

Processamento de Imagens para Detecção de Furos em Bicos Injetores Diesel

1st Wellinthon da Silveira Kiüller

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica e Informática Industrial (CPGEI-CT)

Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR)

Curitiba, Paraná, Brasil

<https://orcid.org/0009-0000-8591-0393>

I. INTRODUÇÃO

Os bicos injetores desempenham uma função fundamental nos sistemas de combustão a diesel. Em uma multinacional especializada na produção desses bicos, é essencial assegurar a rastreabilidade do produto ao longo dos diversos processos de fabricação. Uma forma eficaz de garantir a rastreabilidade é por meio de gravações a laser, que, ao contrário de etiquetas ou adesivos, permanece intacta durante o processo de fabricação.

Nesse contexto, este trabalho tem como objetivo demonstrar a aplicação de técnicas de processamento de imagens para detectar furos na superfície de vedação de bicos injetores diesel, uma área estratégica para a gravação a laser com fins de rastreabilidade. O artigo está organizado da seguinte forma: na Seção 2.A, é apresentada uma breve explicação sobre os bicos injetores; an Seção 2.B, são descritas as técnicas de processamento de imagens utilizadas; por fim, a Seção de Considerações Finais encerra o artigo, destacando as contribuições do estudo.

II. METODOLOGIA

A. Bico Injetor Diesel

A Figura 1 ilustra um modelo de bico injetor, um dos principais componentes de um sistema de combustão a diesel. Como o foco deste trabalho é a aplicação de técnicas de processamento de imagens, o funcionamento do bico injetor não será abordado em detalhes. No entanto, a Figura 2 destaca alguns de seus componentes.



Figura 1. Bico injetor diesel. Fonte: [1].

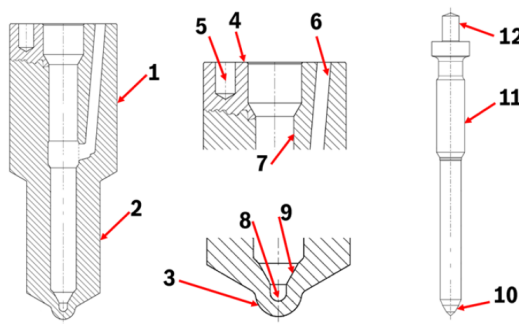


Figura 2. Componentes de um bico injetor diesel. Fonte: [2].

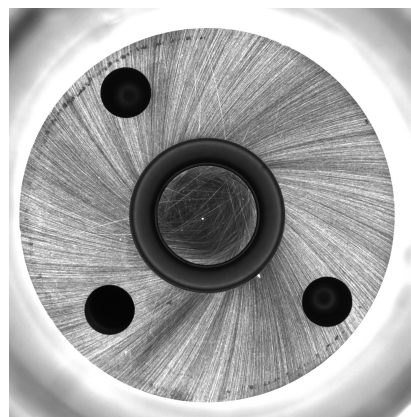


Figura 3. Superfície de vedação de um bico injetor diesel

A Figura 2 destaca as seguintes regiões do bico injetor: base (1), haste (2), cúpula (3), furos de fixação (4 e 5), furo de injeção de combustível (6), guia do corpo (7), furo cego (8), assento da agulha (9), ponta da agulha (10), guia da agulha (11) e espiga da agulha (12) [2]. Os furos de fixação (4 e 5) e injeção de combustível (6) estão localizados em uma região chamada de superfície de vedação, conforme ilustra a Figura 3.

B. Processamento de Imagem

Nesta seção, são abordadas as técnicas de processamento de imagem utilizadas para detecção dos furos

presentes na superfície de vedação do bico injetor, utilizando o *software* Matlab.

