



Resumo Expandido

Título da Pesquisa (Português): Análise e Melhoramento do Ciclo Produtivo da Cal das Pequenas Empresas na Região Centro Oeste de Minas Gerais considerando os Aspectos Ambientais e Energéticos.		
Título da Pesquisa (Inglês): Analysis and improvement of the production of lime cycle of small businesses in the center west region of Minas Gerais considering the environmental aspects and energy		
Palavras-chave: Calcinação, Eficiência, Ignição, Titulação, Indústria de cal		
Keywords: Calcination, Efficiency, Ignition, Titration, Lime industry		
Campus: Formiga	Tipo de Bolsa: PIBITI	Financiador: CNPq
Bolsista(s): Carlos Antônio Rufino Júnior e Vanessa dos Santos Sousa		
Professor Orientador: Prof. Dr. Ricardo Carrasco Carpio		
Área de Conhecimento: Engenharia Mecânica		Edital: 007/2012

Resumo: A cal, cuja matéria prima é a rocha calcária, é um dos materiais mais antigos produzidos pelo homem e encontra uso em diversos setores da indústria e construção. Os micro produtores de cal da região Centro-Oeste de Minas Gerais enfrentam atualmente diversas dificuldades, tais como carência de uma logística no transporte da cal, baixa eficiência dos fornos de cal e enormes perdas de energia térmica durante a queima do calcário, controle ineficiente das emissões gasosas e uso irracional de energia elétrica. Neste sentido, a presente proposta pretende avaliar o ciclo produtivo da cal visando principalmente à redução nas emissões de poluentes atmosféricos, combustão sem fumaça, maior qualidade do ar; uso racional de energia, otimização do combustível; melhoria nas condições de trabalho e implementação de um sistema de captação do pó da cal para as pequenas industriais de cal da Região Centro-Oeste de Minas Gerais.

Abstract: Lime, whose raw material is limestone, is one of the oldest man-made materials and finds use in various sectors of industry and construction. The micro lime producers in the Midwest region of Minas Gerais currently facing various difficulties such as lack of logistics in the transport of lime, low efficiency of lime kilns and massive loss of thermal energy during the limestone burning, inefficient control gaseous emissions and irrational use of electricity. In this sense, this proposal aims to evaluate the production of lime cycle aiming at the reduction in air pollutant emissions, smokeless combustion, higher air quality; rational use of energy, fuel optimization; improvement in working conditions and implementation of a lime dust collection system for industrial lime small center-west region of Minas Gerais.

INTRODUÇÃO:

Segundo dados da Associação Brasileira de Cal, o Brasil é um dos maiores produtores de cal no mundo, ocupando a quinta posição no ranking de produtores de cal, com uma produção de 7.425 mil toneladas/ano (ABPC, 2014).

O Estado de Minas Gerais tem as principais indústrias do Brasil. Na região Centro-Oeste de Minas Gerais, estão concentrados cerca de 140 indústrias que mais se enquadram em pequenas e médias empresas. Indústrias Região Centro-Oeste de Minas Gerais ainda exigem investimentos em tecnologia. A falta de tecnologia aplicada ao processo de produção dessas empresas faz com que essas empresas operem com baixa eficiência, com um alto consumo de combustível, as grandes emissões de CO₂ (SILVA, 2009).

A cal virgem, também chamada de cal viva, é produzida através da reação de dissociação do carbonato de cálcio (CaCO_3) em óxido de cálcio (CaO). Quando a superfície da rocha atinge a temperatura de calcinação o processo de dissociação se inicia a partir da superfície até o centro da rocha, completando o processo de calcinação (OCHOA et al., 2010). Para que ocorra esta reação o calcário deve ser aquecido a temperaturas acima de $900\text{ }^\circ\text{C}$ (SILVA, 2009).

A equação química aproximada para o processo é:



Nas indústrias da região centro-oeste de Minas Gerais, este processo ocorre geralmente em alto-fornos verticais. A Figura 1 mostra o alto-forno da indústria estudada e a Figura 2 mostra um modelo didático do alto-forno vertical.



