

OTIMIZAÇÃO ENERGÉTICA EM FORNOS SIDERÚRGICOS COM INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL

ENERGY OPTIMIZATION IN STEEL FURNACES USING ARTIFICIAL INTELLIGENCE

Caio Henrique Andrade Camposⁱ

Nikoly Moura Queirosⁱⁱ

Felipe da Silva de Britoⁱⁱⁱ

Fábio Lobue dos Santos^{iv}

Humberto de Sousa Megda^v

RESUMO

A indústria siderúrgica brasileira enfrenta desafios significativos relacionados ao alto consumo energético dos fornos de aquecimento, responsáveis por até 67% da energia total da planta. Este trabalho propõe o desenvolvimento de um Sistema de Gerenciamento de Energia (EMS) baseado em Inteligência Artificial (IA) e aprendizado de máquina, com o objetivo de otimizar o funcionamento desses fornos. A metodologia inclui coleta de dados operacionais, modelagem digital da planta, simulações, desenvolvimento de algoritmos e validação em ambiente real. Os resultados parciais indicam potencial de redução de até 20% no consumo específico de energia e 15% nas emissões de CO₂, além de ganhos em confiabilidade e reaproveitamento energético. A proposta contribui para a descarbonização do setor e está alinhada com metas globais de sustentabilidade industrial.

Palavras-chave: Eficiência energética; Siderurgia; Inteligência artificial; Sustentabilidade industrial.

ABSTRACT

The Brazilian steel industry faces major challenges due to the high energy consumption of reheating furnaces, which account for up to 67% of total plant energy use. This study proposes the development of an Energy Management System (EMS) based on Artificial Intelligence (AI) and machine learning to optimize furnace operations. The methodology involves operational data collection, digital plant modeling, simulations, algorithm development, and real-world validation. Preliminary results show potential reductions of up to 20% in specific energy consumption and 15% in CO₂ emissions, along with improvements in reliability and energy recovery. The proposed solution contributes to the sector's decarbonization and aligns with global industrial sustainability goals.

Keywords: Energy efficiency; Steel industry; Artificial intelligence; Industrial sustainability.

1 INTRODUÇÃO

1.1 Problema de pesquisa

A indústria siderúrgica é responsável por aproximadamente 4% das emissões de gases de efeito estufa (GEE) no Brasil (INSTITUTO AÇO BRASIL, 2023). Um dos principais desafios enfrentados é o elevado consumo energético dos fornos de reaquecimento, que pode representar até 67% da energia total da planta (COSTA et al., 2022). Este projeto propõe a otimização desse consumo por meio de um Sistema de Gerenciamento de Energia (EMS) baseado em Inteligência Artificial (IA), com capacidade de atuação em tempo real, visando à redução de custos, emissões e ao aumento da produtividade.

1.2 Objetivo(s)

Desenvolver um EMS com IA e técnicas de aprendizado de máquina para otimizar o funcionamento dos fornos siderúrgicos, promovendo eficiência energética e sustentabilidade.

1.3 Justificativa

A proposta contribui diretamente para a descarbonização e aumento da competitividade do setor siderúrgico. A abordagem multidisciplinar permite o monitoramento inteligente, manutenção preditiva e uso mais eficiente da energia, com potencial para reaproveitamento de gases residuais, alinhando-se às metas globais de sustentabilidade (BRASIL, 2009).

2 REVISÃO DE LITERATURA

Os fornos de reaquecimento representam uma das etapas mais intensivas em consumo energético dentro da cadeia produtiva da siderurgia. De acordo com Mariños Rosado (2020), esses equipamentos são os principais responsáveis pelas perdas térmicas no setor, devido à elevada temperatura de operação e à complexidade dos processos envolvidos. A eficiência energética desses fornos é, portanto, um dos principais focos de inovação tecnológica e sustentabilidade industrial.

Nesse contexto, o uso de carvão vegetal oriundo de florestas plantadas tem ganhado destaque como alternativa ao coque mineral, tradicionalmente utilizado. Estudos como o de Costa et al. (2022) apontam que essa substituição pode reduzir significativamente as emissões de gases de efeito estufa, contribuindo para uma siderurgia mais limpa e alinhada às metas climáticas globais. Além do menor impacto ambiental, o carvão vegetal de origem renovável pode ser integrado a políticas de reflorestamento e manejo sustentável, promovendo benefícios socioambientais em regiões produtoras. A adoção de Sistemas Inteligentes de Gerenciamento de Energia (SIGEs), especialmente aqueles baseados em inteligência artificial, tem se mostrado uma estratégia eficaz para otimizar o consumo energético em ambientes industriais. Segundo dados da Siemens (2023), a implementação de SIGEs com algoritmos avançados pode gerar melhorias de até 22% na eficiência energética, reduzindo custos operacionais e aumentando a competitividade das empresas. Técnicas como redes neurais recorrentes LSTM (Long Short-Term Memory) e modelos multivariáveis

são capazes de prever padrões de consumo com alta precisão, permitindo ajustes dinâmicos nos processos térmicos e evitando desperdícios.

Outro avanço importante é a modelagem digital da planta industrial, utilizando ferramentas como o Siemens PTI PSS®/SINCAL. Essa abordagem permite simulações detalhadas de diferentes cenários operacionais, fundamentais para o treinamento e validação de algoritmos de IA. Com isso, é possível antecipar falhas, testar estratégias de controle e planejar intervenções com maior assertividade.