1) *Carregar imagem*: esta seção de código descreve as etapas para o carregamento e a visualização da imagem. No Código 1 apresentado, foi carregada uma imagem correspondente à Figura 3.

```
% Clear workspace
clear

% Set working directory
workDir = pwd + "/ProjetoFinal/Images/";

% Read image
imName = "Image0001.jpg";
imNozzle = imread(workDir + imName);

% Show image
figure; imshow(imNozzle);
title(imName);
```

Código 1. Carregamento e visualização da imagem

2) *Filtrar a imagem*: esta seção de código apresenta as etapas de pré-processamento da imagem, utilizando filtros, conforme demonstrado no Código 2. Inicialmente, foi construído um elemento estrutural em formato de disco por meio da função *strel* para aplicação do filtro. Em seguida, o elemento foi utilizado em um filtro de *closing*, gerando a imagem apresentada na Figura 4. Por fim, foi implementado um laço *for* para determinar o valor de sensibilidade mais adequado para a binarização da imagem, utilizando a função *imbinarize*. A Figura 5 apresenta as imagens binarizadas obtidas com diferentes valores de sensibilidade.

```
% Create structuring element
se = strel('disk', 3);

% Apply closing morphology and show image
imClosed = imclose(imNozzle, se);
figure; imshow(imClosed);
title('Closed');

% Show binarized images with different sensitivities
% Increment sensitivity by 0.1
figure;
for i=0.1:0.1:1.0
    imBinarized = imbinarize(imClosed, ...
        "adaptive", "Sensitivity", i);
    subplot(2, 5, i*10); imshow(imBinarized)
    title(i);
end
```

Código 2. Filtragem e análise da sensibilidade para binarização

3) *Segmentar os círculos*: esta seção apresenta as etapas para segmentação dos círculos na imagem, conforme demonstrado no Código 3. Inicialmente, foi definida a variável de sensibilidade como 1,0, de acordo com a análise realizada no Código 2, e estabelecidas as variáveis de cores para visualização dos círculos (verde) e dos textos na imagem (branco e azul). Em seguida, a imagem foi binarizada utilizando a função *imbinarize* com o método adaptativo. Após a binarização, empregou-se a função *imfindcircles* para detectar os

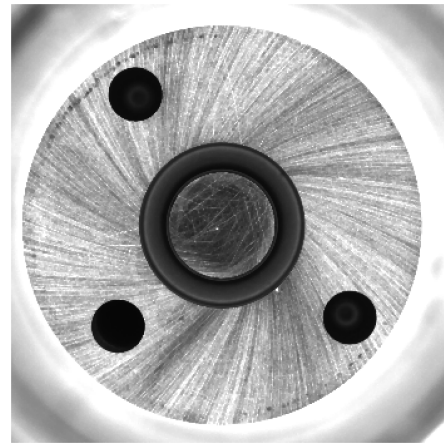


Figura 4. Imagem após aplicação de filtro de *closing*

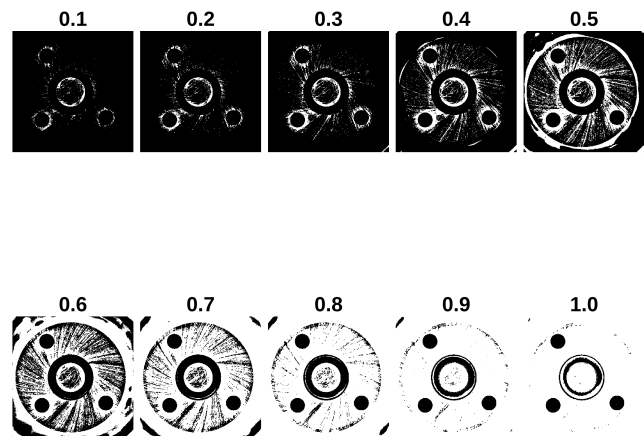


Figura 5. Imagens binarizadas com diferentes níveis de sensibilidade

círculos na imagem, especificando o intervalo de raio entre 50 e 200 *pixels* e definindo a polaridade dos objetos como escura. Posteriormente, a função *viscircles* foi utilizada para visualizar os círculos encontrados. Por fim, a Figura 6 apresenta a imagem após as etapas de segmentação.

```
% Select sensitivity to segmentation
% Select colors to draw circles and text
sensitivity = 1;
edgeColor = [0 1 0];
backgroundColor = [0 0 1];
textColor = [1 1 1];

% Segment image and compute area
imSegmented = imbinarize(imClosed, "adaptive", ...
    "Sensitivity", sensitivity);
[c, r] = imfindcircles(imSegmented, [50,200], ...
    "ObjectPolarity", "dark");

% Show images and circles found
figure; imshow(imNozzle);
title('Original');
figure; imshow(imSegmented);
viscircles(c, r, 'EdgeColor', edgeColor);
title('Segmented');
```