Figura 1: Forno de cal da empresa estudada.

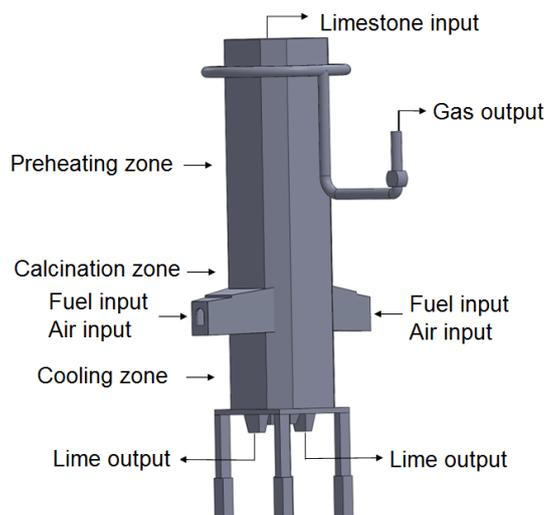


Figura 2: Forno de cal modelado utilizando o *software* Solidworks (Demo).

METODOLOGIA:

A metodologia a ser empregada no presente projeto será a seguinte:

Primeiramente um embasamento teórico-prático por parte dos membros da equipe de trabalho que desenvolverá o projeto, sobre o processo de fabricação de Cal. Isto será possível através de visitas técnicas na própria indústria de Cal.

Seguidamente, será realizado um levantamento das normas técnicas, nas quais são especificadas as propriedades físico-químicas, assim como as características físicas e mecânicas da cal.

Levantamento das tecnologias aplicadas a indústria de cal e os parâmetros operacionais dos fornos in loco da região em estudo.

Levantamento das restrições ambientais em função dos tipos de combustíveis utilizados nos fornos verificando a sua viabilidade.

Análise qualitativas e quantitativas dos poluentes liberados com a queima do calcário e combustíveis.

Análises químicas da cal para determinação da eficiência do processo de calcinação.

Desenvolvimento de um software capaz de calcular a vazão de gases da combustão.

RESULTADOS E DISCUSSÕES:

Neste trabalho foi determinado a eficiência do processo de calcinação de uma indústria de calcinação utilizando duas análises químicas. A primeira etapa consistiu em determinar a porcentagem de óxido de cálcio para cada tipo de calcário. Com a determinação do óxido de cálcio foi possível determinar a eficiência do processo de calcinação.

A análise química considerando a perda de peso por ignição não obteve resultados confiáveis na temperatura de 800 °C, conforme mostra a Figura 3 e Figura 4. Isto porque, nesta temperatura, a amostra de calcário ainda não calcinou completamente.

