

# METAMODELAGEM DO PROCESSO DE DEPOSIÇÃO NO PRÉ-PROCESSAMENTO DE PETRÓLEO PARA OTIMIZAR A LIMPEZA DA REDE DE TROCADORES DE CALOR: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA.

**Soares, A.S.<sup>1</sup>, Moret, M.A.<sup>2</sup>, Pinheiro, O.R.<sup>3</sup>, Pessoa, F.L.P.<sup>4</sup>**

<sup>1</sup> Doutorando em Modelagem Computacional e Tecnologia Industrial; Doutorado MCTI; [adroaldo.soares@ba.estudante.senai.br](mailto:adroaldo.soares@ba.estudante.senai.br)

<sup>2</sup> Centro Universitário SENAI CIMATEC; Salvador - BA; [mamoret@gmail.com](mailto:mamoret@gmail.com)

<sup>3</sup> Centro Universitário SENAI CIMATEC; Salvador - BA; [oberdan.pinheiro@fieb.org.br](mailto:oberdan.pinheiro@fieb.org.br)

<sup>4</sup> Centro Universitário SENAI CIMATEC; Salvador - BA; [fernando.pessoa@fieb.org.br](mailto:fernando.pessoa@fieb.org.br)

## RESUMO

Identificar técnicas de metamodelagem para otimizar o desempenho dos trocadores de calor, no pré-processamento de petróleo, do ponto de vista do processo de deposição para a avaliação do desempenho em diferentes configurações de operação e manutenção para o aumento da eficiência energética destes, é de grande importância, pois na operação, é usual ocorrer a deposição sobre as superfícies de troca térmica, reduzindo a sua efetividade. Neste artigo, foi desenvolvida uma revisão sistemática das técnicas utilizadas de metamodelagem e ferramentas para otimização. Os resultados do estudo mostraram que existe uma lacuna quanto às técnicas utilizadas dando oportunidade para uma proposta inédita, desenvolvida com um maior número de ramais da rede de trocadores de calor, usando metamodelagem e visando a predição da deposição, com o uso da Inteligência artificial, em um modelo híbrido de redes neurais.

**PALAVRAS-CHAVE** Metamodelagem, Inteligência artificial, Trocador de calor, Processo de deposição

## 1. INTRODUÇÃO

O pré-processamento de petróleo é uma fase essencial na produção de óleo e gás. No entanto, durante este processo, pode ocorrer a deposição de sólidos em trocadores de calor, e a obstrução de tubulações e equipamentos, além de reduzir a eficiência do processo, representa um significativo problema. O estudo da previsão e minimização da deposição é, portanto, de grande importância para garantir a segurança e a eficiência da produção (Lira et al, 2022). A metamodelagem é uma técnica amplamente utilizada na engenharia de processos, permitindo uma análise mais eficiente e uma otimização do processo. A utilização de redes neurais recorrentes (RNNs), como MPL (Multi-Layer Perceptron) ou LSTM (Long Short-Term Memory), pode ser uma abordagem promissora para a metamodelagem no processo de deposição no pré-processamento pois são capazes de processar dados sequenciais, o que é particularmente útil no caso de processos de deposição que evoluem ao longo do tempo. É importante avaliar o desempenho de diferentes modelos em relação aos dados disponíveis antes de escolher o modelo final para a metamodelagem. Além disso, é importante ter em mente que a escolha do design da rede neural é apenas uma parte do processo de metamodelagem, sendo necessário também definir a arquitetura da rede, a função de ativação a ser utilizada em cada camada, o método de treinamento e otimização dos parâmetros, entre outros aspectos. A rede neural pode ser treinada com dados históricos ou simulados do processo de deposição e dos parâmetros do sistema de troca de calor, e pode ser usada para fazer previsões sobre o desempenho do sistema em diferentes condições de operação. O objetivo desse artigo, foi apresentar uma revisão sistemática das técnicas utilizadas de metamodelagem e ferramentas para otimização nos trocadores de calor no pré-processamento de petróleo, para prever a deposição.

