



Modelagem do processo de produção de clínquer utilizando diferentes técnicas de machine learning.

Juan Douglas Nóbrega De Souza Segundo¹, Gladson Euler², Karoline Dantas Brito³

RESUMO:

A busca atual pela redução do consumo de combustíveis na indústria tem se tornado uma prioridade crescente para seus líderes. A indústria de cimento Portland não está isenta do impacto ambiental de seu processo e da necessidade de melhorias operacionais. Neste contexto, este trabalho concentra-se na análise de dados de produção de clínquer de uma das principais produtoras de cimento Portland do Brasil. O objetivo é modelar o processo, identificando cenários que permitam reduções no consumo de combustíveis. Para alcançar esse fim, foram exploradas várias técnicas de Machine Learning, métodos de tratamento de dados.

PALAVRAS-CHAVE: Clínquer; *Machine Learning*; Otimização;

¹ Graduando em Engenharia Química, UAEG - Unidade Acadêmica de Engenharia Química, UFCG, Campina Grande, PB, E-mail: juan.douglas@eq.ufcg.edu.br

² Doutor, UAEG - Unidade Acadêmica de Engenharia Química, UFCG, Campina Grande, PB, E-mail: gladson.euler@eq.ufcg.edu.br

³ Doutora, Professora Orientadora, UAEG - Unidade Acadêmica de Engenharia Química, UFCG, Campina Grande, PB, E-mail: karolineufcg@gmail.com



Modeling the clinker production process using various machine learning techniques.

Juan Douglas Nóbrega De Souza Segundo⁴, Gladson Euler⁵, Karoline Dantas Brito⁶

ABSTRACT:

The current pursuit of reducing fuel consumption in the industry has become an increasingly prominent priority for its leaders. The Portland cement industry is not exempt from the environmental impact of its process and the need for operational improvements. In this context, this work focuses on the analysis of clinker production data from one of Brazil's leading Portland cement producers. The goal is to model the process, identifying scenarios that allow for reductions in fuel consumption. To achieve this objective, various machine learning techniques and data treatment methods have been explored.

KEYWORDS: Clinker; Machine Learning; Optimization

⁴ Graduando em Engenharia Química, UAEG - Unidade Acadêmica de Engenharia Química, UFPG, Campina Grande, PB, E-mail: juan.douglas@eq.ufcg.edu.br

⁵ Doutor, UAEG - Unidade Acadêmica de Engenharia Química, UFPG, Campina Grande, PB, E-mail: gladson.euler@eq.ufcg.edu.br

⁶ Doutora, Professora Orientadora, UAEG - Unidade Acadêmica de Engenharia Química, UFPG, Campina Grande, PB, E-mail: karolineufcg@gmail.com

1 INTRODUÇÃO

PROCESSO DE CLINQUERIZAÇÃO

O cimento é um material inorgânico de textura fina que, quando combinado com água, forma uma pasta que endurece devido a reações de hidratação, mantendo sua força e estabilidade formando um material sólido e durável que é essencial para a construção de estruturas como edifícios, estradas, pontes e muito mais. A origem do cimento remonta ao Antigo Egito, mas sua forma moderna, conhecida como cimento Portland, foi patenteada em 1824 pelo britânico Joseph Aspdin. Ele escolheu esse nome devido à semelhança da cor e da consistência do material com as rochas encontradas na ilha britânica de Portland. Sua produção no Brasil começou no século XIX em Sorocaba. (CASTRO 2021, HAO et. al, 2022)

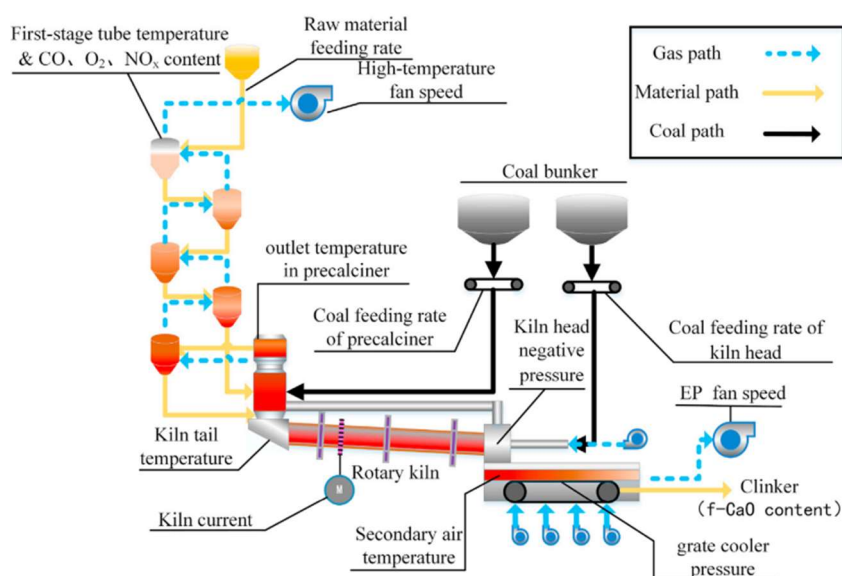
Em 2022, a China reafirmou seu posto como o principal produtor e consumidor de cimento no mundo, alcançando uma produção extraordinária de mais de 2 bilhões de toneladas, o que corresponde a mais de 50% da produção global de cimento (CBMF, 2022). É importante ressaltar que cerca de 7% das emissões globais de CO₂ equivalentes são originárias da indústria de fabricação de cimento (IEA, 2018). Nos últimos anos, a questão das mudanças climáticas emergiu como um tópico de grande relevância tanto para a comunidade científica quanto para os governos. (LIU et. al, 2023).

Por isso, existe um consenso que os métodos de produção mais limpos na indústria de cimento e o desenvolvimento de cimento ecológico são áreas que urgem de serem pesquisadas (Halada e Yamamoto, 2001).

O processo de produção de cimento Portland envolve a combinação e moagem de matérias-primas como calcário, argila e outros minerais. Esses materiais são submetidos a um processo de aquecimento intenso em um forno especial, denominado Forno Rotativo ou "*Rotary Kiln*", onde ocorrem reações químicas que levam à formação do chamado clínquer, que é um material granulado de aspecto rochoso. O clínquer é então moído até se transformar em um pó fino, que é o cimento Portland propriamente dito. Esse cimento em pó é misturado com água para formar

uma pasta, que endurece ao longo do tempo devido a reações químicas exotérmicas, formando uma matriz sólida que une os materiais agregados (como areia e pedra) e resulta no concreto ou argamassa. Esse processo está exemplificado na Figura 1 abaixo, demonstrando os processos agregados da produção do clínquer. (LIU; JIN; WU; HERZ, 2020)

Figura 1: Exemplificação da Produção de Clínquer



Fonte: HAO et. al, 2022.

O processo de produção descrito na Figura 1 começa quando os ingredientes são misturados na proporção adequada, formando o que é conhecido como "farinha crua". Essa matéria-prima é posteriormente triturada até atingir o tamanho desejado em um moinho de rolos vertical. A farinha com o tamanho correto é introduzida em um pré-aquecedor de ciclones de múltiplos estágios, onde é aquecida previamente pelos gases quentes provenientes do forno rotativo de cimento e é nesse momento que ocorre a maior parte da calcinação dela.

A matéria-prima pré-aquecida então é encaminhada para o forno rotativo, o núcleo da fábrica de cimento, onde, em temperaturas elevadas, os diversos componentes presentes na matéria-prima reagem entre si. O óxido de cálcio (CaO) reage com outros componentes, como sílica, alumina e óxido de ferro presentes na