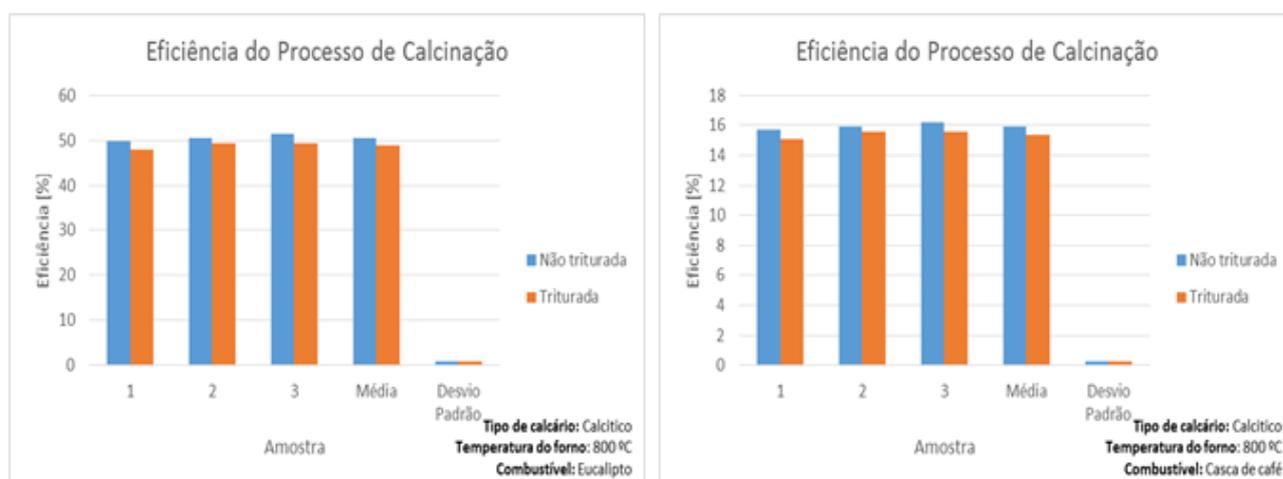


Figura 3. Eficiência do processo de calcinação para o calcário calcítico a 800°C

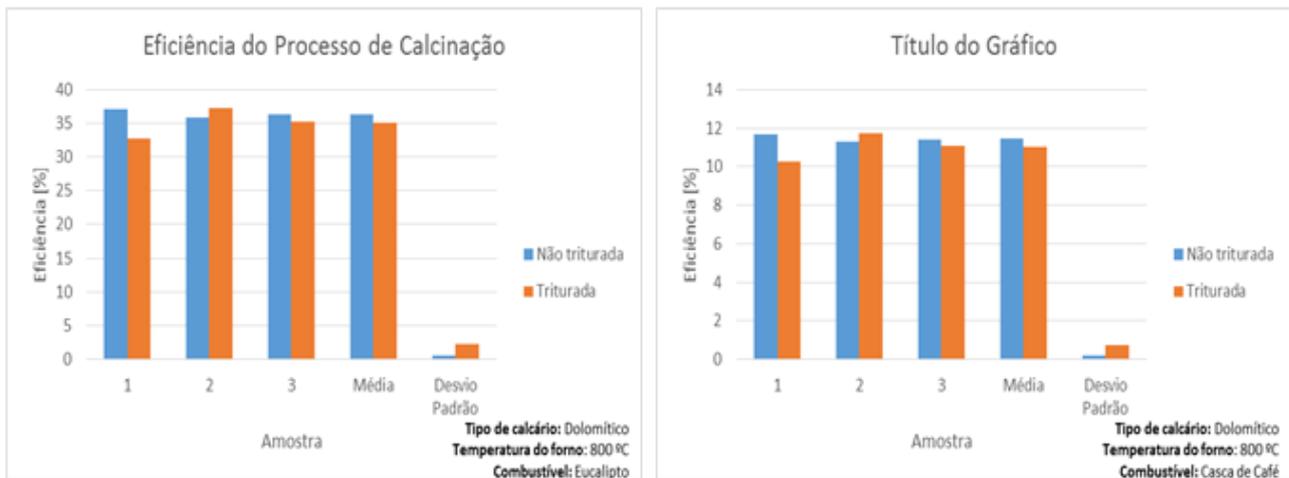


Figura 4. Eficiência do processo de calcinação para o calcário dolomítico a 800°C.

Na temperatura de 800 °C, a amostra de calcário calcinou completamente. Nesta temperatura foi possível avaliar que a amostra de calcário triturada apresentou maior eficiência, isto porque houve maior formação de óxido de cálcio.

O calcário calcítico calcinado na temperatura de 1.000°C e utilizando o eucalipto como combustível, obteve uma eficiência de 28,4809% para amostras não trituradas e de 30,8347% para amostras trituradas. Para a casca de café nesta mesma temperatura, a eficiência foi de 8,9640% para amostras não trituradas e de 9,6418% para amostras trituradas.

