

CENTRO UNIVERSITÁRIO DE FORMIGA – UNIFOR – MG
CURSO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO
TIAGO SCARABELLI VELOSO LEÃO

**O ESTUDO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA:
COMBUSTÍVEIS DO PROCESSO DE CALCINAÇÃO**

FORMIGA

2012

TIAGO SCARABELLI VELOSO LEÃO

O ESTUDO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA:
COMBUSTÍVEIS DO PROCESSO DE CALCINAÇÃO

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Curso de Engenharia de Produção do UNIFOR-MG, como requisito parcial para a obtenção de título de bacharel em Engenharia de Produção.

Orientadora: Prof^ª. Ms. Tânia Aparecida de O. Fonseca.

FORMIGA

2012

Tiago Scarabelli Veloso Leão

O ESTUDO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA:
COMBUSTÍVEIS DO PROCESSO DE CALCINAÇÃO

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao
Curso de Engenharia de Produção do
UNIFOR-MG, como requisito parcial para a
obtenção de título de bacharel em Engenharia
de Produção.

BANCA EXAMINADORA

Prof^a. Ms. Tânia Aparecida de O. Fonseca
Orientadora

Prof. Ms. Marcelo Carvalho Ramos
UNIFOR-MG

Formiga, 4 de dezembro de 2012.

RESUMO

Com a evolução histórica humana, dos tempos remotos da antiguidade à sociedade moderna, inúmeros meios de se obter energia foram desenvolvidos. Estes geradores de energia são combustíveis que possuem características únicas, como extração e transformação. Atualmente o respeito ao meio ambiente e a natureza é de grande proporção, tornando a busca cada vez maior por fontes de energia renováveis e de baixos níveis poluentes. Entretanto a diversidade de processos e suas necessidades energéticas ainda mantêm uma alta demanda de todos os tipos de combustíveis. Sua utilização em meios produtivos, mais especificadamente em uma calcinação, alvo deste estudo, implica diretamente na realização do processo e na transformação da matéria-prima, neste caso calcário, em um produto final, a cal. Análises de seus níveis energéticos, da disponibilidade no mercado, origem e logística, adaptação ao meio, além, obviamente, dos seus custos, fornecem dados importantes para a escolha de qual é o combustível mais adequado ao processo de calcinação. Estudar e identificar o combustível mais eficiente são objetivos do trabalho.

Palavras-chave: Energia. Combustíveis. Calcinação. Eficiência.

ABSTRACT

With the historical humans evolution, remote times of antiquity to modern society, numberless ways to obtain energy were developed. These power generators are fuels that have unique features such as extraction and processing. Currently, the respect for the environment and nature is of great proportion, making the search increasing for renewable source of energy and low levels of pollutants. However the diversity of processes and their energy needs still maintain a high demand for all types of fuels. Its use in production media, more specifically in a calcination, aim of this study, directly involves carrying out the process and processing of the raw material, in this case limestone, in a final product, the lime. Analysis of their energy levels, the availability in the market, origin and logistics, adaptation to the environment, and, obviously, their costs, provide important data for the choice of which is the best fuel suited to the calcination process. Study and identify the most efficient fuel are objectives of this work.

Keywords: Energy. Fuels. Calcination. Efficiency.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Calcinação da Cal	20
------------------------------------	----

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Produção Mundial de Cal (1000t/ano)	21
Tabela 2 - Poder Calorífico	24
Tabela 3 - Comparativo dos principais combustíveis.....	30
Tabela 4 - Produção de cal por kcal/kg de combustível	31
Tabela 5 - Produção de cal por kcal/kg de combustíveis combinados	31

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Consumo de Energia nos países industrializados da OCDE.....	16
Gráfico 2 - Consumo de Energia no Brasil.	16
Gráfico 3 - Consumo de Energia, milhões de TEP (Toneladas Equivalente de Petróleo) x Ano	17
Gráfico 4 - Carbono e PCI são diretamente proporcionais.....	30

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	10
1.1 Problema de pesquisa	10
1.2 Justificativa.....	10
1.3 Hipótese.....	11
2 OBJETIVOS.....	12
2.1 Objetivo Geral	12
2.2 Objetivos específicos.....	12
3 REFERENCIAL TEÓRICO.....	13
3.1 Matéria e Energia.....	13
3.2 Abordagem histórica da energia.....	13
3.3 Desenvolvimento Sustentável.....	15
3.4 A Cal Virgem	18
3.4.1 A calcinação	19
3.4.2 Utilização da cal	21
3.5 Os combustíveis do processo de calcinação	22
3.6 O poder calorífico de cada combustível	24
3.7 O impacto ambiental dos combustíveis	25
4 METODOLOGIA.....	26
4.1 Combustíveis mais utilizados na região	27
5 ANÁLISE DE RESULTADO	29
5.1 A química dos materiais	29
5.2 Comparativo entre os combustíveis.....	30
5.3 Relação entre o combustível mais eficiente e o processo.....	32
6 CONCLUSÃO.....	34

1 INTRODUÇÃO

De modo geral, a consciência ambiental e a sustentabilidade já se incorporam as Empresas. A necessidade de um desenvolvimento que minimize as agressões ao ambiente e a natureza é presente na metodologia corporativa. Porém a competitividade também está mais intensa do que jamais se viu. E é a combinação entre sustentabilidade e competitividade que gera a procura ininterrupta pela eficiência produtiva, e uma eficiência limpa.

