

DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE IDENTIFICAÇÃO DA QUALIDADE DO ÓLEO DIESEL PRODUZIDO POR UMA INDÚSTRIA PETROLÍFERA

 <https://doi.org/10.56238/sevened2024.037-166>

Diorge Ramon Andrade Brito

Graduado em Engenharia Elétrica pela Universidade do Estado do Amazonas
Escola Superior de Tecnologia – Universidade do Estado do Amazonas
E-mail: drab.gii22@uea.edu.br

Eliel Silva de Souza

Graduado em Engenharia Mecânica pela UNINORTE
Escola Superior de Tecnologia – Universidade do Estado do Amazonas
E-mail: elielgesds@hotmail.com

Francisco Heraldo Correa Costa

Graduado em Economia pela Universidade Federal do Amazonas
Escola Superior de Tecnologia – Universidade do Estado do Amazonas
E-mail: Francisco.Costa@salcomp.com

João Paulo Santa Rita Neves

Graduado em Engenharia de Controle e Automação pelo Instituto Federal do Amazonas
Escola Superior de Tecnologia – Universidade do Estado do Amazonas
E-mail: jpsrn.gii22@uea.edu.br

Thaiane Naiara Siqueira de Jesus

Graduada em Engenharia Elétrica pela Universidade do Estado do Amazonas
Escola Superior de Tecnologia – Universidade do Estado do Amazonas
E-mail: tnsdj.gii22@uea.edu.br

Willians Lira da Costa

Graduado em Engenharia Mecânica pelo Instituto Federal do Amazonas
Escola Superior de Tecnologia – Universidade do Estado do Amazonas
E-mail: wldc.gii22@uea.edu.br

Jozias Parente de Oliveira

Doutor em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal do Pará
Escola Superior de Tecnologia – Universidade do Estado do Amazonas
E-mail: jpoliveira@uea.edu.br

Israel Gondres Torné

Doutor em Engenharia Elétrica pela Universidade de Camaguey
Escola Superior de Tecnologia – Universidade do Estado do Amazonas
E-mail: itorne@uea.edu.br

RESUMO

O óleo diesel é o combustível mais utilizado no sistema rodoviário brasileiro. Controlar os parâmetros de especificação técnica deste óleo tem suma importância para uma indústria petrolífera e, a cor e o aspecto do produto é um desses principais parâmetros neste processo. Este trabalho apresenta uma



aplicação da mediana em processamento de imagens digitais cujo objetivo é identificar, dentre as diversas imagens da escala de cor existentes do diesel, a qualidade apropriada ou não do óleo produzido. Para isto foram utilizadas amostras de óleo diesel com as suas respectivas gradações de cor, compreendidas entre 1,0 (mais clara) e 8,0 (mais escura), com variações de brilho, contraste e saturação. Para analisar o desempenho desta identificação, foram utilizados os valores da mediana de cada uma das seguintes componentes: Y, YDiferença, Cb, Cr, R, G, B, bem como um limiar de comparação para cada uma delas para classificar a amostra de teste em óleo aprovado ou reprovado. De acordo com resultados experimentais, utilizando-se as componentes YDiferença, Cb e Cr, a acurácia, precisão e sensibilidade (revocação) foram todas iguais a 100 % e a taxa de falsos negativos foi igual a zero. Utilizando-se o YCbCr, obteve-se também uma taxa de falso negativo igual a zero e uma acurácia igual a 99,48 %. No caso do RGB, a taxa de falso negativo foi menor que 1% com precisão e sensibilidade iguais a 99,07%.

Palavras-chave: Processamento Digital de Imagens. Subtração de Imagem. Mediana.

1 INTRODUÇÃO

Em virtude de a matriz energética mundial ainda depender amplamente de combustíveis fósseis, o petróleo e seus derivados permanecerão por muitos anos como essenciais para a movimentação de vários setores da economia e da sociedade, que vão desde a indústria de alimentos até os combustíveis utilizados no sistema rodoviário de um país. Diante deste cenário mundial de dependência, a atividade de refino de petróleo se faz essencial para a garantia da independência energética brasileira. (AGÊNCIA NACIONAL DE PETRÓLEO, 2005). A atividade de refino de petróleo é voltada para produção de derivados como a gasolina, o querosene, o gás liquefeito de petróleo (GLP), o óleo diesel, entre outros. Tal atividade é direcionada conforme o derivado de maior demanda existente, para o caso da matriz rodoviária brasileira esse derivado é o óleo diesel.

Segundo Brasil *et al.* (2011), o óleo diesel é constituído por hidrocarbonetos parafínicos, naftênicos e aromáticos com predominância de hidrocarbonetos parafínicos e naftênicos com tamanhos de cadeia de 10 a 25 átomos de carbono e com faixa de destilação comumente situada entre 150°C e 400°C. Para obtenção do óleo diesel, o petróleo é refinado por um processo de separação chamado destilação atmosférica, o qual consiste na separação de frações de hidrocarbonetos presentes no petróleo com base na diferença de suas temperaturas de ebulição.

Para ser utilizado na indústria, o óleo diesel produzido por uma refinaria de petróleo deve seguir especificações técnicas normalizadas pelo órgão regulamentador brasileiro, nesse caso a Agência Nacional de Petróleo (ANP). Dentre esses parâmetros, a cor e o aspecto do óleo diesel, possuem importância fundamental na especificação final desse derivado, já que uma vez não-conforme, na maioria dos casos os demais parâmetros como densidade e destilação, também estarão não-conformes. Em uma refinaria, o controle de qualidade da cor do óleo diesel é feito de forma manual e subjetiva, por meio de verificação visual de uma amostra do óleo durante a rotina de um técnico de operação da unidade de processo e comparando-a com um padrão previamente aprendido por ele. Tal método traz muitos erros de interpretação e prejuízos na casa dos milhões de dólares ao setor de estocagem dos derivados, em virtude da não identificação imediata de um padrão de cor inadequado para o armazenamento.

Dispor de um sistema de controle de qualidade da cor do óleo diesel produzido e que tal informação seja disponibilizada para os agentes controladores do sistema supervisório, tem importância fundamental para a continuidade operacional de uma refinaria e a redução da probabilidade de perdas financeiras em virtude do armazenamento de óleo diesel fora de especificação técnica.