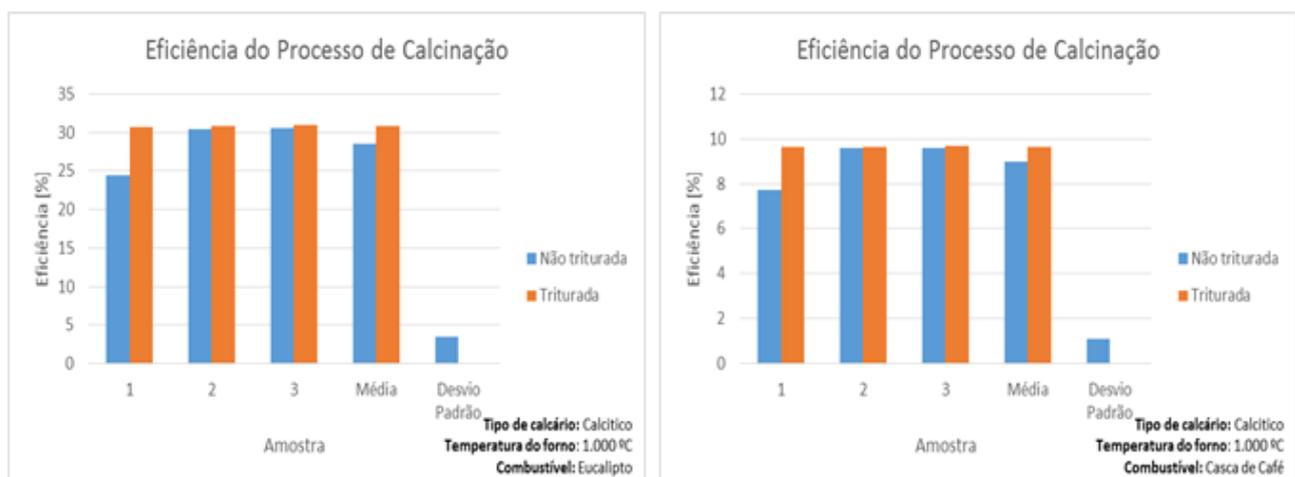


Figura 5. Eficiência do processo de calcinação para o calcário calcítico a 1000°C.

Para o calcário dolomítico calcinado na temperatura de 1.000 °C e utilizando o eucalipto como combustível, obteve uma eficiência de 25,0602% para amostras não trituradas e de 28,3618% para amostras trituradas. Para a casca de café nesta mesma temperatura, a eficiência foi de 7,8873% para amostras não trituradas e de 8,9265% para amostras trituradas.

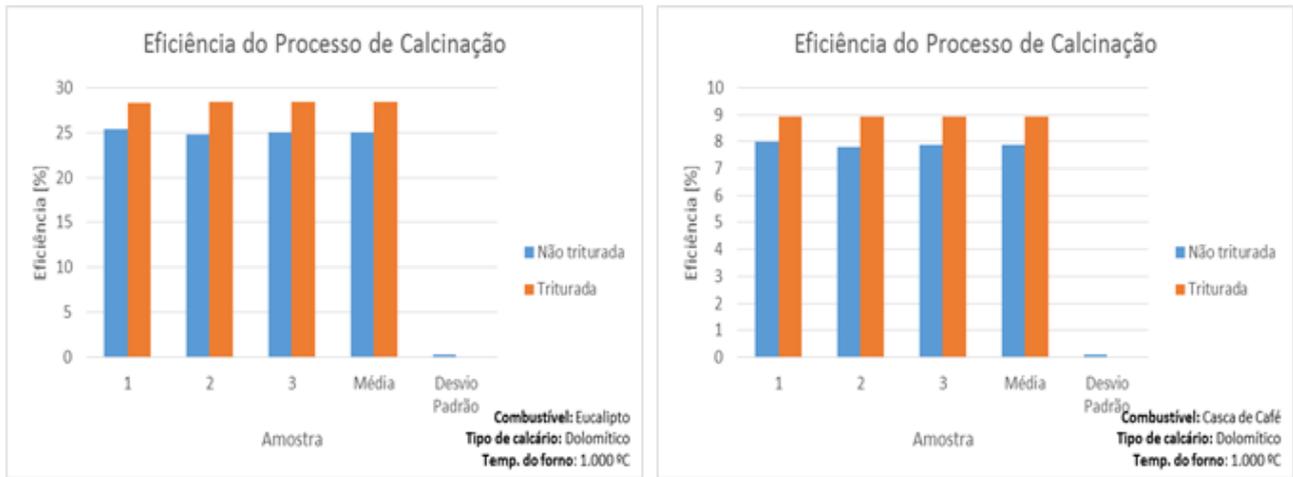


Figura 6. Eficiência do processo de calcinação para o calcário dolomítico a 1000°C.

