

Estudo do uso de carvão vegetal de resíduos de biomassa no sistema de aquecimento dos fornos de produção do clínquer de cimento portland.

Aluno: Bruno Damacena de Souza
Orientador: Francisco José Moura

Introdução

O cimento Portland é atualmente o principal tipo de cimento utilizado na construção civil em todo o mundo. No Brasil, segundo dados da SNIC, em 2009 a produção de cimento Portland atingiu a marca de 51,9 milhões de toneladas, recorde histórico desde 1970.

O cimento Portland é uma mista de clínquer e aditivos (como gesso, materiais pozolônicos e materiais carbonáticos). O clínquer é o principal componente do cimento, e sua produção consiste na transformação térmica de uma mistura de calcário e argila, dando origem a uma mistura de óxidos meta-estáveis, que formam a base dos mais variados tipos de cimento. A produção do clínquer ocorre a temperaturas elevadas, em fornos que alcançam até 1500°C.

Estima-se que 80% da energia consumida em uma fábrica de cimento é empregada na produção do clínquer. Na maior parte das fábricas, a energia para a produção de clínquer vem da queima de combustíveis fósseis, principalmente o coque de petróleo e o carvão mineral.

A indústria do cimento é uma das maiores emissoras de gases do efeito estufa (GEE) na atualidade. Somente no processo de calcinação, a produção de 1 tonelada de clínquer emite 371kg de CO₂ para a atmosfera, segundo dados da SNIC. Somando a essas emissões, as emissões oriundas da queima de combustível fóssil, estimasse que a produção de 1 tonelada de cimento emite em torno de 1,043 toneladas de CO₂.

Portanto, são grandes os esforços atuais na tentativa de reduzir as emissões de GEE associadas à produção de cimento. Como exemplo, temos o *World Business Council for Sustainable Development (WBCSD)* que lançou a *Cement Sustainability Initiative (CSI)*, uma iniciativa que reúne as 23 maiores empresas de cimento do mundo, todas concentradas no objetivo de reduzir a emissão de CO₂ na produção de cimento.

Uma das alternativas mais atraentes para a redução das emissões de GEE na produção de cimento é a substituição dos combustíveis fósseis empregados no processo de calcinação, por combustíveis renováveis. Neste cenário, o carvão vegetal surge como uma alternativa ao coque de petróleo e ao carvão mineral.

O carvão vegetal se mostra como alternativa de combustível para a produção de cimento, não somente por suas características energéticas e físico-químicas serem semelhantes ao coque e ao carvão mineral, mas principalmente pela potencial redução de emissões de CO₂.

Objetivos

O objetivo do presente projeto é um estudo da viabilidade energética e do potencial de redução de emissões de GEE no uso de carvão vegetal, em substituição aos combustíveis fósseis usados em fornos de produção de clínquer do cimento Portland.

Metodologia

A primeira parte da pesquisa consistiu no levantamento das características do Carvão Mineral e Coque de Petróleo - os principais combustíveis atualmente empregados na produção do cimento Portland – assim como o levantamento de dados sobre o Carvão Vegetal. Os dados bibliográficos sobre os combustíveis foram compilados a partir de diferentes fontes e os parâmetros mais importantes de cada combustível - como Poder Calorífico Inferior, Carbono Fixo, Teor de Cinzas, Enxofre e Teor de Voláteis - são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 - Características dos combustíveis

Parâmetro	Carvão Mineral	Coque de Petróleo	Carvão Vegetal
PCI (kcal/kg)	3.500	8.390	6.400
Densidade (kg/m ³)	1810	1041	250
Cinzas (%)	5,8	0,5	1
S (%)	1,5	0,7	N.D
Voláteis (%)	22	10	22
C _{fixo} (%)	30	89	76

A seguir, iniciamos contato com uma fábrica de cimento, a fim de verificar dados reais sobre a produção de cimento Portland. A fábrica em questão é a fábrica da Cimento Supremo, localizada na cidade de Pomerode, Santa Catarina. A Cimento Supremo forneceu os dados da sua produção e do consumo de combustíveis fósseis para o ano de 2009. Os dados são apresentados na **Erro! Fonte de referência não encontrada.** seguir:

Tabela 2 - Dados da fábrica 'Cimento Supremo'

Consumo de Coque de Petróleo	ton	8.475,6
Consumo de Carvão Mineral	ton	4.443,5
Produção de Clinquer	ton	70.092,9