A integração de sensores IoT (Internet das Coisas) aos sistemas de controle também tem revolucionado a gestão energética. Esses sensores coletam dados em tempo real sobre temperatura, pressão, fluxo e consumo, alimentando plataformas analíticas que suportam decisões automatizadas. Combinados a sistemas de controle avançado, esses dados viabilizam a manutenção preditiva, reduzindo paradas não planejadas e prolongando a vida útil dos equipamentos. Além disso, permitem uma gestão energética mais precisa e responsiva, adaptando-se às variações de demanda e às condições operacionais.

Em suma, a convergência entre fontes renováveis, inteligência artificial, modelagem digital e IoT está transformando a siderurgia em direção a um modelo mais sustentável, eficiente e tecnologicamente avançado. A adoção dessas soluções não apenas reduz o impacto ambiental, mas também posiciona as empresas como protagonistas na transição energética e na indústria 4.0.

3 METODOLOGIA

A metodologia está estruturada em cinco etapas:

- Levantamento de Dados: Coleta de variáveis operacionais como temperatura, vazão de gases e consumo energético.
- Mapeamento da Planta: Modelagem da planta siderúrgica utilizando a suíte Siemens PTI PSS®/SINCAL.
- Simulações Digitais: Análise de diferentes cenários operacionais para treinamento dos algoritmos de IA.
- Desenvolvimento da IA: Implementação de redes neurais e algoritmos multivariáveis integrados ao EMS.
- Testes e Validação: Aplicação do sistema em ambiente real e comparação com dados históricos para avaliação de desempenho.

4 RESULTADOS PARCIAIS

A implementação do EMS com IA tem potencial para reduzir em até 20% o consumo específico de energia e até 15% as emissões de CO₂. A manutenção preditiva proporcionada pelo sistema aumenta a confiabilidade dos fornos e reduz os custos operacionais. Além disso, o reaproveitamento energético pode gerar receita adicional, contribuindo para a sustentabilidade financeira da planta.

5 CONCLUSÃO PRELIMINARES

A integração entre IA, modelagem digital e sensores IoT proporciona uma gestão energética mais eficiente, sustentável e econômica na indústria siderúrgica. Os resultados esperados estão alinhados com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) e com as metas de competitividade industrial estabelecidas pelo setor.

REFERÊNCIAS

BRASIL. Empresa de Pesquisa Energética – EPE. Nota Técnica DEA 02/09. Rio de Janeiro: EPE, 2009.

COSTA, E.; SILVA, R.; MOURA, L. Eficiência energética na siderurgia brasileira. Revista Brasileira de Energia, v. 28, n. 2, p. 45–60, 2022.

INSTITUTO AÇO BRASIL. Relatório de Sustentabilidade 2023. Brasília: Instituto Aço Brasil, 2023.

MARIÑOS ROSADO, D. J. Modelagem e otimização energética em fornos industriais. 2020. 120 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2020.

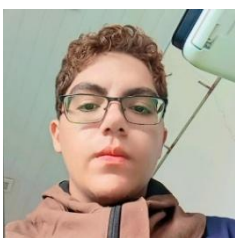
SIEMENS. EnergyIP®: Intelligent Energy Management Platform. Munique: Siemens AG, 2023.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao professor Tiago Araújo, por sua valiosa orientação e constante apoio, que foram fundamentais para a realização deste projeto. Estendemos nossos sinceros agradecimentos ao professor Humberto Megda, pelas contribuições e insights que enriqueceram nosso trabalho. Por fim, expressamos nossa gratidão à Escola SENAI de Santos, que nos proporcionou a infraestrutura e os conhecimentos necessários para o desenvolvimento desta pesquisa.

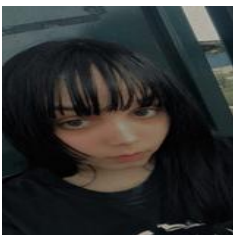
SOBRE OS AUTORES:

CAIO HENRIQUE ANDRADE CAMPOS



Possui o curso de Operador de Processos Químicos e atualmente está cursando Tecnólogo em Automação, Engenharia da Produção e Técnico em Eletrotécnica. Tem experiência na área de manutenção elétrica, com ênfase em áreas classificadas.

ii NIKOLY MOURA QUEIROS



Possui o curso Técnico em Automação e atualmente está cursando o Tecnólogo em Automação Industrial na instituição Senai de Santos.

iii FELIPE DA SILVA DE BRITO



Formado Técnico Eletrotécnico, Técnico em Automação Industrial e especialização em Gestão de Projetos. Experiência com hidroelétricas, subestações e plantas de fertilizantes. Atualmente cursando Tecnólogo em Automação Industrial pelo Senai de Santos.

iv FÁBIO LOBUE DOS SANTOS



Possui mestrado em tecnologia nuclear pelo IPEN - USP (2023), pós-graduação em Programa especial formação pedagógica pela Universidade do Sul de Santa Catarina (2007) e graduação em Engenharia eletrônica pela Universidade Santa Cecília (1999). Atualmente é especialista em tecnologia no núcleo de tecnologia Senai de Santos. Tem experiência na área de Instrumentação Industrial, atuando principalmente nos seguintes temas: automação industrial, controle automático de processos, sistemas digitais de controle, controlador lógico programável, tecnologias habilitadoras da indústria 4.0 e áreas classificadas. Além de experiência em Lean Manufacturing, Melhoria de layout produtivo, Desenvolvimento de Produtos e Planejamento e Controle de Produção. (Texto informado pelo autor)

v HUMBERTO DE SOUSA MEGDA



Formado Técnico Eletrotécnico, Técnico em Automação Industrial e especialização em Gestão de Projetos. Experiência com hidroelétricas, subestações e plantas de fertilizantes. Atualmente cursando Tecnólogo em Automação Industrial pelo Senai de Santos