O software é um produto da modelagem matemática, assim como a existência de outros cálculos. A finalidade do desenvolvimento de um software, o qual deverá ajudar na minimização do custo de produção da produção de cal. O software irá otimizar a mistura de combustível que deverá entrar no alto-forno de cal, considerando o custo do combustível, composição química, emissão de CO₂ entre outros parâmetros. A Figura 7 mostra o software desenvolvido neste trabalho.

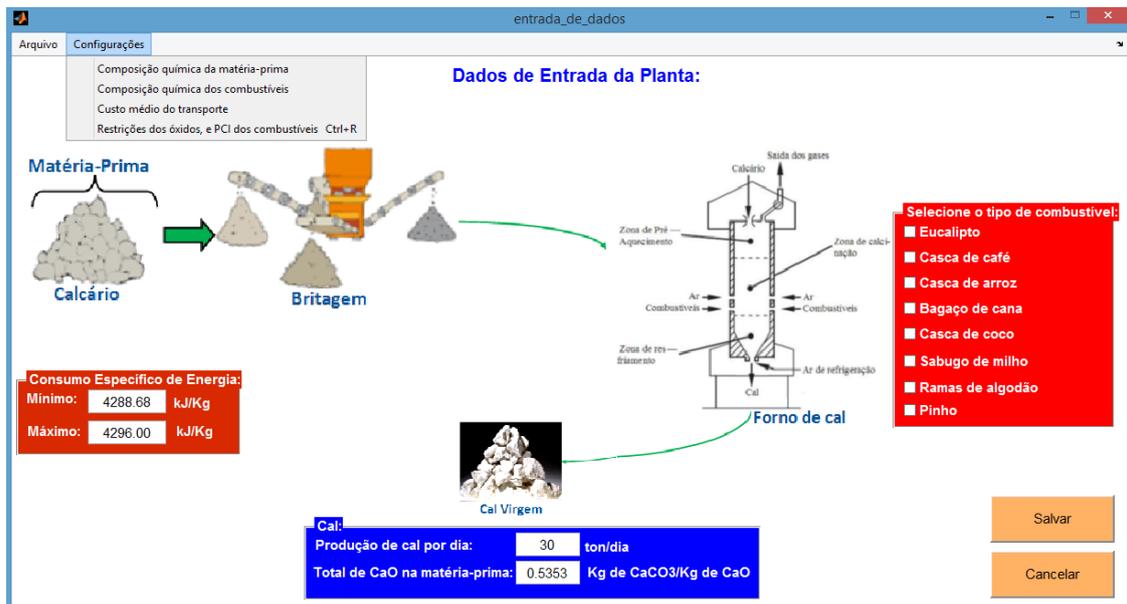


Figura 7. Interface de entrada de dados

CONCLUSÕES:

A maioria das indústrias de cal localizadas na região centro-oeste de Minas Gerais ainda operam com baixas eficiências.

O diâmetro do calcário que alimenta o alto-forno é reduzido. Isto porque uma menor granulometria, implica em aumento da superfície de contato, aumentando a reação química.

A composição química do calcário influencia na eficiência do processo de calcinação. O calcário calcítico comparado com o calcário dolomítico apresentou uma maior eficiência no processo de calcinação, isto porque ele apresenta um maior teor de óxido de cálcio em sua composição química.