Diante disso, o presente trabalho demonstra o desenvolvimento de um sistema de identificação da qualidade do óleo diesel, utilizando conceitos e aplicações do processamento digital de imagens por meio da ferramenta MATrix LABoratory (MATLAB) (BACKES, Junior, 2016) cujo objetivo é

sinalizar para um sistema de controle e supervisão de processo, que o óleo diesel produzido no momento, ultrapassou o limite máximo permitido de cor.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

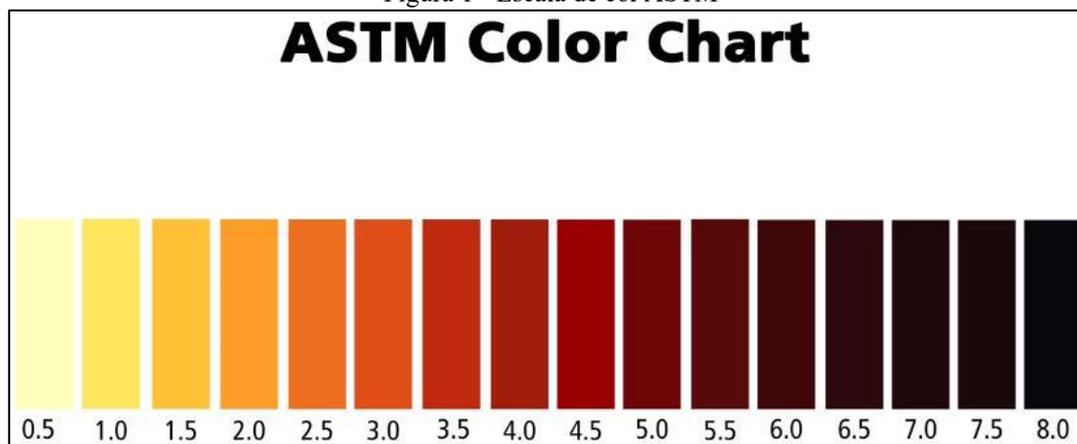
Nesta seção apresenta-se o levantamento bibliográfico acerca de trabalhos relacionados a escala de cores de óleo diesel, processamento digital de imagem, subtração de imagem, aplicação da mediana no processamento de imagens digitais. Para isso foram feitas buscas nas bases literárias IEEE Xplore, Engineering Village, Research Gate.

2.1 ESCALA DE CORES DO ÓLEO DIESEL

Dentre as diversas especificações técnicas do óleo diesel, a cor ASTM (*American Society for Testing and Materials*), é advinda do padrão americano D 1500 e D 6045 de identificação da aparência. A unidade é adimensional e dividida em níveis de 0,5. A norma brasileira ABNT NBR 14483 gradua esses níveis de L0,5 até L8,0. Conforme o site TELUB, “A escala de cores ASTM, também chamada de “valor de cor de óleo mineral”, é usada principalmente para a classificação de produtos derivados do petróleo, como óleos lubrificantes, óleos para aquecimento e óleos combustíveis diesel. A cor dos óleos minerais é constantemente verificada durante o processo para determinar quando eles foram refinados para o nível necessário. A cor também é usada para confirmar que o óleo ou combustível correto é usado para o uso pretendido e que nenhuma contaminação ou deterioração da qualidade ocorreu.

A determinação da cor dos produtos de petróleo é usada principalmente para fins de controle de fabricação e é uma importante característica de qualidade, uma vez que a cor é facilmente observada pelo usuário do produto.” (2022). A figura 1 mostra o padrão de cor ASTM adotado pelos métodos D 1500 e D 6045 descritos anteriormente.

Figura 1 - Escala de cor ASTM



Fonte: TELUB

A NBR 14483 também descreve em seu anexo A, as características do instrumento Colorímetro e dispositivos complementares, usados para realizar a comparação de cor da amostra do óleo com o padrão pré-existente visto na figura 1. Dentre as recomendações, estão a necessidade de iluminação adequada e os padrões coloridos de vidros (figura 2) o qual descreve, para cada nível de cor, a coordenada RGB de cromaticidade e a transmitância luminosa adequadas para a comparação.

Figura 2 - Tabela de padrões coloridos de vidros

Cor ASTM	Coordenadas de cromaticidade ¹⁾ (Sistema USC)			Transmitância luminosa (Fonte padrão CIE ²⁾ C)
	r	g	b	Tw
0,5	0,462	0,473	0,065	0,86 ± 0,06
1,0	0,489	0,475	0,036	0,77 ± 0,06
1,5	0,521	0,464	0,015	0,67 ± 0,06
2,0	0,552	0,442	0,006	0,55 ± 0,06
2,5	0,582	0,416	0,002	0,44 ± 0,04
3,0	0,611	0,388	0,001	0,31 ± 0,04
3,5	0,640	0,359	0,001	0,22 ± 0,04
4,0	0,671	0,328	0,001	0,152 ± 0,022
4,5	0,703	0,296	0,001	0,109 ± 0,016
5,0	0,736	0,264	0,000	0,081 ± 0,012
5,5	0,770	0,230	0,000	0,058 ± 0,010
6,0	0,805	0,195	0,000	0,040 ± 0,008
6,5	0,841	0,159	0,000	0,026 ± 0,006
7,0	0,877	0,123	0,000	0,016 ± 0,004
7,5	0,915	0,085	0,000	0,0081 ± 0,0016
8,0	0,956	0,044	0,000	0,0025 ± 0,0006

¹⁾ A tolerância para as coordenadas de cromaticidade é ± 0,006.

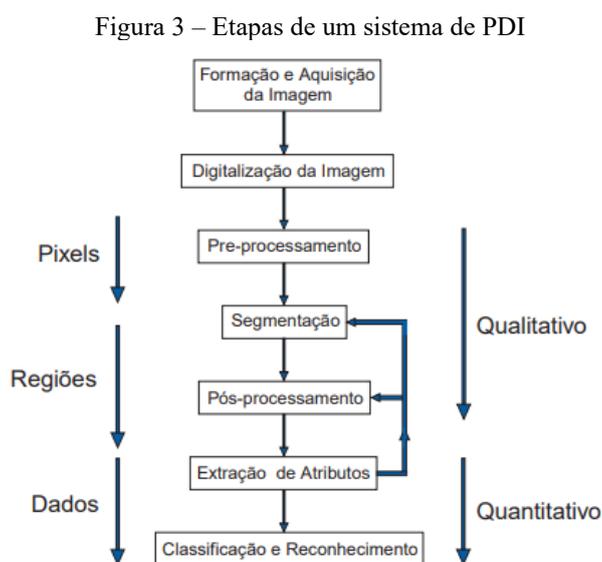
²⁾ Commission Internationale de l' Eclairage (International Commission on Illumination).

Fonte: NBR 14483

2.2 PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGEM

Processamento Digital de Imagens é o conjunto de procedimentos relativos à manipulação e análise de imagens através do computador (QUINTANILHA, 1990). Esses procedimentos englobam a entrada de dados digitais, o realce, a análise estatística e geração de saídas, que podem ser imagens em tons cinzas ou coloridos.

Um sistema de processamento de imagens é constituído de diversas etapas, tais como: formação e aquisição de imagem, digitalização, pré-processamento, segmentação, pós-processamento, extração de atributos, classificação e reconhecimento (ESQUEF et al, 2003), conforme ilustrado na figura 3.



Fonte: (ESQUEF et al, 2003)

Dado que o presente trabalho se trata da manipulação de sinais do tipo imagem, o processamento digital de imagem se encaixa como base principal para essa pesquisa. As principais etapas utilizadas neste trabalho são as seguintes: aquisição de imagens de testes estáticas (em arquivo) e dinâmicas, por meio de câmera de vídeo; pré-processamento para obtenção das componentes de cores Y, Y_{Diferença}, Cb, Cr, R, G, B; obtenção da mediana da cada componente de cor e utilização de um limiar de comparação para classificação das imagens de testes em óleo diesel aprovado ou reprovado.

