

Técnicas experimentais, processamento de imagens e inteligência artificial para a análise dos gases de exaustão de trator agrícola: teoria e prática

Palavras-Chave: processamento de imagens, gases efeito estufa, câmara térmica

Autores (as):

Gabriel de Castro Juraski, FEAGRI – UNICAMP

Prof.^a. Dr.^a. Barbara J. Teruel (orientadora), FEAGRI - UNICAMP

INTRODUÇÃO:

O crescimento das frotas de tratores agrícolas, que majoritariamente utilizam combustíveis fósseis e motores de ciclo diesel, contribuem com o aumento dos índices de emissão de gases poluentes e de efeito estufa (CO, CO₂, CH e NO_x) registrados. Uma das legislações vigentes estabelecidas pelo Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores, define os limites para diferentes categorias de veículos, com fases progressivas que visam reduzir a emissão destes gases. Contudo, há necessidade de medição e identificação dos gases gerados na combustão, de preferência em tempo real, para que seja possível aplicar estratégias que se traduzam em efetiva diminuição das emissões de gases poluentes e de efeito estufa. Buscando alternativas de medição, o objetivo deste projeto é a identificação dos métodos de análise de gases de exaustão, bem como as diferentes técnicas que vêm sendo utilizadas, através da revisão de literatura em trabalhos que abordam a temática.

METODOLOGIA:

A execução do projeto foi dividida em duas etapas, sendo a primeira de revisão em bases de dados e de publicações científicas, na busca por informações sobre sistemas e métodos de análises da composição dos gases produto da combustão. A segunda etapa está atrelada ao projeto em andamento, **Desempenho Mecânico de Trator Agrícola com Biocombustíveis de Nova Geração**.

Revisão de literatura

A partir da definição do conjunto de palavras chave, e/ou descritores, critérios hierárquicos e combinações possíveis, foi realizada a busca de publicações nas bases de dados *Scopus*, Periódicos da Capes e *Google Academic*.

As publicações encontradas foram organizadas de acordo à ordem de interesse de acordo às palavras chave e planejamento estabelecido. A seleção dos artigos separados e organizados foi decidido de acordo com o título e leitura do resumo. Daqueles selecionados foi realizada uma leitura minuciosa para interpretação da metodologia e resultados, escrevendo uma síntese de cada um (Figura 1).

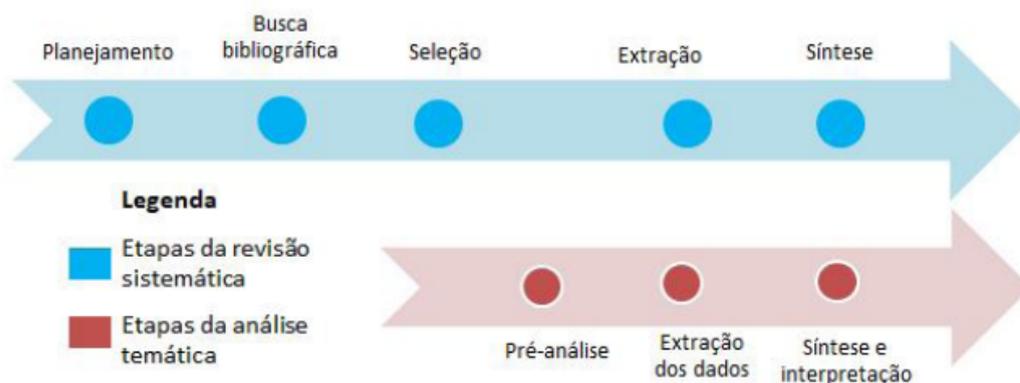


Figura 1- Etapas para condução da revisão sistemática associada à análise temática
Fonte: CERVI & CHRISTOPOULOS, 2022

Análise da emissão de gases de exaustão

O estudo foi conduzido no Laboratório de Agricultura Digital e Energia (LADE) da FEAGRI, sob coordenação da Profª. Bárbara Teruel, utilizando um trator Mahindra 6060 (4x4, 57 HP) instrumentado com sensores para medir velocidade angular (encoder fotoelétrico), vazão de combustível, e posição/velocidade via GPS. O trator foi acoplado a um dinamômetro (AW NEB400) para testes operacionais conforme as normas da OECD e da ABNT (NBR ISO 8178-4), permitindo comparações padronizadas de desempenho.