Uma análise inicial dos dados da fábrica indica que a composição do combustível usado é de 34% de carvão e 66% de coque. A partir dessa relação, realizamos um estudo da demanda energética da fábrica, a fim de determinar o poder calorífico da mistura que é empregada na produção de clínquer. Os cálculos são apresentados a seguir:

$$0,34 \cdot 3.500 \frac{\text{kcal}}{\text{kg}} + 0,66 \cdot 8.390 \frac{\text{kcal}}{\text{kg}} = 6.727 \frac{\text{kcal}}{\text{kg}}$$

Verificamos, portanto, que a mistura de combustíveis para a produção clínquer deve ter um valor igual ou superior de **6.727 kcal/kg**. A partir desta informação, foi possível avaliar se a substituição parcial destes combustíveis por Carvão Vegetal seria viável do ponto de vista energético.

Na sequência do estudo de viabilidade energética, também verificamos as possíveis alterações nos outros parâmetros da mistura de combustíveis - como, por exemplo, o teor de cinzas, o teor de voláteis e o carbono fixo – que a adição de carvão vegetal poderia causar.

Ao fim do estudo, verificamos as reduções de emissões de GEE que a substituição parcial dos combustíveis fósseis por Carvão Vegetal poderia promover. Para tanto, usamos como base os fatores de emissão de GEE para os combustíveis estudados. Estes fatores de emissão foram desenvolvidos pelo IPCC (Painel Internacional de Mudanças do Clima) e estão apresentados na tabela a seguir.

Tabela 3 - Fator de Emissão dos Combustíveis

Fator de Emissão do Coque de Petróleo	<i>tonCO₂e/ton</i>	<i>3,4</i>
Fator de Emissão do Carvão Mineral	<i>tonCO₂e/ton</i>	<i>1,4</i>
Fator de Emissão do Carvão Vegetal	<i>tonCO₂e/ton</i>	<i>0,1</i>

Os fatores de emissão são reportados em **tCO₂e** (toneladas métricas de CO₂ equivalente), o que representa um somatório das emissões de CO₂, CH₄ e N₂O – os três principais Gases do Efeito Estufa emitidos na queima estacionária de combustíveis – ponderado pelos valores de GWP (Poder de Aquecimento Global) dos respectivos gases estufa. Portanto, estes fatores de emissão são diferentes do fatores que poderiam ser calculados a partir de um balanço de massa da queima destes combustíveis.

Além disso, vale esclarecer que o fator de emissão de GEE do Carvão Vegetal é muito menor, pois dele são descontadas as emissões de CO₂, pois o CO₂ produzido na queima do Carvão Vegetal é de origem biogênica (biomassa).

Resultados

O parâmetro mais importante na mistura de combustíveis para alimentar um forno de produção de clínquer é a quantidade de calor que a mistura liberará durante a queima. Com base na proporção de combustíveis verificada na fábrica de cimento, e propondo a substituição parcial do Carvão Mineral por Carvão Vegetal, traçamos um gráfico da variação do PCI da mistura em função da porção de Carvão Vegetal introduzida.

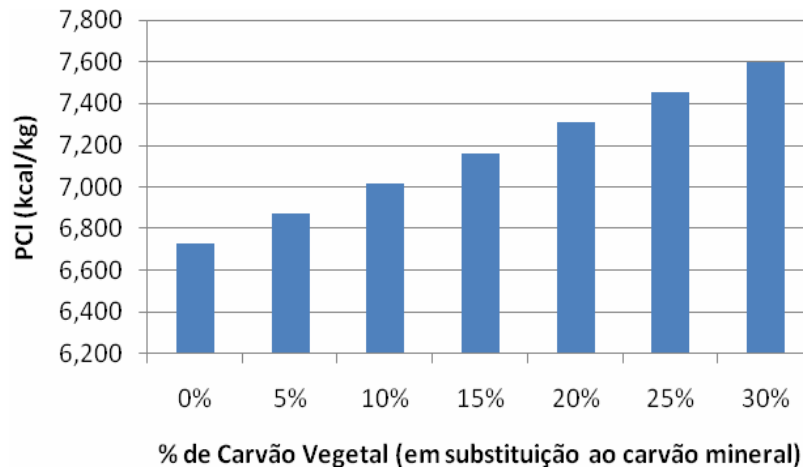


Gráfico 1 - Variação do PCI com a adição de Carvão Vegetal em substituição ao Carvão Mineral

A partir do Gráfico 1 verificamos que a substituição do Carvão Mineral por Carvão Vegetal resulta em um aumento do poder calorífico da mistura de combustíveis. O mesmo comportamento não é verificado quando se propõe a substituição do Coque de Petróleo por Carvão Mineral, como mostra o Gráfico 2 abaixo.