2.3 SUBTRAÇÃO DE IMAGEM

A subtração de imagem é um processo pelo qual o valor numérico digital de um pixel ou imagem inteira é subtraído de outra imagem. Isto pode ser utilizado para detectar alterações entre duas imagens com objetivo de detectar objetos em movimento em uma cena de vídeo (SINGLA, 2014; ZHAO, 2022). Ademais, a subtração temporal de imagens pode ser utilizada para enfatizar o intervalo de mudança de imagens de tomografia de pacientes para auxiliar na investigação e no diagnóstico de câncer de pulmão, isto é, para realizar a segmentação de nódulos candidatos (TANAKA et al, 2017).

Outra aplicação da subtração de imagens é na segmentação de imagens utilizando a técnica denominada subtração da imagem de fundo (BENRAYA; BENBLIDIA, 2018; PANDEY, 2022). Neste caso, uma imagem de referência do cenário é armazenada no sistema contendo, por exemplo, os valores médios dos elementos de imagem. Esta imagem de referência é utilizada para classificar cada elemento de imagem como pertence a imagem de fundo ou ao objeto (imagem de primeiro plano). Para essa comparação é realizada a subtração entre a imagem corrente e a imagem média de referência. Em seguida, a imagem diferença resultante é comparada com um limiar predefinido. Os elementos de imagens cujas diferenças estejam acima do limiar são classificados como pertencentes ao objeto, do contrário como pertencentes a imagem de fundo ou referência.

Neste trabalho, a subtração de imagem é utilizada para detectar as diferenças na informação de brilho entre as imagens das amostras de teste e a imagem da amostra de referência.

2.4 APLICAÇÃO DA MEDIANA NO PROCESSAMENTO DE IMAGENS DIGITAIS

A mediana m de um conjunto de n elementos é o valor tal que metade dos n elementos do conjunto situem-se abaixo de m e a outra metade acima de m . Quando n é ímpar, a mediana é o próprio elemento central do conjunto ordenado. Nos casos em que n é par, a mediana é calculada pela média aritmética dos dois elementos mais próximos do centro. (FILHO; NETO, 1999)

Uma das aplicações da mediana em processamento de imagens digitais é na implementação de filtros espaciais de ordenação estatística cuja resposta é baseada na ordenação dos pixels contidos na área da imagem englobada pelo filtro. Neste caso, o valor do pixel central é substituído pelo valor determinado pelo resultado da ordenação, isto é, pela mediana dos níveis de cinza na vizinhança desse pixel (o valor original do pixel é incluído no cálculo da mediana). Os filtros de mediana são populares pois para certos tipos de ruído aleatório, eles fornecem excelentes recursos de redução de ruído, com menos desfoque do que filtros lineares de suavização de tamanho similar. Os filtros de mediana são particularmente eficazes em a presença de ruído de impulso, também chamado de ruído sal e pimenta por causa de sua aparência de pontos brancos e pretos sobrepostos em uma imagem (GONZALEZ; WOODS, 2002). Um exemplo de aplicação do filtro de mediana na etapa de pré-processamento de imagens é apresentado por Silva et al. (2019) em que os autores abordam o processamento e a análise de imagens médicas.

No trabalho de tese apresentado por D'AVILA (2019) o filtro da mediana foi utilizado na análise em perfis cromatográficos. Foi desenvolvido um algoritmo como alternativa para a análise da presença de substâncias em plantas como alternativa ao processo manual que é impreciso. Desta maneira, foi possível reduzir o tempo gasto em análise, encontrar os centros das manchas de acordo com sua distribuição e comparar as cores de acordo com seus valores exatos em contraste com o método visual que utiliza a subjetividade do analisador.

Neste trabalho, a mediana é utilizada como medida da intensidade de brilho das componentes de cores nos planos YCbCr e RGB das imagens de referência e de testes das amostras do óleo diesel.

3 METODOLOGIA

A seguir são abordados os aspectos metodológicos da pesquisa realizada, escrevendo-se os procedimentos necessários para avaliar a aplicação da subtração de imagem e da mediana na identificação da qualidade do óleo diesel. Esse estudo teve por finalidade realizar uma pesquisa de natureza aplicada. Para alcançar os objetivos propostos e melhor apreciação deste trabalho, foi utilizada uma abordagem quali-quantitativa. Com intuito de conhecer a problemática sobre a área de estudo foi realizada uma pesquisa exploratória e bibliográfica (GIL, 2019). A seguir são descritos os materiais utilizados ao longo da pesquisa, bem como os procedimentos metodológicos.

3.1 MATERIAIS

Nesta seção apresenta-se o ambiente em que ocorreu o desenvolvimento deste trabalho e o conjunto de dados utilizados na validação e nos testes deste sistema.