Código 3. Segmentação dos círculos escuros

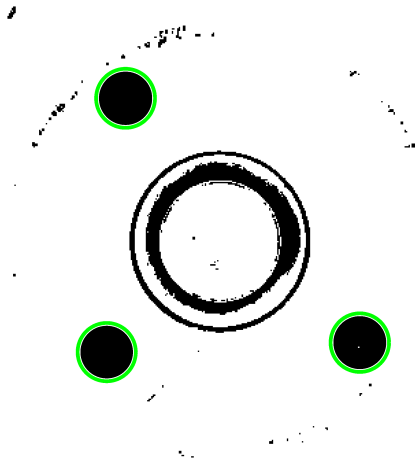


Figura 6. Imagem após segmentação e detecção dos círculos escuros

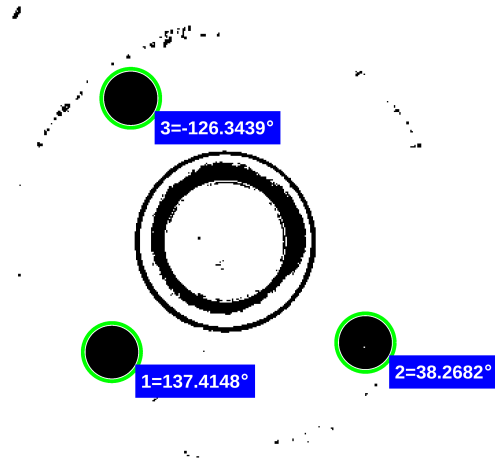


Figura 7. Imagem após o cálculo dos ângulos

4) *Calcular os ângulos dos círculos*: esta seção apresenta as etapas para o cálculo do ângulo de cada círculo encontrado, conforme demonstrado no Código 4. Primeiramente, realizou-se o cálculo dos ângulos dos círculos em relação ao centro da imagem. Como a imagem possui dimensões de 1400x1400 *pixels*, o centro está localizado na coordenada (700, 700). Para realizar o cálculo, utilizou-se a função *atan2*, que retorna o valor de ângulo em radianos, posteriormente convertido para graus com a função *rad2deg*. Por fim, o valor do ângulo obtido é exibido na imagem, seguindo as cores especificadas no Código 3, como ilustrado na Figura 7.

```
hold on;
for i=1:1:numOfCircles
    % Draw circle contour
    x = c(i, 1);
    y = c(i, 2);

    % Compute angles related to the center
    theta = atan2(y - imCenterX, x - imCenterY);
    deg = rad2deg(theta);
    text(c(i, 1)+r(i), c(i, 2)+r(i), ...
        num2str(i)+"="+num2str(deg) + '\circ', ...
        "BackgroundColor", backgroundColor, ...
        "Color", textColor, "FontWeight", "bold");
end
hold off;
```

Código 4. Cálculo dos ângulos em relação ao centro da imagem

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho teve como objetivo demonstrar a aplicação de técnicas de processamento de imagens para a detecção de furos na superfície de vedação de bicos injetores diesel. Os filtros morfológicos e as funções utilizadas comprovaram o potencial dessas abordagens para aplicações de gravação a laser voltadas à rastreabilidade de produtos.

Após a detecção dos furos e o cálculo de seus ângulos, é possível transferir essas informações para uma gravadora a laser por meio de protocolos de comunicação

industrial. Dessa maneira, garante-se que a gravação ocorra na área mais apropriada, que, nesse caso, corresponde à maior região livre de furos ou à maior distância angular entre dois furos.

REFERÊNCIAS

- [1] Karhub, "Bico Injetor Diesel Bosch - 0 433 175 140," 2025, acessado em: 17 maio 2025. [Online]. Available: <https://www.karhub.com.br/p/bico-injetor-diesel-bosch-0-433-175-140-13607060>
- [2] V. Girotto, "Análise técnica para remanufatura de um bico injetor diesel," p. 75, 2023.