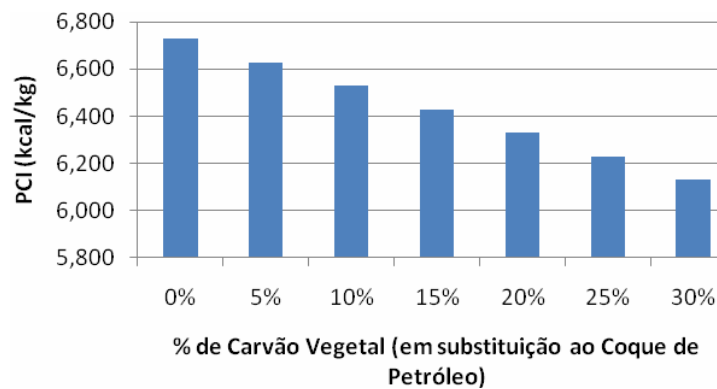


Gráfico 2 - Variação do PCI com a adição de Carvão Vegetal em substituição ao Coque de Petróleo

A partir da avaliação dos gráficos, verificamos que a substituição parcial do Coque de Petróleo não seria viável em termos energéticos, uma vez que o poder calorífico da mistura seria menor do que o PCI requerido por um forno real. Em contrapartida, a substituição do Carvão Mineral por Carvão Vegetal se mostra interessante do ponto de vista energético, pois a mistura de combustíveis apresentaria um poder calorífico maior.

Fazendo uma avaliação do Carbono Fixo que a mistura de combustíveis teria, verificamos também um aumento expressivo, importante para uma melhoria da eficiência do forno de produção do clínquer.

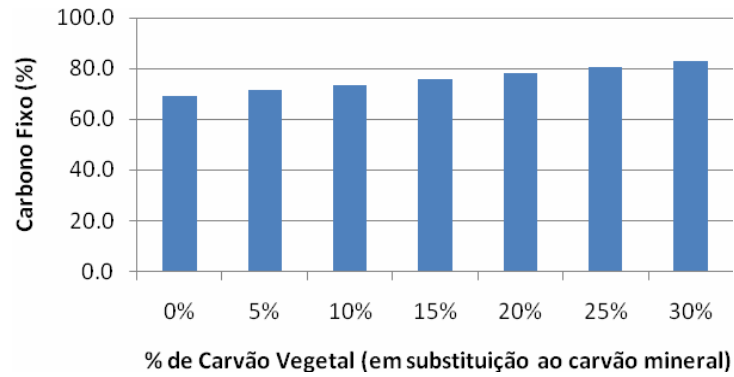


Gráfico 3 - Variação do Carbono Fixo da mistura em função da adição de Carvão Vegetal

Na avaliação do Teor de Cinzas e do Teor de Enxofre que a mistura resultante apresentaria, verificamos uma redução nos dois parâmetros. Essa redução é importante principalmente para o Teor de Enxofre, uma vez que a quantidade de SO₂ produzido no forno de cimento é um parâmetro controlado por leis ambientais.

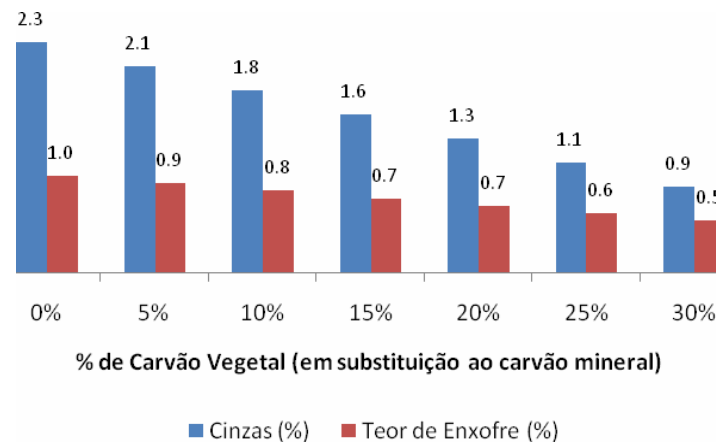


Gráfico 4 - Variação do Teor de Cinzas e do Teor de Enxofre na mistura de combustíveis