Foram testadas três composições de combustível: 100% diesel, mistura 50/50 diesel e BeVant, e 100% BeVant. Durante os testes, os gases de escapamento foram analisados com o sistema portátil de medição de emissões (PEMS, Horiba OBS-ONE), capaz de medir CO, CO₂ e NO/NO_x. A coleta seguiu a norma ISO 8178-1 e foi conduzida por técnico credenciado, com os dados processados por softwares especializados conforme a legislação ambiental vigente.

Análise da emissão de gases de exaustão

Visando obter as imagens térmicas foi adquirida uma câmera analógica, infravermelha de onda longa e Lens, abrangendo uma faixa de temperatura de -20 a 300°C. A temperatura dos gases na saída do tubo de escapamento do trator foi medida instalando duas termoresistências. A câmera foi utilizada tanto para a tomada de imagens como para a gravação do fluxo de gases na saída do escapamento.

Para a análise das imagens foram empregadas técnicas utilizadas em estudos analisados na revisão de literatura visando obter uma imagem mais clara do fluxo de gases na saída do escapamento. Para isto, foi utilizada a ferramenta do Google Collab.

RESULTADOS E DISCUSSÃO:

A revisão bibliográfica realizada permitiu uma compreensão sobre o estado da arte acerca das técnicas experimentais, do processamento de imagens e da utilização de inteligência artificial para análise de termogramas, e a escrita de uma resenha sobre os principais artigos encontrados. Este estudo realizado demonstrou a falta de soluções de baixo custo e que possibilitem portabilidade para realização de medições em condições dinâmicas, como a proposta neste projeto.

Tabela 1 - Resultados da revisão de literatura - Estudos selecionados para escrita de resenha

Estudo	Ano	Gases	Instrumentação	Relação com a pesquisa
Jain <i>et. al.</i>	2018	CO, NO _x , HC	Sistema radiométrico de imageamento térmico - Cedip, câmera térmica de mão - Fluke, analisador de gás portátil - Sitron e termopar PT-100	Metodologia para aquisição de termogramas, correlação entre variação de temperatura e concentração de espécies gasosas e limitações das câmeras térmicas de mão
Tukadi <i>et. al.</i>	2024	Butano, Gasolina, Cigarro, Amônia, Álcool, Exaustão, Ar	Câmera térmica MLX9640, filtros ópticos, placa de desenvolvimento ESP32, algoritmo de rede neural convolucional	Metodologia para aquisição de termogramas e utilização de inteligência artificial
Olbrycht <i>et. al.</i>	2018	CO, CO ₂ , N ₂	Câmera térmica Cedip Titanium, grade de difração reflexiva, corpo negro Fluke 4181	Metodologia para aquisição de termogramas
Wu <i>et. al.</i>	2018	CO	Câmera térmica refrigerada, filtros ópticos, células preenchidas com gases	Metodologia para aquisição de termogramas
Jadin <i>et. al.</i>	2014	Não especificado	Câmera térmica A615 FLIR e arquivo AVI (Audio Video Interleaved)	Técnicas de processamento de imagens térmicas
Adefila <i>et. al.</i>	2015	CO ₂	Câmera térmica E30 FLIR, sensor de temperatura de resistência	Técnicas de processamento de imagens térmicas
Wiecek <i>et. al.</i>	2005	-	-	Técnicas de processamento de imagens térmicas

Em junho de 2024, durante os testes de desempenho mecânico do trator (objeto de uma pesquisa de doutorado em andamento), foram coletados dados de emissões de gases CO, CO₂, CH₄ e NO_x com um equipamento PEMS (*Portable Emissions Measurement System*, marca Horiba, modelo OBS-ONE), que possui capacidade para a medição de CO e CO₂ (por *Heated Non-Dispersive Infra-Red-H. NDIR*), e NO/NO_x (*Heated Vacuum Chemiluminescence Detector- H.CLD*), além de medir a temperatura de saída dos gases, com termoresistências.