Esta eficiência se caracteriza por fatores como disponibilidade, transporte, nível de poluição emitido e valores financeiros. Dependendo de cada fator, um tipo de combustível se torna mais eficiente que outro. Além de se analisar a adaptabilidade de cada um no processo produtivo estudado.

A escolha da fonte a ser utilizada tem extrema importância e influencia diretamente nos resultados em um âmbito geral. Baixo custo de produção e mínimas taxas de emissão de poluentes dificilmente são associados, partindo então para política praticada por cada empresa a decisão da fonte energética.

Com o foco destinado aos combustíveis regionais, este trabalho estuda e analisa individualmente os de maior demanda, como os fósseis, resíduos e subprodutos do petróleo, minerais e vegetais, como o carvão, procurando identificar as vantagens e a consequente opção mais eficiente.

A metodologia utilizada neste trabalho envolve, além da pesquisa bibliográfica, dados quantitativos do processo, relacionada com informações qualitativas do meio.

1.1 Problema de pesquisa

O atual processo produtivo de cal virgem é realizado com um alto nível de consumo de energia. Qual seria a alternativa para se obter a melhor eficiência na transformação do produto?

1.2 Justificativa

O processo de fabricação de cal virgem é complexo devido à utilização de materiais com diversas características físicas e químicas. A importância de se conhecer o valor energético envolvido é essencial para a obtenção de um produto de alta qualidade. Através de uma análise energética dos possíveis combustíveis utilizados no processo produtivo este

estudo verificará a melhor alternativa em termos energéticos para a transformação da matéria-prima em produto final, níveis de poluentes gerados e dimensões econômicas, sem afetar a qualidade do produto.

1.3 Hipótese

Com os resultados obtidos através dos estudos dos combustíveis verificar-se-á a possibilidade de melhorar a eficiência da produção de cal através de uma atuação direta na alimentação do processo.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Estudar o consumo energético no processo produtivo de cal virgem na empresa VL Cal e Transportes Ltda., situada em Córrego Fundo – MG, propondo a utilização de um combustível que forneça melhor rendimento sem influenciar na energia desprendida no processo de fabricação da cal.

2.2 Objetivos específicos

- Estudar os combustíveis disponíveis ao processo;
- Analisar o nível energético dos principais combustíveis do processo de calcinação de cal virgem;
- Identificar o combustível que proporciona a mais alta qualidade no produto;
- Propor a utilização do combustível mais eficiente considerando os valores econômicos e ambientais.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Matéria e Energia

César, Sezar e Bedaque (1995) afirmam que “o Universo é composto de matéria e energia. [...] a energia é a responsável pelas transformações sofridas pela matéria”. Tudo que ocupa lugar no espaço é matéria. Sua definição parte do princípio de que “a molécula é a menor parte da matéria que ainda conserva suas propriedades. Por sua vez, as moléculas são compostas de partículas ainda menores, chamadas átomos.” A molécula da água, por exemplo, é composta por átomos de hidrogênio e oxigênio. Através da combinação de átomos a matéria é formada.

Pode-se afirmar que energia é:

Propriedade de um sistema que lhe permite realizar trabalho. A energia pode ter várias formas (calorífica, cinética, elétrica, eletromagnética, mecânica, potencial, química, radiante), transformáveis umas nas outras, e cada uma capaz de provocar fenômenos bem determinados e característicos nos sistemas físicos. Em todas as transformações de energia há completa conservação dela, i. e., a energia não pode ser criada, mas apenas transformada (primeiro princípio da termodinâmica). A massa de um corpo pode-se transformar em energia, e a energia sob forma radiante pode transformar-se em um corpúsculo com massa. (AURÉLIO, 2000).

Dentre os princípios da Termodinâmica, fundada por físicos (entre eles Mayer, Boltzmann e Clausius) a primeira Lei da Termodinâmica, conhecida também como Lei da Conservação de Energia, diz que a toda a energia envolvida em algum processo é conservada. Converte-se uma modalidade em outra (CAPRA, 2002).

3.2 Abordagem histórica da energia

Barolli e Filho (1991) afirmam que desvendar os segredos do céu, desde os tempos remotos, sempre foi um desafio ao ser humano. Descobrir a origem do calor do Sol, o que são os milhares de pontos vistos no céu à noite, e a que distância eles estão, se podemos, um dia, atingi-los. Quando surgem questões como estas, suas respostas nos levam à outras dúvidas muito mais complicadas, alimentando a busca por conhecimento do Universo.