## 2. METODOLOGIA

A pesquisa foi realizada no período de 2017 a 2023 de publicações nacionais e internacionais que estudam as técnicas utilizadas de metamodelagem para otimizar o desempenho dos trocadores de calor no pré-processamento de petróleo, do ponto de vista do processo de deposição visando o aumento da eficiência energética. Para atender a esse objetivo, foi necessário utilizar uma metodologia de investigação para obter acesso aos estudos realizados na atualidade. Todas as pesquisas foram realizadas em sites de referência, com reconhecimento acadêmico consolidado e periódicos e repositórios internacionais e nacionais possibilitando observar os estudos sobre Redes Neurais Recorrentes (RNN); Multi-Layer Perceptron (MPL) e Long Short-Term Memory (LSTM), e ferramentas que serão abordadas neste estudo. Neste processo de revisão sistemática, foram utilizadas as bases de dados do Mendeley, Google Scholar e Dimensios, para o levantamento dos artigos, em seguida a seleção se deu através do fator de impacto do periódico, e foram organizados em grupos. Após a coleta de dados e seleção do material, foram encontrados noventa e dois artigos, todos pesquisados com os descritores “metamodelagem no processo de deposição”, “otimização de trocadores de calor”, “metamodelos e simulação na petroquímica”, “redes LSTM (long short-term memory) e petróleo” e “MPL (multilayer perceptron) e petróleo”. Na sequência da mineração da base de dados dos artigos a serem utilizados, esse número reduziu para sessenta e um artigos. Nesta pesquisa foram encontrados importantes técnicas de metamodelagem para otimizar o desempenho dos trocadores de calor, no pré-processamento de petróleo, do ponto de vista do processo de deposição.

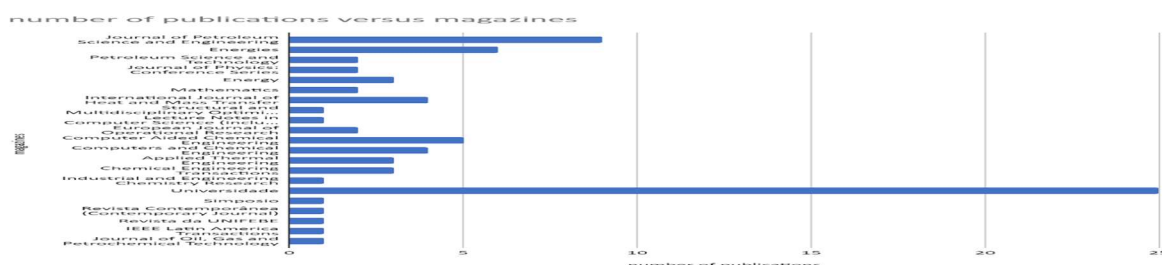
### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A revisão de técnicas baseadas em metamodelos de última geração, no suporte à otimização de design, incluindo aproximação de modelo, exploração de espaço de design, formulação de problemas e resolução de vários tipos de problemas de otimização visando galgar os desafios e o desenvolvimento futuro da metamodelagem em apoio ao projeto de engenharia, é necessária para ser analisada e discutida (Amaral et al, 2021). Diferentes plataformas de software de simulação, controle e supervisão de processos são utilizadas para se projetar e implementar os complexos processos da indústria petroquímica, sendo um erro comum cometido em cálculos de processo, tratar os problemas pontualmente e não como um intervalo, sem considerar as incertezas associadas aos parâmetros de medidas (Kalid et al, 2012). É necessário saber a importância da confiabilidade nos dados e entender como pequenas incertezas nesta informação pode afetar significativamente o desempenho técnico e econômico de uma planta industrial (Santana et al, 2021). Na indústria de refino, os trocadores são utilizados para resfriamento de gases, condensação, aquecimento ou em processos de tratamento como, por exemplo, para a quebra de emulsões (Abbasi et al, 2020) e a troca de calor entre fluidos de diferentes temperaturas é de suma importância para os processos industriais e possui diversas aplicações na engenharia e a manutenção preditiva utiliza diversos métodos para monitorar as condições de equipamentos aplicados em plantas industriais (Araújo et al, 2021). Um outro ponto a se levar em conta é a questão ambiental uma vez que a busca pelo ótimo global e por técnicas mais robustas e eficientes tem de certa forma desacelerado o desenvolvimento de aplicações de uso prático na indústria (Calixto et al, 2021). O problema relacionando incrustação em trocadores de calor e perda de eficiência no processo vem sendo motivo de vários estudos e não poderia ser diferente no refino de petróleo, principalmente no pré-aquecimento do petróleo (Júnior et al, 2020). Nesse sentido, levando em consideração às incertezas e pensando na deposição (Santana et al, 2021), o uso de aparatos experimentais de laboratório tem sido bastante comum para o desenvolvimento dos modelos, entretanto a aplicação desses modelos na avaliação e predição do fenômeno em plantas industriais encontra obstáculos (Santamaria et al 2018), uma vez que os modelos disponíveis na literatura não se aproximam da predição de forma satisfatória no comportamento da deposição em trocadores industriais. A presença de informações necessárias à aplicação dos modelos nos dados operacionais é necessária para gerar modelos precisos e rápidos para otimizar o projeto (Krzywanski et al 2019), o controle, e as operações de trocadores de calor casco e tubo (STHE) sujeitos a incrustações. Uma forma eficiente encontrada para determinar quando é preciso realizar paradas de limpeza é com o uso de Redes Neurais Artificiais (RNAs), que são técnicas computacionais de modelagem matemática que se baseiam no cérebro humano para a resolução dos problemas mais simples até os mais complexos. Para isso é preciso controlar a evolução da incrustação em um trocador de calor por meio do treinamento de Redes Neurais Artificiais e testar os tipos de estratégias e estruturas que melhor desempenham a simulação para este sistema (Júnior et al, 2019).