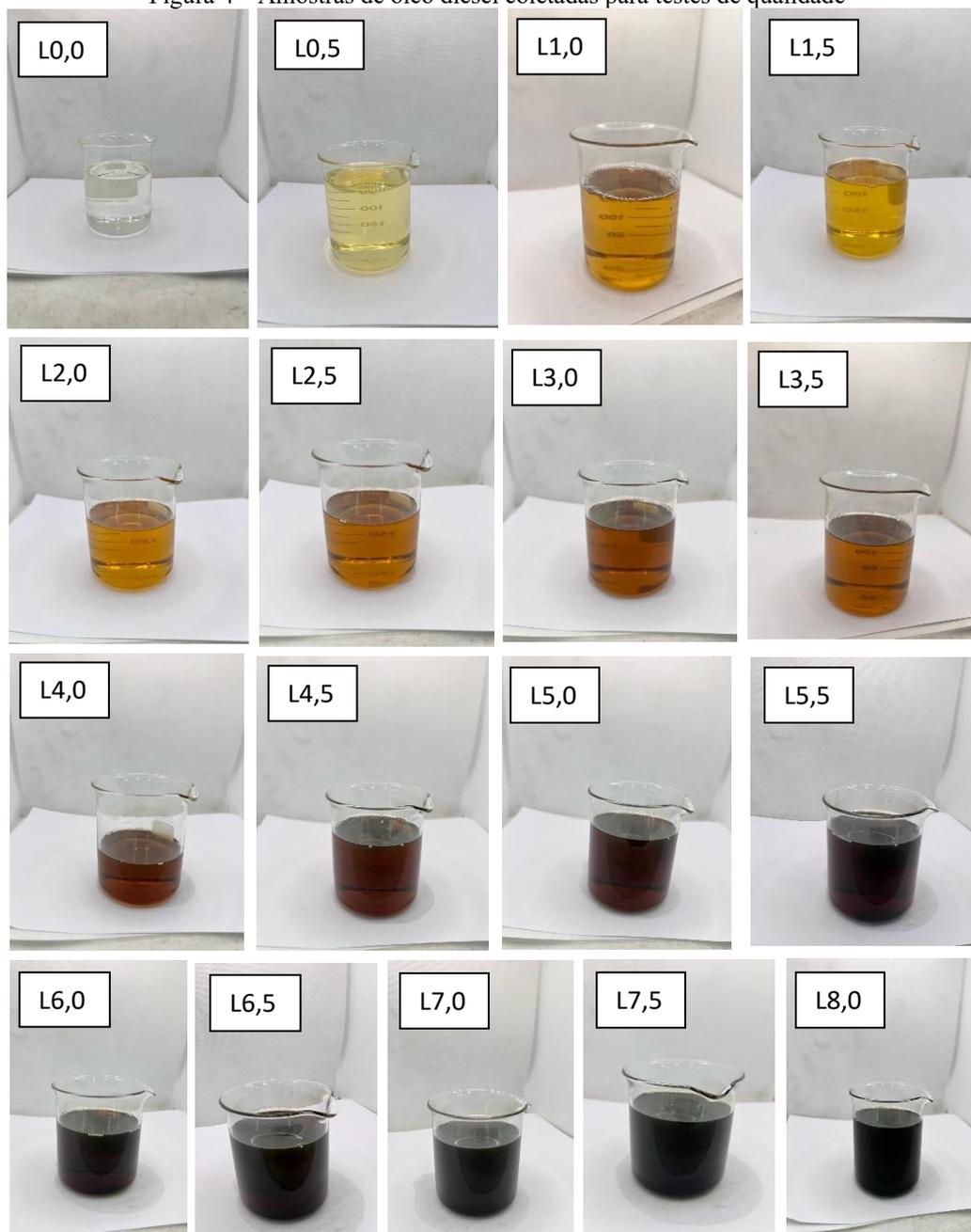
3.1.1 Ambiente de desenvolvimento

O hardware utilizado nesta pesquisa tem a seguinte configuração: Processador 11th Gen Intel(R) Core (TM) i5-11400H @ 2.70GHz 2.69 GHz; RAM 16,0 GB (utilizável: 15,7 GB); Sistema operacional de 64 bits, processador baseado em x64; software Matlab® versão 2022b; HD SSD 1 TB.

3.1.2 Conjunto de dados

O conjunto de dados deste estudo é formado por imagens com amostras do óleo diesel com aspectos variados, isto é, diferentes gradações de cor conforme ilustrado na Figura 04. As amostras com aspectos L0,0 a L3,5 (mais claras) são consideradas como óleo de qualidade aceitável ou aprovada e aquelas com aspectos de L4,0 a L8,0 (mais escuras) são consideradas como óleo de qualidade reprovada.

Figura 4 – Amostras de óleo diesel coletadas para testes de qualidade

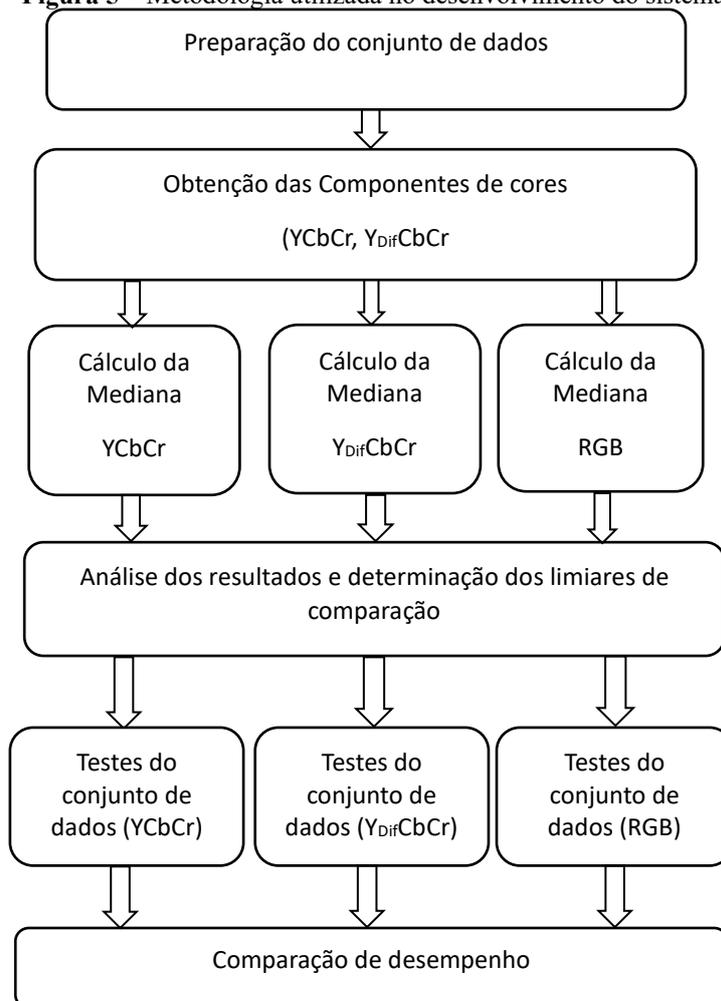


Fonte: Autoria própria.

3.2 MÉTODOS

No diagrama de blocos da figura 05 são apresentadas as etapas da metodologia utilizada no desenvolvido deste trabalho, quais sejam: preparação do conjunto de dados, obtenção das componentes de cores, cálculo da mediana, análise dos resultados e determinação dos limiares de comparação, testes do conjunto de dados nos planos de cores, e comparação de desempenho. A seguir é feita a descrição de cada uma delas.

Figura 5 – Metodologia utilizada no desenvolvimento do sistema



Fonte: Autoria própria.

3.2.1 Preparação do Conjunto de Dados

A preparação do conjunto de dados consistiu na obtenção das imagens de referência e testes a partir das imagens com as amostras de óleo diesel ilustradas na seção anterior. Basicamente, elas foram editadas, utilizando-se o programa de edição de fotos do Windows 11, onde foram feitos recortes das imagens na região do óleo em cada amostra (L0,0 a L8,0). A partir dessas imagens foram obtidas outras com variação de brilho, contraste e saturação. No total o conjunto de dados foi preparado com 192 imagens. A figura 6 ilustra algumas imagens obtidas após o recorte e variação de brilho, contraste e da saturação.

Figura 6 – Imagens utilizadas para validação e testes



Fonte: Autoria própria.

3.2.2 Obtenção das Componentes de cores

Para cada imagem padrão (L0,0 a L8,0) foram obtidas as componentes de cores nos planos YCbCr e RGB. Além disso, foram obtidas as imagens diferenças entre a componente Y da imagem padrão L0,0 e todas as demais componentes Y da demais imagens (L0,5 a L8,0). No final desta etapa foram obtidas as imagens das seguintes componentes: Y, Y_{Diferença}, Cb, Cr, R, G, B.

3.2.3 Cálculo da Mediana

A partir das imagens das componentes de cores, obtidas na etapa anterior, foram calculados os valores das medianas para cada uma dessas imagens. Ao final dessa etapa foram obtidos 17 valores de mediana correspondentes as 17 imagens padrões (L0,0 a L8,0) para cada uma das componentes (Y, Y_{Diferença}, Cb, Cr, R, G, B).