Segundo César, Sezar e Bedaque (1995) a atividade científica é tão antiga quanto o próprio homem. A busca por conhecimento, através do entendimento e domínio da natureza está ligada à história do ser humano. No decorrer dos séculos, os avanços tecnológicos

obtidos facilitaram o meio de vida, porém não evitaram próprios problemas que surgiram com seu desenvolvimento, além de uma futura escassez de recursos que evidentemente ocorrerão.

Por um longo período da história humana, a sua própria força muscular foi o único tipo de energia utilizada. Por volta de cem mil anos atrás, com a descoberta do fogo, o ser humano, caçador, introduziu a madeira como forma de obtenção de energia calorífica, principalmente para o cozimento dos alimentos e geração de calor para as épocas mais frias (REIS, FADIGAS E CARVALHO, 2005).

Atualmente, apenas 1% do trabalho realizado em países desenvolvidos é feito por músculos (WALISIEWICZ, 2008).

Milhares de anos depois, o caçador se transformou em pastor, se adaptando ao meio e domesticando animais. Em consequência, a agricultura surgiu, através de desmatamentos. Este processo de alta complexidade proporcionou a crescente extensão das áreas de cultivo com modificações do ambiente. A população humana aumentou e se espalhou para além dos locais onde se confinava. Já no século XV o consumo energético era maior do que a natureza conseguia repor (VECCHIA, 2010).

Como principal fonte de energia, a madeira foi a base de praticamente todo processo que consumia energia (REIS, FADIGAS E CARVALHO, 2005).

Porém uma crise de energia surgiu na Europa do século XVI exatamente pelo excesso de consumo da madeira, que gerou erosões e desflorestamentos, aumentando seu preço. Surgiu então, a necessidade de buscar um novo substituto para a madeira surgiu. Com a Revolução Industrial, um avanço tecnológico e científico expandiu as alternativas de desenvolvimento da economia, introduzindo o carvão mineral como principal fonte energética, principalmente na Inglaterra. A mudança da madeira para o carvão não foi satisfatória, pois este último é inferior em questões energéticas, de difícil extração, armazenamento, transporte, além de emitir grandes níveis de poluição. “O crescimento mundial com o advento da era do carvão fez que o produto passasse a dominar a matriz energética mundial. Ao final do século XIX, o carvão participava com 53% do consumo de energia primária total do mundo.” (VECCHIA, 2010).

A transição do carvão mineral para o petróleo, diferentemente do que ocorreu da transição da madeira para o carvão, não foi por motivos de escassez, e sim das vantagens econômicas, de desempenho e eficiência do petróleo. Além deste, o gás natural e a eletricidade rapidamente se inseriram no cenário mundial. Com o término da Segunda Guerra Mundial, a energia nuclear surgiu basicamente em países em que não havia reservas

petrolíferas, como a França. Até o início dos anos 1970 não havia preocupação mundial com a falta de energia, devido a abundante oferta de petróleo (VECCHIA, 2010).

Apenas em 1973 e 1979 com duas crises desta fonte de energia, com volatilidade de preços, que se percebeu a importância da existência de várias fontes disponíveis (VECCHIA, 2010). Reis, Fadigas e Carvalho (2005) citam:

As fontes foram sucedendo-se e nenhuma substituiu integralmente a outra. Todas tem tido sua parcela de mercado, com maior ou menor participação em função de suas disponibilidades, preços, políticas governamentais e leis ambientais, dentre outros fatores limitantes (REIS, FADIGAS E CARVALHO, 2005, p. 20).

Nos últimos anos o desenvolvimento mundial é visível e aparentemente ilimitado. O maior problema oriundo deste desenvolvimento é um colapso ecológico. O progresso humano se baseia na superação de qualquer obstáculo, através de trabalho e tecnologia, todavia ao custo da degradação ambiental (CUNHA *et al.*, 2003).

Neste contexto surge o desenvolvimento sustentável, que objetiva transformar a base da sociedade mundial, atualmente em fontes de energias agressivas ao meio ambiente, em fontes de energia limpa e reciclável.

3.3 Desenvolvimento Sustentável

De modo geral, todas as civilizações foram fundamentadas na biomassa. O problema não seria retroceder aos modos de vida ancestrais, mas transformar o conhecimento dos povos baseados nos ecossistemas em ponto de início de uma moderna civilização de biomassa (SACHS, 2002).