A partir da análise do gráfico 1 da relação entre o número de **publicações X revistas**, nota-se, de modo geral, que as Universidades publicaram uma maior quantidade de artigos (25) sobre as temáticas propostas nos descritores. A revista Journal of Petroleum Science and Engineering (9), publicou também uma boa quantidade de artigos.

#### Magazines X Number of publications

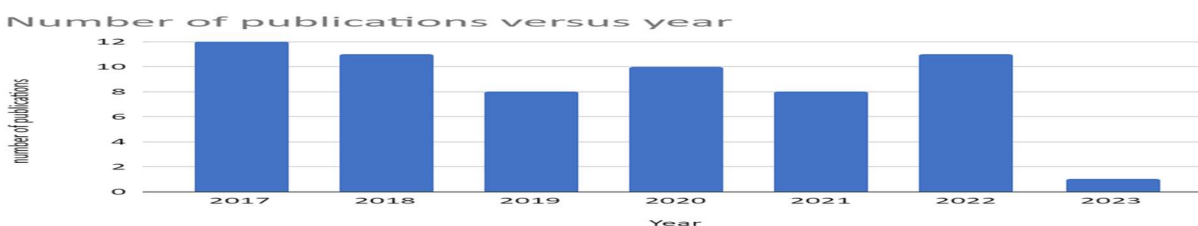
Gráfico 1:



Ao analisar o gráfico 2 da relação entre o número de **publicações X ano** de publicações, nota-se que o ano de 2017 teve uma expressiva quantidade de publicações, e os anos de 2019 e 2021 uma menor quantidade de publicações. Note-se também, dentro desse levantamento que em 2023 sobre a temática abordada houve apenas uma publicação

#### Number of publications X Year

Gráfico 2:



## 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Encontramos evidência robusta de que a literatura atual no período descrito de 2017 à 2023 possui uma qualidade expressiva de pesquisas utilizando as Redes Neurais Recorrentes, em especial a MLP e LSTM, e a utilização destas técnicas requer extensos testes com diferentes configurações para, experimentalmente, obter o modelo que melhor se adapta ao problema. Assim sendo, o objetivo de reunir e sintetizar os resultados de diversos estudos primários na temática proposta foi atingido. Uma lacuna se apresentou após este estudo, e uma proposta inédita, será desenvolvida com um maior número de ramais da rede de trocadores de calor, usando metamodelagem e visando a predição da deposição, com o uso da Inteligência artificial, em um modelo híbrido de MLP+LSTM+Transformer, pois dentre o que foi visto na literatura pesquisada, não existe um metamodelo para prever a deposição de forma precisa, que trabalhe com um grande número de dados reais, e um longo data set que sinalize características da diminuição da vazão e da redução da troca térmica a índices abaixo do especificado na planta operacional, levando em consideração o coeficiente de deposição, a resistência da deposição no casco do trocador e o coeficiente global de transferência de calor, para treinar a rede em boas condições de operação e em operação crítica, assim, teremos uma boa previsibilidade, com uma boa antecedência para as ações de operação e manutenção. A inovação deste estudo se fundamenta pelos desafios associados às características técnicas e especificidades para otimizar o desempenho dos trocadores de calor, no pré-processamento de petróleo. Com base na revisão realizada, o trabalho proposto fornecerá um passo a diante em relação ao estado da arte, pois a manutenção inteligente dos trocadores de calor, fundamentada em aprendizagem de máquina profunda, deverá preencher uma lacuna acadêmica nessa linha temática, indicando qual a forma mais eficaz na execução de uma determinada atividade e auxiliando em tomadas de decisão.

## Agradecimentos

Ao apoio financeiro da Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) e da Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP), por meio do Programa de Recursos Humanos da ANP para o setor de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis - PRH -ANP/FINEP , em particular , ao PRH 27.1, do Centro Universitário SENAI CIMATEC.

## 5. REFERÊNCIAS

- <sup>1</sup> Amaral, J. V. S. do. **Otimização Baseada em Metamodelos: Uma Abordagem para Metamodelagem em Simulação a Eventos Discretos**. 148 f. Universidade Federal de Itajubá, 2021.
- <sup>2</sup> Araújo, A. S. de; Rocha, O. P.; Santos, A. A. B.; **Modelo computacional para análise de condições e monitoramento de motores elétricos**, p. 303-310 .In: VII International Symposium on Innovation and Technology. São Paulo: Blucher, 2021.
- <sup>3</sup> Calixto, E.E. da S., Pessoa, F.L.P., Mirre, R.C., **Abordagem Híbrida em Redes de Água**. Brazilian Journal of Development , <https://doi.org/10.34117/bjdv7n8-228>, 2021.
- <sup>4</sup> Júnior, A. R. M.; **Análise comparativa de desempenho de modelos semi-empíricos na predição de deposição em baterias de trocadores de calor de refinarias de petróleo**; Programa de Pós Graduação, Centro Universitário SENAI CIMATEC , Salvador, 2020.
- <sup>5</sup> Júnior, L.; Euler, G.; **Desenvolvimento de um sensor virtual neural para predição de incrustação em trocadores de calor**; Federal de Campina Grande, 2019.
- <sup>6</sup> Kalid, R. A.; Martins. M. A. F.; **Métodos clássicos para a avaliação da incerteza de medição em sistemas multivariáveis**; Revista Controle & Automação/Vol.23 no.4/Julho e Agosto, 2012.
- <sup>7</sup> Krzywanski, J.; **A general approach in optimization of heat exchangers by bio-inspired artificial intelligence methods**; Energies, 2019.
- <sup>8</sup> Lira, D. A. de; Junior, A. R. M.; Mirre, R. C.; Souza, A. L. B. de; Pessoa, F. L. P.; **Analysis of a deposition model in heat exchangers applied to an oil preheating battery**; SPE Flow Assurance Technology Congress; Rio de Janeiro, Brazil, November, 2022.
- <sup>9</sup> Santamaria, F. L.; Macchietto, S.; **Integration of Optimal Cleaning Scheduling and Flow Split Control for Crude Oil Fouling Mitigation in the Operation of Refinery Heat Exchanger Networks**; Computer Aided Chemical Engineering, 2018.
- <sup>10</sup> Santana, L. O. S. de; Calixto, E. E. da S.; Pessoa, F. L. P.; **Análise de incertezas aplicada ao cálculo da temperatura de bolha de misturas**, p. 113-120 . In: VII International Symposium on Innovation and Technology. São Paulo: Blucher, 2021.
- <sup>11</sup> Zabihi, R.; Mowla, D.; Karami, H. R.; **Artificial intelligence approach to predict drag reduction in crude oil pipelines**; Journal of Petroleum Science and Engineering, 2019.