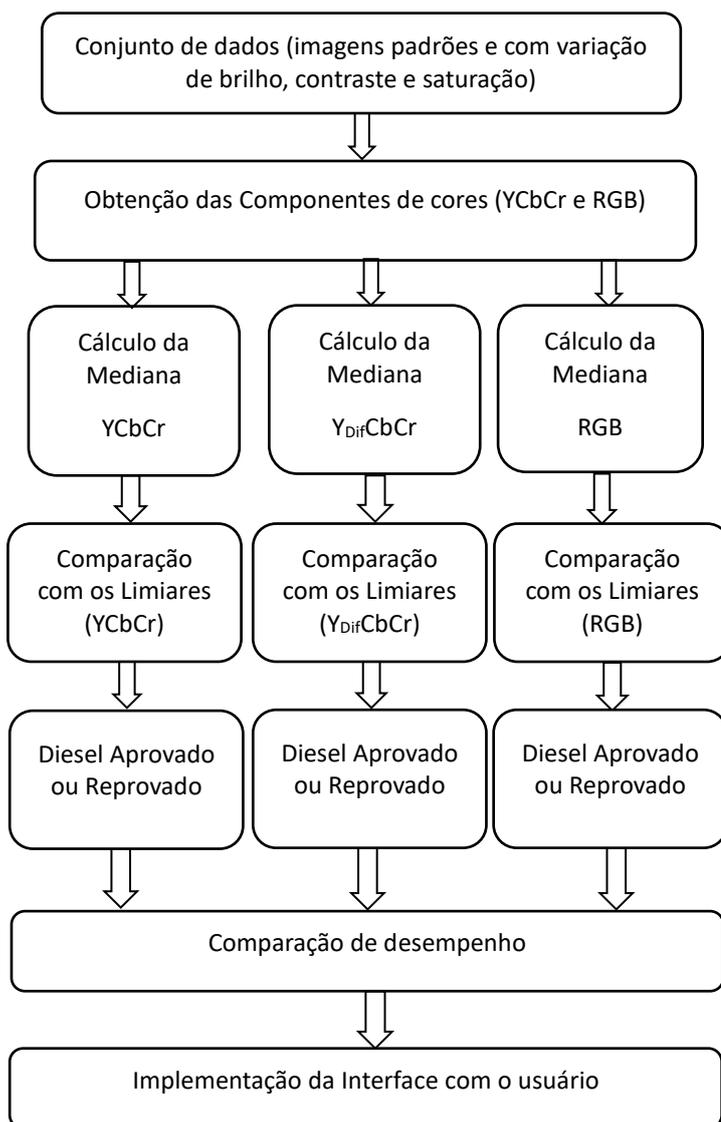
3.2.4 Análise dos resultados e determinação dos limiares de comparação

A partir dos valores da mediana obtidos na etapa anterior, partiu-se para análise dos resultados. O objetivo desta etapa foi avaliar o comportamento das amostras do óleo diesel em cada uma das componentes (Y, Y_{Diferença}, Cb, Cr, R, G, B) para verificar a variação dos valores da mediana em função das cores das amostras de óleo diesel. A partir dessa análise foi possível estabelecer limiares de comparação para cada uma das componentes (Y, Y_{Diferença}, Cb, Cr, R, G, B) tendo como ponto de corte a amostra L4,0 a partir da qual o óleo é considerado reprovado.

3.2.5 Testes do conjunto de dados

Na etapa de testes, o conjunto de dados previamente preparado foi utilizado para avaliar o desempenho do algoritmo implementado na identificação das amostras com óleo diesel aprovado ou reprovado. A figura 7 ilustra o fluxograma do algoritmo desenvolvido para realização automática dos testes das amostras de óleo diesel. A seguir é descrita cada uma destas etapas.

Figura 7 – Fluxograma do algoritmo desenvolvido para os testes de



Fonte: Autoria própria.

Primeiro, foi realizada a leitura das imagens de cada uma das amostras de óleo diesel, tanto as padrões (L0,0 a L8,0) quanto as com variações de brilho, contraste e saturação. Em seguida, foram obtidas as componentes Y, $Y_{Diferença}$, Cb, Cr, R, G, B e calculada a mediana para cada uma delas. Na próxima etapa, os valores das medianas foram comparados com limiares estabelecidos para determinar se amostra em análise estaria aprovada ou reprovada conforme ilustrado nas equações 1, 2 e 3.

$$Amostra = \begin{cases} Diesel\ Reprovado, \\ se\ (Y_{mediana} < Limiar_Y\ E \\ Cb_{mediana} > Limiar_{Cb}\ E \\ Cr_{mediana} < Limiar_{Cr}) \\ Diesel\ Aprovado, \quad Caso\ contrário \end{cases} \quad (1)$$

$$Amostra = \begin{cases} Diesel\ Reprovado, \\ se\ (Y_{difmediana} > Limiar_{Ydif}\ E \\ Cb_{mediana} > Limiar_{Cb}\ E \\ Cr_{mediana} < Limiar_{Cr}) \\ Diesel\ Aprovado, \quad Caso\ contrário \end{cases} \quad (2)$$

$$Amostra = \begin{cases} Diesel\ Reprovado, \\ se\ (R_{mediana} < Limiar_R\ E \\ G_{mediana} < Limiar_G\ E \\ B_{mediana} > Limiar_B) \\ Diesel\ Aprovado, \quad Caso\ contrário \end{cases} \quad (3)$$

3.2.6 Comparação de desempenho

Na etapa de análise de desempenho, foram analisados os resultados obtidos com os testes das imagens com amostras do óleo diesel com variações de brilho, contraste e saturação. As métricas utilizadas na validação e nos testes foram as seguintes: Acurácia, Precisão e Sensibilidade. Para apresentar essas métricas são definidos previamente os seguintes termos:

- Verdadeiros Positivos (VP): óleo diesel reprovado identificado corretamente como reprovado;
- Verdadeiros Negativos (VN): óleo diesel aprovado identificado corretamente como aprovado;
- Falsos Positivos (FP): óleo diesel aprovado erroneamente identificado como reprovado;
- Falsos Negativos (FN): óleo diesel reprovado erroneamente identificado como aprovado;

A Acurácia (FERRARI; SILVA, 2017) é definida na equação 4 e ela avalia, neste contexto, o percentual de acertos na identificação de óleo diesel com qualidade aprovada.

$$(4) \quad ACC = \frac{VP + VN}{VP + VN + FP + FN}$$

A Precisão (SOKOLOVA; LAPALME, 2009), mostrada na equação (5), expressa neste contexto, a razão entre o número de amostras de óleo diesel que foram identificados corretamente sobre a soma de todas as amostras identificadas como de qualidade aprovada. Assim, expressa a capacidade do modelo de evitar falsos positivos.

$$(5) \quad Precisão = \frac{VP}{VP + FP}$$

A Revocação (*Recall*) ou sensibilidade (SOKOLOVA; LAPALME, 2009), mostrada na equação (6), é uma métrica que determina, neste contexto, a taxa de amostras de óleo diesel identificados corretamente como diesel de qualidade reprovada.

$$(6) \quad \text{Sensibilidade} = \frac{VP}{VP + FN}$$

Além disso, na indústria do petróleo uma indicação de falso negativo, ou seja, óleo diesel de qualidade reprovada identificado erroneamente como aprovado gera prejuízos enormes para empresa. Por isso, neste trabalho, o escore taxa de falsos negativos (TFN) é uma medida que neste contexto expressa a taxa óleo diesel ruim erroneamente identificado como aprovado. A TFN é definida de acordo com a equação (7).

$$\text{FNR} = \frac{FN}{FN + VP} \quad (7)$$

Todos as etapas das validações e testes foram realizadas de modo automático, incluindo a geração das métricas de avaliação de desempenho.