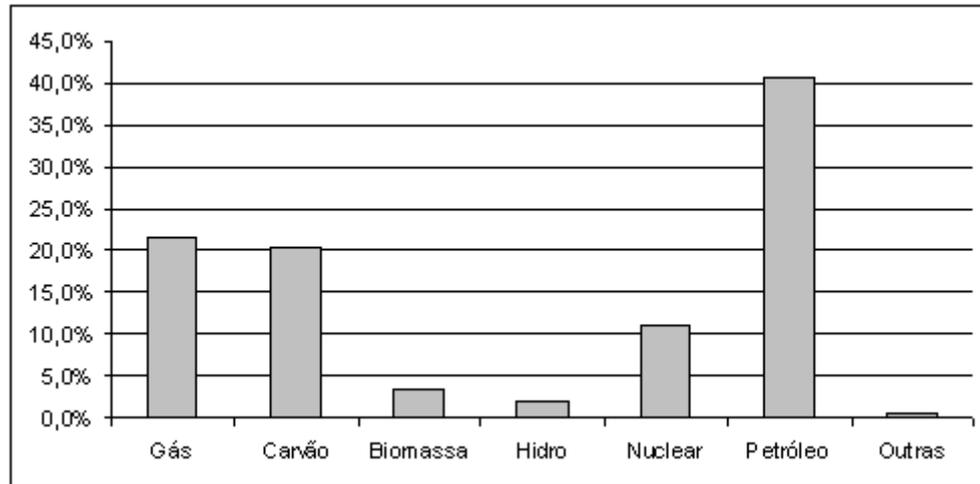
Segundo Cavalcanti (1994) desenvolvimento é a criação de condições tendentes à produção do ser humano em sua integridade, um processo e o seu sucesso resultante. Incorpora objetivos destinados a certos fins.

O desenvolvimento mundial, tanto em aspectos financeiros como sociais, tem como fator essencial a energia. O consumo desta energia tem crescido em todo o mundo cerca de 2% ao ano, principalmente nos países em desenvolvimento. Como consequência os combustíveis fósseis tem aumento do consumo, resultando em níveis maiores de poluição ambiental, tanto local, como regional e global (GOLDEMBERG, 2000).

O consumo de energia nos países industrializados da OCDE – Organização para a Cooperação e o Desenvolvimento Econômico, composto por Alemanha, Austrália, Áustria, Bélgica, Canadá, Coréia, Dinamarca, Espanha, Estados Unidos, Finlândia, França, Grécia,

Holanda, Hungria, Irlanda, Islândia, Itália, Japão, Luxemburgo, México, Noruega, Nova Zelândia, Polônia, Portugal, Reino Unido, República Tcheca, República Eslovaca, Suécia, Suíça e Turquia é indicado no GRAF.1:

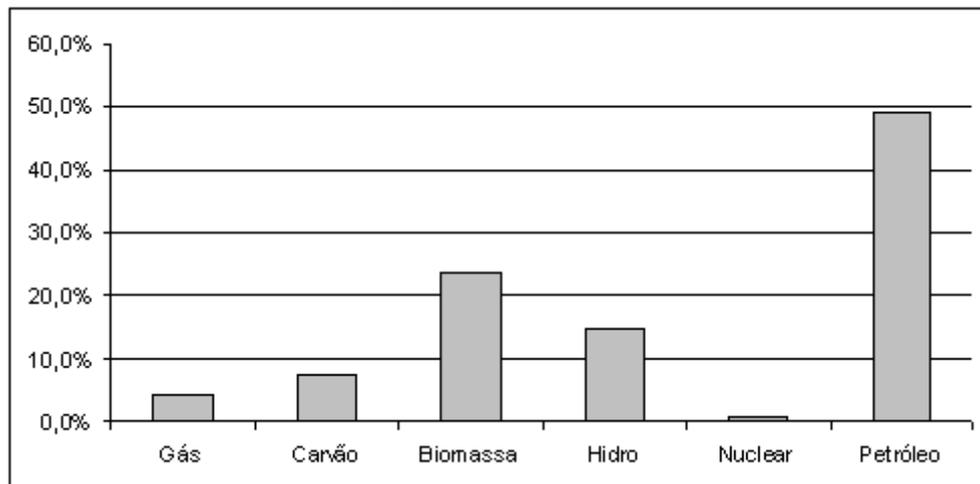
Gráfico 1 - Consumo de Energia nos países industrializados da OCDE



Fonte: Goldemberg (1998)

Ao comparar-se com o consumo de cada país, observa-se que as fontes de energia sustentáveis são menos utilizadas nestes países do que no Brasil, como por exemplo, a biomassa, que é uma fonte de energia ambientalmente correta (GRAF. 2).