O tipo de combustível utilizado é o eucalipto, pois apresentou melhor eficiência. O experimento realizado no IFMG – Campus Formiga considerou pequenas massas de amostra, porém melhores resultados podem ser obtidos em uma escala industrial de grandes massas de amostras.

A análise química considerando a perda de peso por ignição não obteve resultados confiáveis na temperatura de 800 °C. Isto porque as amostras de calcário não calcinaram completamente a esta temperatura.

As amostras trituradas obtiveram melhores resultados, isto porque um aumento da superfície de contato aumenta a velocidade da reação química.

O aumento da temperatura implicou em um aumento da velocidade da reação química e conseqüentemente em um aumento da eficiência de calcinação.

Para um menor consumo de combustível, maior eficiência do processo de calcinação e conseqüente maior eficiência do processo de calcinação indica-se que o calcário passe por um processo de britagem para redução do tamanho da pedra que entra no alto-forno, utilização do eucalipto como combustível principal e da casca de café como combustível secundário.

Neste trabalho, também foi desenvolvido um software capaz de realizar o cálculo da vazão dos gases de combustão e otimização da mistura de combustível, e foi possível avaliar vários tipos de combustíveis em adição aos combustíveis usados na indústria de cal estudado. Para a indústria estudada, obteve-se 13,9822 N m³/s para a taxa de vazão em base úmida e 13,8734 N m³ / s para a vazão em base seca. No cálculo da otimização da mistura que foi obtida para cada cal 1,2754%, deve entrar 0,2392% de casca de café

Foram efetuadas diversas medições dos gases de combustão e a partir dos dados obtidos concluiu-se que os fornos de barranco e vertical tem emissão de NO_x dentro dos limites permitidos pela legislação vigente, não sendo indicada a instalação imediata de filtros para controle de emissões de NO_x. Entretanto ressalta-se a necessidade de novas análises mais completas, incluindo as emissões de óxidos sulfúricos, SO_x, e materiais particulados, com monitoramento dos gases de combustão por período de tempo superior ao compreendido na presente pesquisa.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA:

- ABPC, 2014. "O setor da cal no Brasil". 22 mai. 2014 < <http://www.abpc.org.br/frame.htm>>.
- AALBORG, I. 11 Mai. 2015 < <http://www.aalborg-industries.com.br/downloads/poder-calorifico-inf.pdf>>.
- DEAN, W.E. Jr., 1974. "Determination of carbonate and organic matter in calcareous sediments and sedimentary rocks by loss on ignition: Comparison with other methods". *Journal of Sedimentary Petrology*, Vol. 44, p. 02420248.
- HARVEY, D., 1956. *Modern analytical chemistry*. McGraw-Hill Companies, USA, 1st edition.
- HILL, N. and MASON, K., 1997. "How to calculate the energy efficiency of your lime production in Cuba. Praction Action, World Cement.
- SILVA, J.O., 2009. *Cal profile*. Ministry of Mines and Energy (MME).
- Ochoa, P.A., Sagastume, A., Cogollos, J.B. and Vandecasteele, C., 2010. "Cleaner production in a small lime factory by means of process control". *Journal of Cleaner Production*, Vol. 18, p. 0117101176.

VERES, D.S., 2002. *A comparative study between loss on ignition and total carbon analysis on minerogenic sediments. Studia Universitatis Babes-Bolyai, Vol. , p. -1710182.*

Participação em Congressos, publicações e/ou pedidos de proteção intelectual:

O projeto foi finalizado, com o total de 1 artigo publicado na Revista ForScience, 2 resumos aceitos no Congresso Internacional de Engenharia Mecânica, COBEM, 2015, e 2 artigos submetidos ao COBEM, 2015. Os pesquisadores envolvidos participaram do 3º Seminário de Iniciação Científica (SIC) promovido pelo IFMG, realizado em São João Evangelista - MG entre os dias 04 e 05 de junho de 2014, e estarão participando do 4º Seminário de Iniciação Científica (SIC) promovido pelo IFMG, realizado em Congonhas – MG entre os dias 13 a 15 de outubro de 2015.