Em paralelo, foram tomadas imagens com a câmera térmica (Modelo Hti HT-04D) durante estes experimentos, realizados no Laboratório de Protótipos e de Instrumentação e Controle na Faculdade de Engenharia Agrícola em conjunto com o Laboratório de Agricultura Digital e Energia na FEAGRI. A figura 2 mostra o perfil de temperatura atingida no fluxo de gases de exaustão, quando o trator estava abastecido com diesel comercial B12 (88% diesel fóssil e 12% de bicomcombustível).

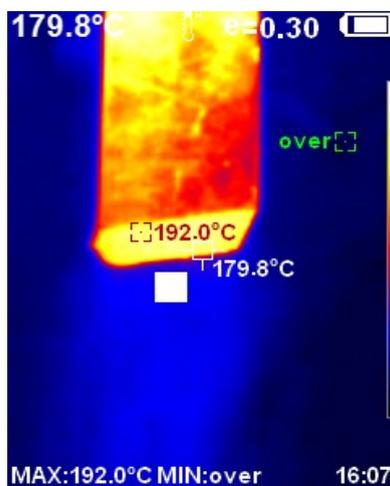


Figura 2- Imagem térmica captada no escapamento do trator Mahindra, abastecido com diesel comercial B12

Para verificar a correlação entre a quantidade de gases emitidos e a relação com a temperatura, os dados para intervalos de tempo definidos foram processados, obtendo correlações superiores a 90%, para os gases CO e NOx (Figura 3a e b).

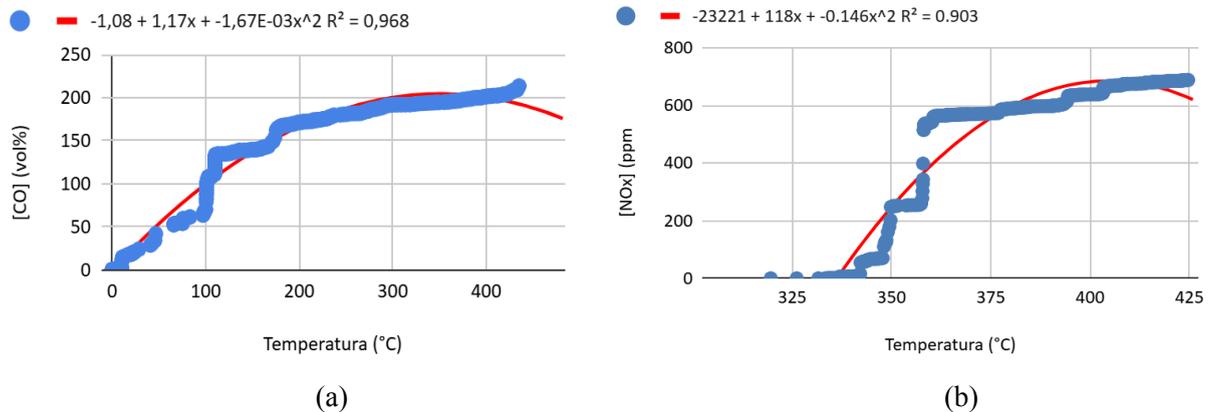


Figura 3 - Relação entre a concentração dos gases e temperatura (°C) na saída do escapamento do trator. Medições realizadas pelo PEMS da Horiba. a) - CO (vol. % - volume que a espécie ocupa em relação ao volume total da mistura gasosa), b) - NOx (ppm). Ambos para intervalo de 10 minutos de coleta de dados.