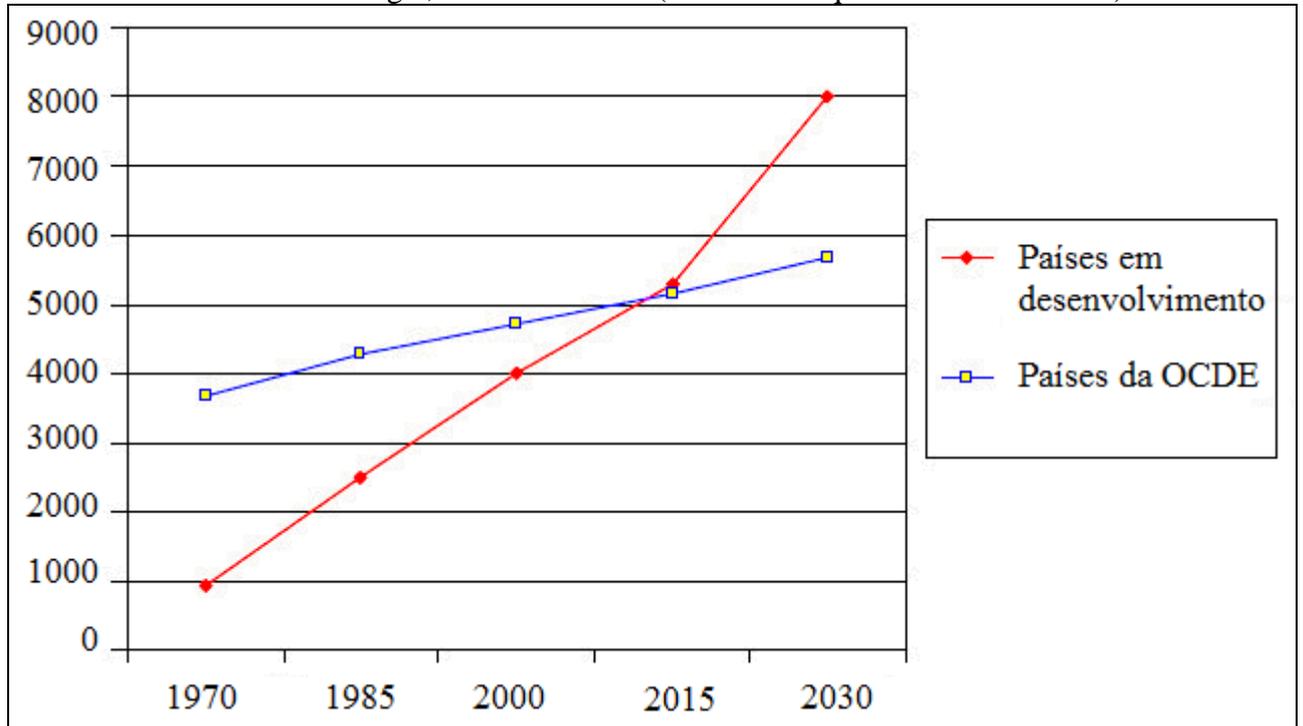
Gráfico 2 - Consumo de Energia no Brasil



Fonte: Goldemberg (1998)

O GRAF. 3 mostra a tendência de consumo de energia. Indica que em poucos anos haverá uma maior demanda em países que estão em desenvolvimento. O crescimento estável dos países da OCDE será ultrapassado por países como Brasil, China, Índia e Rússia.

Gráfico 3 - Consumo de Energia, milhões de TEP (Toneladas Equivalente de Petróleo) x Ano



Fonte: Goldemberg (1998)

Em outro trabalho Goldemberg (2000) ainda descreve que atualmente, a maioria dos processos e equipamentos utilizados em diversos setores, como transporte, indústria e residência foi desenvolvida em tempos de abundância energética, que era inclusive barata, e quando não havia muitas preocupações com os termos ambientais. Assim a possibilidade de melhoria na economia de energia é farta, o que pode aumentar a competitividade das empresas e ainda melhorar suas imagens públicas em relação à poluição emitida.

O desenvolvimento sustentável em si ocorre quando as necessidades atuais são atendidas sem o comprometimento das necessidades de futuras gerações. Assim o estabelecimento de medidas a serem tomadas, como a preservação da biodiversidade e dos ecossistemas, diminuição de consumo e desenvolvimento de tecnologias que utilizem fontes renováveis de energia, aumento industrial em países pouco desenvolvidos através de combustíveis ecológicos é tão importante quanto a adaptação atual, baseada em fontes

altamente poluidoras (gás natural e petróleo), a processos limpos e recicláveis (CAVALCANTI, 1994).

3.4 A Cal Virgem

Segundo a NBR (norma brasileira) 6471 (ABNT, 1998), cal virgem é o produto resultante do processo de calcinação, em que se constitui o óxido de cálcio em combinação natural com o óxido de magnésio, sendo capaz de reagir com água.

Tipos de calcário:

- Calcário Calcítico: CaCO_3
- Calcário Dolomítico: $\text{Ca.Mg}(\text{CO}_3)_2$

Calcário é o carbonato de cálcio natural que se encontra distribuído abundantemente na crosta da Terra apresentando-se em extensas e espessas camadas e em lentes intercaladas nas formações dos diversos períodos geológicos. Pode ser encontrado em todo o planeta e no Brasil é presente em praticamente todos estados. (ABREU, 1965).

Filho e Scipião (2004) afirmam que há oito principais produtos advindos do calcário além do cimento: brita calcária, granulado ou pedrisco de calcário, pó calcário (para correção do solo), calcário moído ou micronizado para indústria, cal virgem, cal hidratada, lajes calcárias para piso e revestimento e calcário para mármore. O mineral é encontrado em grandes proporções em Mato Grosso do Sul (32.3%), Minas Gerais (18.44%), Paraná (8.08%), São Paulo (6.45%) e Ceará (3.6%), sendo os três primeiros responsáveis por 60% da produção de calcário bruto nacional.