Neste trabalho, avaliou-se também a hipótese nula de que os resultados entre os planos de cores YCbCr e RGB para identificação das amostras de óleo diesel reprovadas sejam semelhantes (KING; ECKERSLEY, 2019). Para avaliar essa hipótese nula (H_0), foi utilizado o teste do Chi-quadrado (χ^2) (HOWELL, 2011), calculado a partir de tabelas de contingência 2×2 . Para esta inferência, adotou-se um nível de significância igual 0,05. A hipótese nula (H_0), indica que não existe diferença entre os planos de cores analisados quanto a identificação de amostras de óleo diesel reprovadas.

3.2.6 Implementação da Interface com Usuário

Após a validação e análise dos resultados nas etapas anteriores, foi criada uma Interface com o usuário que utiliza uma câmera de vídeo para capturar a imagem da amostra de teste. A câmera de vídeo utilizada foi o modelo Logitech webcam Pro9000 com resolução 640 x 480.

4 RESULTADOS

Neste capítulo, são apresentados e discutidos os seguintes resultados: valores dos limiares de comparação, identificação da qualidade do óleo diesel e interface com o usuário.

4.1 VALORES DOS LIMIARES DE COMPARAÇÃO

Na Tabela 01 são apresentados os valores da mediana para cada componente (Y, Y_{Diferença}, Cb, Cr, R, G, B) obtidas para as imagens L0,0 a L8,0.

Tabela 01: Valores da mediana para cada componente de cor

L	Y	Y _{dif}	CB	CR	R	G	B
0,0	177	0	126	129	188	188	186
0,5	166	9	99	139	192	177	117
1,0	117	62	71	164	174	111	1
1,5	134	45	61	159	186	138	1
2,0	114	64	72	165	172	106	0
2,5	95	82	82	164	149	81	1
3,0	71	106	96	160	115	50	0
3,5	82	95	90	161	131	64	0
4,0	53	124	112	152	82	30	10
4,5	50	126	119	146	69	28	21
5,0	47	130	124	141	55	28	27
5,5	37	139	128	130	29	22	26
6,0	41	138	127	132	36	26	27
6,5	35	144	128	130	25	20	22
7,0	44	135	128	127	31	33	33
7,5	35	143	130	127	21	22	27
8,0	24	154	129	126	5	10	11

Conforme os resultados obtidos, para a componente Y, a partir da amostra L3,5 os valores da intensidade de brilho reduzem para valores menores que 83. Para a componente Y_{dif}, a intensidade aumenta para valores acima de 95 a partir da amostra L3,5. Para a componente Cb, a intensidade aumenta para valores acima de 90 a partir da amostra L3,5. Para a componente Cr, a intensidade diminui para valores abaixo de 161 a partir da amostra L3,5. No caso das componentes R e G, observa-se uma redução das intensidades para valores abaixo de 131 e 64, respectivamente, a partir da amostra L3,5. Para componente B, observa-se, para esta mesma amostra, valores acima de zero. Com isso foi possível os limiares de comparação para cada componente de cor conforme ilustrado na tabela 02.

Tabela 02: Valores dos limiares para cada componente de cor

Componentes	Limiar
Y	80
Y _{dif}	110
Cb	100
Cr	155
R	120
G	55
B	5

4.2 RESULTADOS DA IDENTIFICAÇÃO DA QUALIDADE DO DIESEL

Na Tabela 3 são apresentados os resultados obtidos com os testes de todas as imagens do conjunto de dados, isto é, com variações de brilho, contraste e saturação, totalizando 192 imagens.

Tabela 3 – Métricas de análise de desempenho

Plano de Cores	ACC (%)	Precisão (%)	Recall (%)	TFN (%)
RGB	98,96	99,07	99,07	0,00925
YCbCr	99,48	99,08	100,00	0
Y _{Dif} CbCr	100,00	100,00	100,00	0

O melhor resultado obtido foi utilizando as componentes Y_{dif}, Cb e Cr cuja acurácia, precisão e sensibilidade (revocação) foram todas iguais a 100 %, bem como a taxa de falsos negativos foi igual a zero. Utilizando-se o YCbCr, obteve-se também uma taxa de falso negativo igual a zero e uma acurácia igual a 99,48 %. No caso do RGB, a taxa de falso negativo foi menor que 1% com precisão e sensibilidade iguais a 99,07%.

Na Tabela 4 é apresentada a matriz de confusão para o plano de cores RGB. Conforme o resultado obtido foi gerado um falso positivo e um falso negativo, ou seja, uma das amostras que deveria ter sido reprovada foi aprovada e outra que deveria ter sido aprovada foi reprovada. Isto ocasionou uma taxa de erro diferente de zero. A imagem de teste que gerou falso negativo foi a L4,0 e a que gerou falso positivo foi a L3,0, ambas com variação de saturação.

Tabela 4 - Matriz de confusão RGB

	Identificação Prevista	
	Diesel Aprovado	Diesel Reprovado
Identificação Real		
Diesel Aprovado	107	1
Diesel Reprovado	1	83

Na Tabela 5 é apresentada a matriz de confusão para o plano de cores YCbCr. Conforme o resultado obtido foi gerado um falso positivo, isto é, óleo diesel aprovado erroneamente identificado como reprovado. A imagem de teste que gerou falso positivo foi a L3,0 com variação de saturação.

Tabela 5 - Matriz de confusão YCbCr

	Identificação Prevista	
	Diesel Aprovado	Diesel Reprovado
Identificação Real		
Diesel Aprovado	108	0
Diesel Reprovado	1	83

Na Tabela 6 é apresentada a matriz de confusão para o Y_{Dif}CbCr. Conforme o resultado obtido não foram gerados falsos positivos e nem negativo. Esta é situação ideal para indústria petrolífera visto que todas as amostras foram corretamente identificadas (aprovadas ou reprovadas).

Tabela 6 - Matriz de confusão Y_{Dif} CbCr

	Identificação Prevista	
	Diesel Aprovado	Diesel Reprovado
Identificação Real		
Diesel Aprovado	108	0
Diesel Reprovado	0	84

4.2.1 Teste do Chi-quadrado (χ^2)

Na Tabela 7 são apresentados os resultados dos testes do Chi-quadrado realizados entre os planos de cores YCbCr e RGB. O nível de significância adotado foi igual a 0,05, portanto, como o p-valor obtido em todos os casos foi superior ao nível de significância, aceitou-se a hipótese nula de que não foram encontradas diferenças estatisticamente significantes em relação a identificação de amostras de óleo diesel reprovadas para os planos de cores YCbCr e RGB.