Os resultados obtidos até o momento indicam que há viabilidade para a quantificação e identificação dos gases CO e NOx através da análise do perfil de temperatura e posterior processamento de imagens térmicas.

Para os gases CO₂, e HC, os valores de correlação com a temperatura foram inferiores a 60%. Portanto, uma possibilidade é adquirir uma câmera térmica que consiga interagir com estas moléculas na região do infravermelho de onda média, uma vez que as moléculas absorvem radiação em frequências e taxas diferentes. No caso das moléculas em estudo neste trabalho (CO, CO₂, HC e NOx), esta absorção ocorre na região do MWIR (*Mid-Wave Infrared*), que é uma faixa específica do espectro infravermelho que abrange comprimentos de onda de 3 a 12 (OLBRYCHT *et al.*, 2018). Assim, espera-se ser possível obter uma correlação entre imagens e temperatura capturadas pela câmera MWIR e a concentração desses gases através do processamento das imagens termográficas, sem a necessidade de outro equipamento.

Tratando-se do posicionamento da câmera, foram avaliadas as possibilidades utilizadas em estudos analisados na revisão bibliográfica (JAIN *et al.*, 2018; WU *et al.*, 2018), e estas foram comparadas com o posicionamento utilizado na primeira realização do experimento (figura 2). A figura 4a representa um posicionamento da câmera em ângulo em relação à saída do escapamento, estando a cerca de 3 metros de distância do mesmo; a figura 4b representa um posicionamento onde a câmera está em frente à saída do escapamento, a cerca de 3 metros de distância.

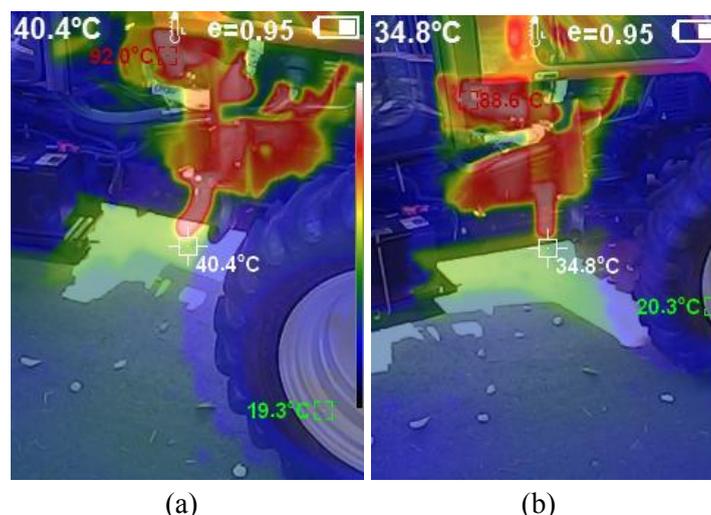


Figura 4- Imagens térmicas captadas no escapamento do trator Mahindra. a) posicionamento da câmera em ângulo em relação à saída do escapamento. b) posicionamento da câmera de frente à saída do escapamento

Estes diferentes posicionamentos utilizados permitiram definir o posicionamento da figura 2 como ideal para os objetivos desejados. Isto pois, nenhuma das imagens captadas permitiram uma visão clara do fluxo de gases na saída do escapamento e o posicionamento originalmente utilizado permitiu uma leitura de temperatura mais compatível com as leituras realizadas pelas termoresistências. Isto permite que a identificação dos gases através da determinação de um perfil de temperatura seja mais condizente com a concentração real dos gases.

As análises realizadas no Google Collab tinham o intuito de tornar o fluxo de gases mais visível através da aplicação de técnicas de redução de ruído da imagem, aprimoramento da imagem, limiarização de imagem e realce de cada um dos canais RGB. Contudo, não foram obtidos resultados satisfatórios.