A história da cal remota aos tempos da Idade da Pedra, no Período Paleolítico, até o final do Período Pliocênico. Na Pirâmide de Shersi, Tibet, foram encontradas ruínas em que o solo argiloso foi estabilizado com cal. Assim como no Egito, nas Pirâmides de Quéops e Quéfrem, em que havia presença de cal tanto nas juntas dos blocos de calcário e granito como na vedação das câmaras (GUIMARÃES, 2002).

Há, em todo o percurso humanístico, referências à utilização da cal. Na construção da Muralha da China, adjunto de terra argilosa, datado em 228 a.C., e em elaborações de estradas romanas na Inglaterra, em 120 d.C. A Europa, particularmente França, Inglaterra e Alemanha, países fortemente industrializados nos séculos XIX e XX, alavancaram a indústria de cal. Até o meio do século passado ainda havia certo atraso na indústria brasileira, porém de lá em

diante esta passou a competir em níveis de igualdade com as do resto do globo (GUIMARÃES, 1998).

Segundo a ABPC, Associação Brasileira dos Produtores de Cal, os produtores de cal se subdividem em quatro tipos: integrados, que produzem cal com minas de calcário próprias; não integrados, que produzem cal a partir da compra do calcário; transformadores, que moem ou produzem cal hidratada a partir de cal comprada; e cativos, que produzem cal para próprio consumo, como as siderurgias.

No Brasil 87% da cal produzida é proveniente das regiões Sudeste e Sul. Em Minas Gerais, local das principais indústrias nacionais, a produção ultrapassa de 1 milhão de toneladas/ano e municípios como Sete Lagoas, Pedro Leopoldo, Arcos, Pains e Formiga merecem destaque. Entretanto, estados como Mato Grosso do Sul, Bahia, Paraná e Ceará possuem reservas de calcário e dolomitos de qualidade, descentralizando esse ramo industrial (SILVA, 2009).

3.4.1 A calcinação

A calcinação é o ato de transformar o carbonato de cálcio, CaCO_3 , em óxido de cálcio, CaO (AURÉLIO, 2000). No caso do calcário calcítico, a calcinação ocorre a temperaturas médias de 900°C e 1000°C . A calcinação do calcário pode ser representada pela equação 1:



Ou no caso do calcário dolomítico, equação 2, que ocorre a temperaturas médias de 400°C :



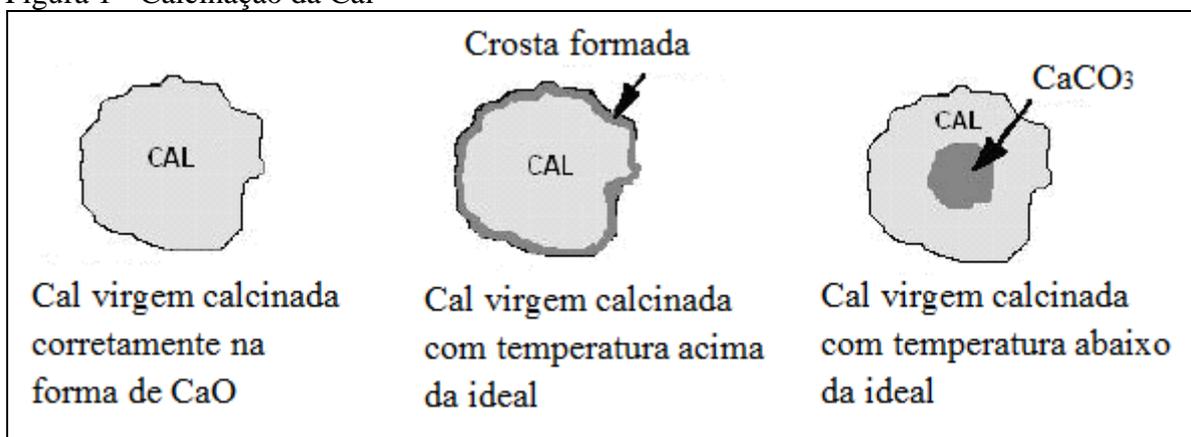
Basicamente existem quatro tipos de fornos: verticais, rotativos, horizontais e leito. O tipo de forno a ser utilizado depende do que se deseja obter, e obviamente de condições financeiras. O mais difundido é o forno vertical (FILHO E SCUPIÃO, 2004).

Silva (2009) cita de outro modo os tipos de fornos de calcinação existentes, “diversos tipos de fornos são usados na produção de cal, variando de acordo com o tratamento e sofisticação tecnológica da empresa”. Forno de barranco descontínuo, forno de barranco contínuo, forno vertical metálico de cuba simples, forno AZBE, forno vertical metálico de cubas múltiplas e fluxos paralelos (geralmente MAERZ, tecnologia suíça).