Tabela 7 – Resultados do teste do Chi-quadrado (χ^2)

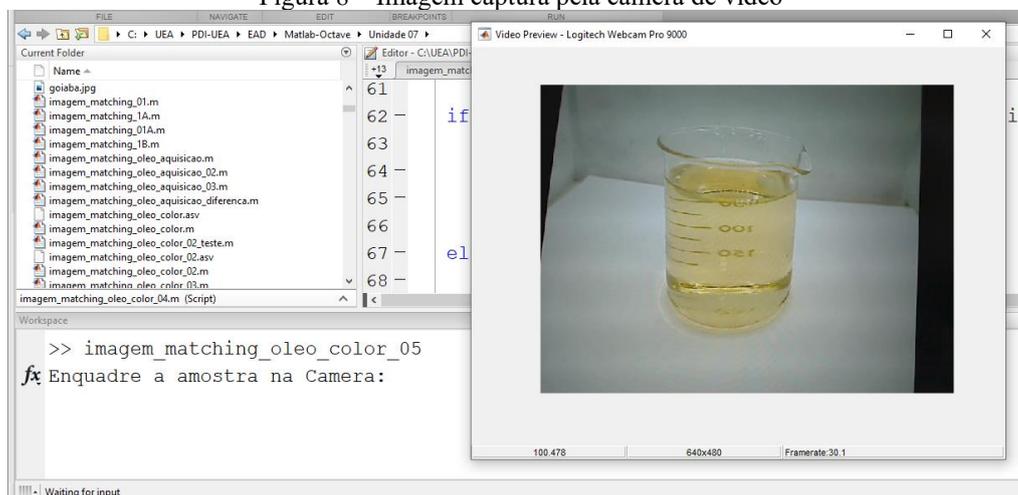
Planos de Cores	(p-valor)
YCbCr x RGB	0,562
Y_{Dif} CbCr x RGB	0,156
Y_{Dif} CbCr x YCbCr	0,316

4.3 INTERFACE COM O USUÁRIO

Para implementação da Interface com o usuário, foi utilizada uma câmera de vídeo, modelo Logitech webcam Pro9000, com as seguintes especificações e configurações: resolução 640 x 480, Brilho = 128; Contraste = 32; Saturação = 28.

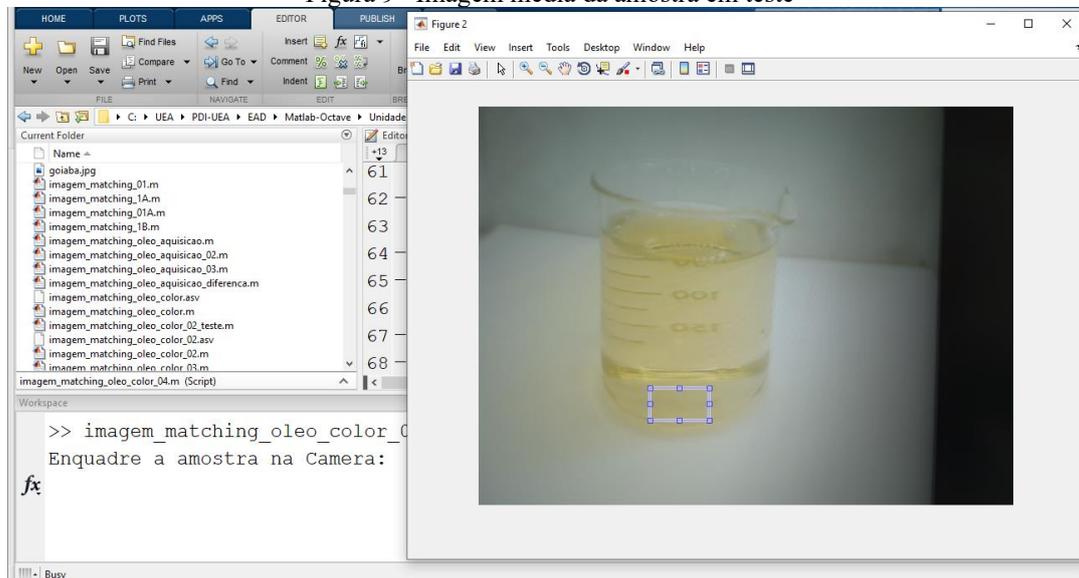
Quando o usuário executa o script no MatLab, aparece a seguinte mensagem: “Enquadre a amostra na Câmera”, conforme ilustrado na figura 8. A sequência de quadros capturada é exibida para que o usuário posicione a imagem da amostra no campo visual da câmera de vídeo. Na parte inferior da imagem é exibida a resolução (640 x 480), bem como a taxa de quadros por segundos (30).

Figura 8 – Imagem captura pela câmera de vídeo



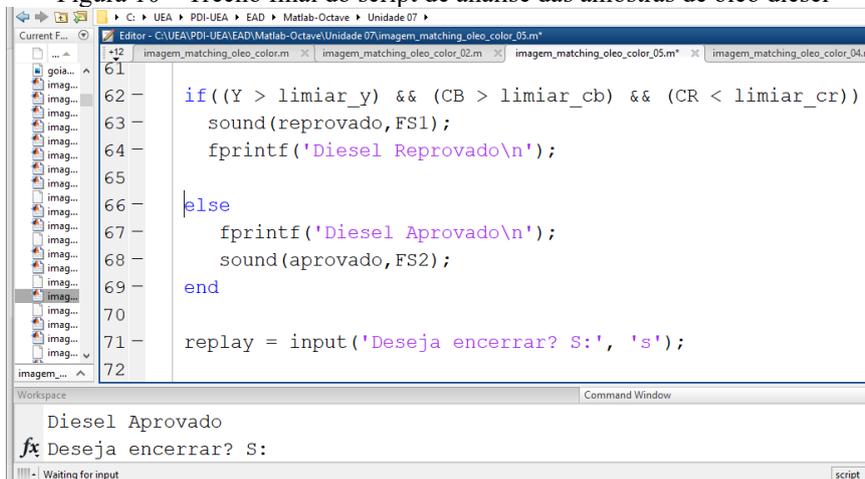
Quando a imagem da amostra estiver posicionada, o usuário pressiona a tecla “ENTER” e o script captura 30 quadros para obtenção da imagem média cujo objetivo é reduzir ruídos oriundos do processo de captura da imagem. Na figura 9 é ilustrada a imagem média da amostra em teste.

Figura 9– Imagem média da amostra em teste



Quando o script finaliza o cálculo da imagem média, ele aguarda o usuário selecionar nesta imagem que é exibida na tela uma pequena região óleo diesel. Ao fazer esse procedimento, o script destaca a área selecionada conforme ilustrado na figura 9. Ao finalizar a seleção da área do óleo diesel, o usuário deverá dar um duplo click para que o script capture a região selecionada e proceda com a análise da amostra. No final da análise é emitida uma mensagem de voz e um texto informando se a amostra está aprovada ou reprovada conforme ilustrado na figura 10. Em seguida, o script pergunta se o usuário deseja encerrar ou continuar analisando outras amostras. Ao digitar “S”, o script é encerrado conforme ilustrado na figura 10.

Figura 10 – Trecho final do script de análise das amostras de óleo diesel



5 CONCLUSÃO

O principal objetivo deste trabalho foi apresentar a aplicação da mediana na identificação da qualidade do óleo diesel. Dessa maneira, buscou-se analisar três abordagens utilizando a mediana como medida da intensidade das componentes Y, $Y_{\text{Diferença}}$, Cb, Cr, R, G, B. O trabalho investigou o desempenho de cada abordagem utilizando imagens de teste na escala de L0,5 a L8,0 com variações de brilho, contraste e saturação.