Uma última análise sobre as vantagens da substituição do Carvão Mineral por Carvão Vegetal seria a redução de emissões de Gases do Efeito Estufa. Partindo das quantidades de Clínquer produzido, de Coque e Carvão Mineral consumidos, verificamos o seguinte balanço das emissões de GEE:

$$8.475,6 \text{ tCoque} * 3,4 \frac{\text{tCO}_2\text{e}}{\text{tCoque}} + 4.443,5 \text{ tCarvãoMineral} * 1,4 \frac{\text{tCO}_2\text{e}}{\text{tCarvãoMineral}} = 35.037,8 \text{ tCO}_2\text{e}$$

$$\frac{35.037,8 \text{ tCO}_2\text{e}}{70.092,9 \text{ tClinker}} = 0,50 \frac{\text{tCO}_2\text{e}}{\text{tClinker}}$$

Portanto, a produção de 1 tonelada de clínquer resultou na emissão de **0,50 toneladas de CO₂e**, no cenário de uso exclusivo da mistura Coque de Petróleo + Carvão Mineral. Refazendo o balanço de emissões, para um cenário de substituição parcial do Carvão Mineral por Carvão Vegetal, teríamos a redução das emissões como mostrada no gráfico a seguir:

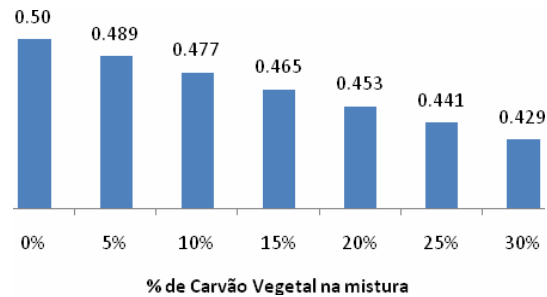


Gráfico 5 - Redução da emissão de CO₂e por tonelada de Clínquer

Conclusões

A partir dos números observados, concluímos que a proposta de substituição parcial do Carvão Mineral por Carvão Vegetal é vantajosa tanto do ponto de vista energético quanto em termos de redução de emissões de poluentes e gases do efeito estufa.

É importante dizer que um plano de testes de uso de Carvão Vegetal no forno de cimento seria primordial para validar a tese apresentada neste trabalho. Outros aspectos além do ganho energético e da redução de emissões são importantes e devem ser avaliados, a fim de permitir a substituição dos combustíveis atualmente empregados na produção.

Também é importante ressaltar que este estudo não contemplou a demanda financeira que a substituição dos combustíveis na fábrica de cimento poderia causar. Variações nos preços dos combustíveis podem afetar a preferência por uso do Coque de Petróleo ou Carvão Mineral e até mesmo impedir o uso do Carvão Vegetal.

Entretanto, para a realidade da fábrica de cimento pesquisada, a inserção de 30% de Carvão Vegetal na mistura de combustíveis resultaria numa redução de 5.038 toneladas de GEE no ano de 2009. A redução dessas emissões de GEE poderia resultar em um ganho financeiro razoável para a empresa, caso ela promovesse um projeto de Mecanismo de Desenvolvimento Limpo para gerar Créditos de Carbono.

Bibliografia

1. **Relatório Anual 2010** - Sindicato Nacional das Indústrias de Cimento – Disponível em: <http://www.snic.org.br/>

2. **MOURA. F.J et al** - STUDY OF THE EFFECTS OF RESIDUES CO-PROCESSING ON THE CEMENT PROPERTIES, 2004.
3. **Cement Sustainability Initiative (CSI)** – *Disponível em: <http://www.wbcscement.org/>*
4. **Balanco Energético Nacional** – Empresa de Pesquisas Energéticas - Ministério de Minas e Energia – *Disponível em: <https://ben.epe.gov.br/>*
5. **Coque Verde de Petróleo** – Portal BR Distribuidora - Petrobras – *Disponível em: <http://www.br.com.br>*
6. **Companhia Riograndense de Mineração** – *Disponível em: <http://www.crm.rs.gov.br>*
7. **IPCC – International Panel on Climate Change** – *Disponível em: <http://www.ipcc.ch/>*