Ao entrar no forno, no caso do vertical (AZBE), em seu topo o calcário sofre um pré-aquecimento. Em seguida, ao entrar em zonas de temperaturas superiores, o calcário aquece, e então calcina quando atinge as temperaturas ideais. A última etapa é sua saída na zona de descarga, em que também resfria. A má realização deste processo, tanto em relação à má calcinação ou tempo de exposição à temperatura de transformação maior do que o necessário ocasiona em um produto não adequado ou fora da especificação.

A seguir, na FIG 1, a cal, em situação ideal, abaixo e acima do ideal, segundo Paiva, Gomes e Oliveira (2007):

Figura 1 - Calcinação da Cal



Fonte: Paiva, Gomes e Oliveira (2007).

Após a saída do forno, a cal se destina ao setor de classificação, em que é britada e destinada a silos de armazenamento que constituem peneiras separadoras, diferenciando assim o produto por tamanho.

Existem, ainda, processos realizados depois da cal virgem pronta, como moagem, para a obtenção de um produto extremamente fino, pulverizadores, em que a cal se torna um pó, e hidratação, que é a adição de água para se obter um aglomerante.

A TAB. 1 ilustra um comparativo da produção mundial de cal entre 2006, 2007 e 2008:

Tabela 1 - Produção Mundial de Cal (1000t/ano)

Países	2006	Participação %	2007	Participação %	2008	Participação %
China	160.000	78	170.000	79	175.000	80
EUA	21.000	10	2.200	9	19.800	9
Japão	8.900	4	8.900	4	9.000	4
Rússia	8.200	4	8.500	4	8.000	4
Brasil	7.060	3	7.400	3	7.300	3
Total	205.160	100	215.000	100	218.800	100

Fonte: Silva (2009).

Silva (2009) demonstra através da TAB. 1 um comparativo dos cinco maiores produtores de cal do planeta. É perceptível a maciça participação produtiva da China, país que concentra grande quantidade de indústrias e consequente necessidade do produto. Uma equilibrada expansão mundial da produção pressupõe uma crescente evolução do ramo de calcinação, incluindo o Brasil.

3.4.2 Utilização da cal

A cal, em todas suas formas e derivações, é um dos principais produtos da história humana. É essencial e indispensável para diversas atividades e segmentos que sustentam a sociedade mundial.

Chang (1994) diz que:

O maior consumo de cal é feito pela indústria de aço que usa as propriedades básicas da cal para remover as impurezas ácidas dos minérios de ferro. A cal também é usada no controle de poluição atmosférico e no tratamento de águas (para neutralizar ácidos) e, em menor escala, na indústria alimentar. (CHANG, 1994, p 258).

Segundo a ABPC (2008), a cal é utilizada na construção civil, principalmente na forma hidratada, na argamassa e em tintas, na construção de estradas e rodovias, estabilizando solos de baixa capacidade de suporte, e em misturas asfálticas, aumentando a longevidade ao capeamento. Na siderurgia e metalurgia a cal é utilizada na fabricação de aço, alumínio e outros metais não ferrosos (cobre, ouro, níquel e zinco). Na indústria química, a cal é utilizada como insumo de carbonato de cálcio precipitado, carbureto de cálcio, óxido de propeno, cloreto de cálcio, hipoclorito de cálcio e outros elementos.

A relação da cal na produção de papel e celulose é a sua importância como redutor de acidez, fundente em vidrarias, produção de refratários, borracha e pigmentos, além de curtumes. Na indústria alimentícia é empregada nos setores sucro-alcooleiros, cítricos e em

laticínios, agindo como redutor de acidez e clarificador (no caldo da cana, no caso das usinas de açúcar e álcool), e na produção de fosfato bicálcico para alimentação animal. Na agricultura é utilizada na recuperação de solos ácidos, para reflorestamento e outras culturas. É fonte de cálcio para fertilizantes, além de alcalinizar lagoas para piscicultura, como cultivo de peixes, principalmente de água doce (ABPC, 2008).

Na saúde e na preservação ambiental, a cal age como bactericida e saneador ambiental (doença de Chagas e no combate a vetores). É elemento no tratamento de água para o abastecimento público e agente dessulfurante no controle de emissões atmosféricas na indústria, contribuindo para a redução da incidência de chuvas ácidas (ABPC, 2008).

3.5 Os combustíveis do processo de calcinação

O principal objetivo da combustão é a obtenção de calor. O calor proporcionará a temperatura necessária para a transformação da matéria-prima em produto (ASSIS, 1993). Há diversos fatores que afetam a eficiência da combustão, dentre os mais relevantes:

- Preparação, dosagem e distribuição do combustível especialmente em função do fluxo de oxigênio disponível no ponto da combustão;
- O tempo de retenção para a combustão tem de ser suficiente, ou seja, a combustão deve completar-se no sistema de pré-calcinação, já que no estágio seguinte as temperaturas menores dos gases são menos favoráveis para combustão e o calor liberado já não é mais aplicado em nível ótimo;
- O fluxo de ar e combustível deve ser o mais favorável possível para a combustão;
- Uma grande quantidade de matéria-prima crua próximo ao ponto inicial da combustão dificulta consideravelmente a mesma.

