-175, Editora Athena, 2019.
- CASTRO, E. A.; QUEIROZ, E. R. Educação a distância e ensino remoto: distinções necessárias. **Revista Nova Paideia – Revista Interdisciplinar em Educação e Pesquisa**, [S. l.], v. 2, n. 3, p. 3-17, 2020.
- COSTA, L. A. C. Desafios e avanços educacionais em tempos da COVID-19. **Revista de Estudos e Pesquisas sobre Ensino Tecnológico**, v. 6, Edição especial, 2020.
- CRUZ, T. G. **Monitoramento por microscopia óptica e processamento digital de imagens do processo de conformação cerâmica por consolidação com amidos comerciais**. 2007. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica e Materiais) – Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2007.
- FERREIRA, D. H. L.; BRANCHI, B. A.; SUGAHARA, C. R. Processo de ensino e aprendizagem no contexto das aulas e atividades remotas no ensino superior em tempos da pandemia COVID-19. **Ensinar e Aprender no Cenário de Pandemia**, v. 12, n. 1 sup., 2020.
- GONÇALEZ, R. C.; WOODS, R. E. **Processamento de imagens digitais**. São Paulo: Edgard Blücher, 2010.
- GROEN, J. C.; PEFFER, L. A. A.; PEREZ-RAMIREZ, J. Pore size determination in modified micro- and mesoporous materials: pitfalls and limitations in gas adsorption data analysis. **Microporous and Mesoporous Materials**, v. 60, n. 19, p. 1-17, 2003.



- ILZIG, T. *et al.* Image data analysis of high-resolution μ CT data for the characterization of pore orientation and pore space interconnectivity in freeze-cast ceramics. **Materials Characterization**, v. 174, 2021.
- ISHIZAKI, K.; KOMARNENI, S.; NANKO, M. **Porous materials**: process technology and applications. Great Britain: Kluwer Academic Publishers, 1998.
- LOPES, T. *et al.* Proposta do uso de metodologias ativas e processamento e análise de imagens no ensino de caracterização de porosidade em materiais cerâmicos usando o software público ImageJ: parte I e parte II. **Anais...** Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia – COBENGE, 50., 2022. DOI: 10.37702/2175-957X.COBENGE.2022.3912.
- LOVATO, F. L. *et al.* Metodologias ativas de aprendizagem: uma breve revisão. **Acta Scientiae**, v. 20, n. 2, 2018.
- MARINS, E. M. **Otimização e caracterização microestrutural de cerâmicas de carbeto de silício obtidas com material nacional para uso em blindagem balística**. 2008. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica e Materiais) – Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2008.
- MITRE, S. M. *et al.* Metodologias ativas de ensino-aprendizagem na formação profissional em saúde: debates atuais. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 13, p. 2133–2144, 2008.
- PALASH, M. L. *et al.* An approach for quantitative analysis of pore size distribution of silica gel using atomic force microscopy. **International Journal of Refrigeration**, v. 105, p. 72–79, 2019.
- PALMA, E. S. Aplicação de metodologia ativa de aprendizado em combinação com a ferramenta Moodle no ensino de mecânica dos materiais do curso de engenharia aeroespacial da UFMG. **Revista de Ensino de Engenharia**, v. 39, p. 26–38, 2020.
- PEREIRA, F. A. V.; VALEGA, F.; COLOMBO, K. Otimizando o tempo em sala de aula: uso de vídeos como estratégia de sala de aula invertida integrada a outras metodologias ativas. **Revista de Ensino de Engenharia**, v. 39, p. 204–214, 2020.
- RASBAND, T. F. W. Guia do usuário ImageJ. Disponível em: <https://imagej.nih.gov/ij/docs/guide/index.html>. Acesso em: 2 dez. 2021.
- RILEY, W. C.; RICHARDSON, J. H. The relationship of physical properties, microstructure and fabrication. In: **Modern Ceramics: some principles and concepts**. California: John Wiley & Sons, 1965.
- SCHULLER, D.; BIANCHI, E. C.; AGUIAR, P. R. Influência de defeitos e diferentes processos de fabricação nas propriedades mecânicas finais de cerâmicas. **Cerâmica**, v. 54, n. 332, p. 435–442, 2008.
- SILVA, A. C. O.; SOUSA, S. A.; MENEZES, J. B. F. O ensino remoto na percepção discente: desafios e benefícios. **Dialogia**, [S. l.], n. 36, p. 298–315, 2020.
- VAZ, M. L. de L.; RIBEIRO, F.; COSTA, L. A. da. The challenges of online distance education and remoteness in the new educational engineering. **Brazilian Journal of Science**, v. 1, n. 4, p. 79–86, 2022.
- ZHAO, S. *et al.* Quantitative study on coal and shale pore structure and surface roughness based on atomic force microscopy and image processing. **Fuel**, v. 79, n. 244, p. 78–90, 2019.