CONCLUSÕES:

Constatou-se, através da revisão bibliográfica, a ausência de soluções tecnológicas portáteis e de baixo custo para medições em tempo real, da composição dos gases de exaustão que resultam do processo de combustão de motores. Também foram identificadas possíveis técnicas e características que devem conter um sistema de quantificação e identificação de gases poluentes e de efeito estufa. Os experimentos realizados indicam que há viabilidade de detectar e quantificar a presença dos gases de interesse, a partir do processamento de imagens térmicas. Assim sendo, os resultados do projeto podem contribuir para o desenvolvimento de práticas agrícolas mais sustentáveis que se encontrem em alinhamento com as legislações ambientais vigentes.

BIBLIOGRAFIA

ADEFILA, Kehinde; YAN, Yong; WANG, Tao. Leakage detection of gaseous CO₂ through thermal imaging. 2015 Ieee International Instrumentation And Measurement Technology Conference (I2Mtc) Proceedings, [S.L.], p. 261- 265, maio 2015. IEEE. <http://dx.doi.org/10.1109/i2mtc.2015.7151276>.

CERVI, F., CHRISTOPOULOS, T.P. Proposta Metodológica de Revisão Sistemática de Literatura Associada à Análise Temática em Pesquisa de Sustentabilidade", p. 299 -316. **Agendas Locais e Globais da Sustentabilidade: Ciência, Tecnologia, Gestão e Sociedade**. São Paulo: Blucher, 2022. ISBN: 9786555501551, DOI [10.5151/9786555501551-16](https://doi.org/10.5151/9786555501551-16)

JAIN, Ajay; SHARMA, Amit; BORANA, Si; RAVINDRA, Brahmajyosula; MANGALHARA, Jp. Study and Analysis of Exhaust Emission of Diesel Vehicles using Thermal IR Imagers. Defence Science Journal, [S.L.], v. 68, n. 6, p. 533, 31 out. 2018. Defence Scientific Information and Documentation Centre. <http://dx.doi.org/10.14429/dsj.68.12701>.

JADIN, Mohd Shawal; GHAZALI, Kamarul Hawari. Gas Leakage Detection Using Thermal Imaging Technique. 2014 Uksim-Amss 16Th International Conference On Computer Modelling And Simulation, [S.L.], p. 302-306, mar. 2014. IEEE. <http://dx.doi.org/10.1109/uksim.2014.95>.

OLBRYCHT, M. KAŁUŻA, W. WITTCHEN, M. BORECKI, B. WIĘCEK, G. DE MEY & AMP; M. KOPEĆ (2018) Gas identification and estimation of its concentration in a tube using thermographic camera with diffraction grating, Quantitative InfraRed Thermography Journal, 15:1, 106-120, DOI: 10.1080/17686733.2017.1385179

TUKADI; RIVAI, Muhammad; MUJIONO, Totok; AULIA, Dava; AULIA, Sheva. Identification of Gas Type Using Thermal Camera and Convolutional Neural Network. 2024 Ieee International Conference On Artificial Intelligence And Mechatronics Systems (Aims), [S.L.], p. 1-5, 21 fev. 2024. IEEE. <http://dx.doi.org/10.1109/aims61812.2024.10512488>.

WIECEK, B. Review on thermal image processing for passive and active thermography. 2005 Ieee Engineering In Medicine And Biology 27Th Annual Conference, [S.L.], p. 686-689, 2005. IEEE. <http://dx.doi.org/10.1109/iembs.2005.1616506>.

WU, Kuijun; FENG, Yutao; YU, Guangbao; LIU, Linmei; LI, Juan; XIONG, Yuanhui; LI, Faquan. Development of an imaging gas correlation spectrometry based mid-infrared camera for two-dimensional mapping of CO in vehicle exhausts. Optics Express, [S.L.], v. 26, n. 7, p. 8239, 22 mar. 2018. Optica Publishing Group. <http://dx.doi.org/10.1364/oe.26.008239>.

ZHANG, Yuzhen; LIU, Jingjing; SHEN, Wenjuan. A review of ensemble learning algorithms used in remote sensing applications. Applied Sciences, v. 12, n. 17, p. 8654, 2022.