De acordo com resultados experimentais, utilizando-se RGB, a taxa de falso negativo foi menor que 1% com precisão e sensibilidade iguais a 99,07%. Neste caso, foi gerado um falso positivo e um falso negativo, ou seja, uma das amostras que deveria ter sido reprovada foi aprovada e outra que deveria ter sido aprovada foi reprovada. Muito embora a taxa de falso negativo seja inferior a 1%, isto pode ocasionar transtornos no processo produtivo do óleo diesel, visto que, uma falsa aprovação pode causar prejuízos a indústria, bem como uma falsa reprovação pode gerar alarmes desnecessários.

Em relação ao plano de cores YCbCr, obteve-se também uma taxa de falso negativo igual a zero e uma acurácia igual a 99,48 %. Neste caso, foi gerado um falso positivo, isto é, óleo diesel aprovado erroneamente identificado como reprovado. O melhor resultado obtido foi utilizando as componentes Ydif, Cb e Cr na qual a acurácia, precisão e sensibilidade (revocação) foram todas iguais a 100 %, bem como a taxa de falsos negativos foi igual a zero.

Analisando-se os resultados de inferência estatística com o teste do Chi-quadrado não foram encontradas diferenças estatisticamente significantes em relação a identificação de amostras de óleo diesel reprovadas para os planos de cores YCbCr e RGB. Contudo, tendo em vista que a utilização das componentes Ydif, Cb e Cr não gerou falsos positivos e nem negativos para o conjunto de dados testados, sugere-se esta abordagem em trabalhos futuros que pretendam implementar um sistema de identificação da qualidade do óleo diesel no processo produtivo integrado com um sistema supervisorio para auxiliar na tomada de decisões.

Em relação a câmera de vídeo para aquisição das imagens das amostras de testes, foi utilizada uma resolução de 640 x 480, o que pode ser facilmente encontrada no mercado. Caso o hardware utilizado para o processamento das imagens seja capaz de processar 30 quadros por segundos, em menos de 2 segundos, o sistema será capaz de identificar a qualidade do óleo produzido, o que seria suficiente para acionar o sistema supervisorio no processo produtivo da refinaria.



REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS. Refino de petróleo. 31 jul. 2020. Disponível em: <https://www.gov.br/anp/pt-br/assuntos/producao-de-derivados-de-petroleo-e-processamento-de-gas-natural/producao-de-derivados-de-petroleo-e-processamento-de-gas-natural>. Acesso em: 01 fev. 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14483: Produtos de petróleo – Determinação da cor – Método do colorímetro ASTM - Anexo A: Descrição do colorímetro e dispositivos complementares. Rio de Janeiro, p. 13, 2015.

ASTM D1500 COLOUR SCALE: HVAD, HVORFOR OG HVORDAN. Insatech. 2022. Disponível em: <https://www.insatech.com/inspiration/teori/hvad-er-astm-d1500-colour-scale/>. Acesso em: 06 fev. 2023.

BACKES, André Ricardo; JUNIOR, Jarbas J. M. Sá. Introdução à visão computacional usando MATLAB. Rio de Janeiro: Alta Books, 2016.

BENRAYA, Imane; BENBLIDIA, Nadja. Comparison of Background Subtraction methods. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SMART SYSTEMS (ICASS), 2018, Medea, Algeria. Anais... p. 1-5, 2018. doi: 10.1109/ICASS.2018.8652040.

BRASIL, Nilo Índio et al. Processamento de petróleo e gás: Petróleo e seus derivados | Processamento primário | Processos de refino | Petroquímica | Meio ambiente. 1. ed. Rio de Janeiro: GEN-LTC, 2011.

COR ASTM: COMO ESTA ANÁLISE PODE INDICAR A QUALIDADE DO LUBRIFICANTE?. TELUB. 06 dez. 2022. Disponível em: <https://www.telub.com.br/blog/artigos-tecnicos/cor-astm-como-esta-analise-pode-indicar-a-qualidade-do-lubrificante>. Acesso em: 02 fev. 2023.

D'AVILÁ, J. Uso de processamento digital de imagens para avaliação de perfil químico por cromatografia em camada delgada. 2019. Tese (Graduação em Engenharia Elétrica) – Departamento de Engenharia Elétrica do Centro Tecnológico, Universidade Federal do Espírito Santo, Espírito Santo, 67 p.

ESQUEF, Israel Andrade; ALBUQUERQUE, Márcio Portes de; ALBUQUERQUE, Marcelo Portes de. Processamento de imagens: Métodos e análises. Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas, 2003.

GIL, Antônio Carlos. Como elaborar projetos de pesquisa. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2019.

GONZALEZ, R. C.; WOODS, R. E. Digital image processing. 2. ed. New Jersey: Prentice Hall, 2002.

HOWELL, David C. Chi-square test: Analysis of contingency tables. In: International Encyclopedia of Statistical Science. [S.l.]: Springer Berlin Heidelberg, 2011. p. 250–252.

KING, Andrew P.; ECKERSLEY, Robert J. Inferential statistics III: Nonparametric hypothesis testing. In: Statistics for Biomedical Engineers and Scientists. [S.l.]: Elsevier, 2019. p. 119–145.

LAPOLLI, Edis Mafra. Processamento de imagens digitais: Uma abordagem utilizando conjuntos difusos. 1994. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 30 p.

SILVA, Marques et al. Processamento e análise de imagens médicas. Revista Brasileira de Física Médica, v. 13, n. 1, p. 34-48, 2019.



MARQUES FILHO, Ogê; VIEIRA NETO, Hugo. *Processamento digital de imagens*. Rio de Janeiro: Brasport, 1999.

PANDEY, et al. Video background subtraction algorithms for object tracking. In: 2022 Third International Conference on Intelligent Computing Instrumentation and Control Technologies (ICICICT), 2022, Kannur, India. *Anais...* p. 464-469, 2022. doi: 10.1109/ICICICT54557.2022.9917717.

SINGLA, Nishu. Motion detection based on frame difference method. *International Journal of Information & Computation Technology*, v. 4, n. 15, p. 1559-1565, 2014.

SOKOLOVA, Marina; LAPALME, Guy. A systematic analysis of performance measures for classification tasks. *Information Processing & Management*, v. 45, n. 4, p. 427–437, 2009. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0306457309000259>. Acesso em: 27 out. 2019.

STANDARD TEST METHOD FOR ASTM COLOR OF PETROLEUM PRODUCTS (ASTM COLOR SCALE). ASTM. 2017. Disponível em: <https://www.astm.org/d1500-12r17.html>. Acesso em: 02 fev. 2023.

TANAKA, et al. Detection of lung nodules on temporal subtraction images using 3D sparse coding. In: 2017 17th International Conference on Control, Automation and Systems (ICCAS), 2017, Jeju, Korea (South). *Anais...* p. 1455-1457, 2017. doi: 10.23919/ICCAS.2017.8204220.

ZHAO, Xinyue et al. A survey of moving object detection methods: A practical perspective. *Neurocomputing*, v. 503, p. 28-48, 2022. ISSN 0925-2312. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.neucom.2022.06.104>. Acesso em: 2022.