Há diversos tipos de combustíveis utilizados no processo de calcinação. O consumo de combustível depende da espécie de forno. Os mais comuns são o coque de petróleo (30%), gás natural (20%), a lenha (20%), o óleo combustível (20%), e carvão, mineral e vegetal (10%), (SILVA, 2009).

O coque de petróleo é um subproduto da indústria do refino petrolífero. Possui alto teor calorífico, baixo custo e o teor de enxofre é relativo ao tipo de petróleo do qual o coque é originado. A produção de coque tem aumentado devido à produção cada vez maior de petróleo pesado processado (SPEIGHT, 2004). Assim, a alta disponibilidade do petróleo torna o coque um combustível muito atraente. A aplicação do CVP (coque verde de petróleo) é feita de acordo com a combinação de suas características com o processo industrial. O mercado de

CVP é muito extenso, tendo como principais segmentos a siderurgia, abrasivos, ferro-gusa, ferro-ligas, carboníferas, cerâmica, cimenteira, termelétricas a carvão, fundição, calcinação, gaseificação, secagem de grãos e indústria química. O baixo teor de enxofre é característico do CVP produzido no Brasil (PETROBRAS, 2012).

O gás natural é uma mistura de hidrocarbonetos leves. Sua composição varia de acordo com os fatores em que o gás é produzido, como processo, condicionamento e transporte (geralmente por gasodutos). É encontrado no subsolo através das jazidas de petróleo. A produção de gás natural se concentra em três estados brasileiros, Rio de Janeiro, Bahia e Amazonas, devido à localização das reservas. São responsáveis pela produção de 76%, sendo metade na Região Sudeste (PRATES, 2006).

De acordo com o Ministério de Minas e Energia (2012) é estimada uma redução na exploração da madeira em 35%. Nos anos 1990, era aproximado o corte de 106 milhões, e na década passada se estabilizou em 69,5 milhões, isso em toneladas. Nos anos 1980 o uso de madeira nativa era de 80%, porém em 1997 já era de 10%, o que demonstra a busca pela madeira reflorestada, mais facilmente legalizada. Com mais de 700 espécies distintas, a lenha de eucalipto tem cerca de três milhões de hectares plantados no país. Minas Gerais é o estado com maior área destinada ao cultivo, aproximadamente 2% de seu território. Com fins energéticos, a madeira tem vantagens significativas, como clima adequado e extensão de área para o plantio, além da existência de investimentos na área tecnológica, a biotecnologia, que auxilia o aumento da produção física por hectare e maior densidade de elementos energéticos (celulose, açúcar, amido, óleos vegetais).

Segundo a Petrobrás (2012), os óleos combustíveis são “largamente utilizados na indústria moderna para aquecimento de fornos e caldeiras”. É a parte remanescente da destilação das frações do petróleo, obtidas através de vários processos de refino. Existem dois tipos de óleo combustível. O Grupo A e Grupo B. O primeiro obtém 5% em massa de teor de enxofre máximo, e o segundo 1%. “Cada um destes grupos se divide em 9 tipos de óleo de acordo com suas viscosidades”. Na calcinação os tipos de óleos mais utilizados são o BTE e BPF (SILVA, 2009).

O carvão mineral é uma mistura complexa e variada de componentes orgânicos sólidos. Fossilizado a milhões de anos como outros combustíveis fósseis, sua qualidade varia de acordo com o conteúdo de carbono e o estágio dos componentes orgânicos. O carvão mineral pode ser diferenciado como turfa, de baixo conteúdo carbonífero, cerca de 45%, linhito, entre 60% e 70%, betuminoso, com 75% a 85% e antracito, o mais puro, apresentando níveis superiores a 90% de carbono. O mais utilizado como combustível é o betuminoso. A

extração pode ser de baixo ou elevado custo, dependendo do solo e da profundidade encontrada (ANEEL, 2004).

Uhlig, Goldemberg e Coelho (2008) afirmam que, diretamente relacionado ao setor industrial, o carvão vegetal é utilizado principalmente na produção de ferro-gusa, ferro liga e fabricação de cimento. Porém o setor produtivo de cal também o utiliza em larga escala. No Brasil, o carvão vegetal provém, predominantemente, da exploração de florestas nativas, apesar do aumento de origem plantada. Em 1980, 85.9% da produção era nativa, e em 2006 o valor foi reduzido a 49%. Os principais estados produtores, de origem nativa em 2005 foram Bahia, Mato Grosso do Sul, Maranhão, Goiás e Minas Gerais. É fonte de energia renovável e abundante.

3.6 O poder calorífico de cada combustível

O poder calorífico é definido como a quantidade de energia em forma de calor liberada pela combustão de uma unidade de massa. Pode ser dividida em superior, em que a combustão é efetuada a volume constante e se forma água condensada durante a combustão, e inferior, que é a energia efetivamente disponível por unidade de massa de combustão (JARA, 1989).

Um comparativo do poder calorífico inferior (PCI) dos combustíveis citados neste estudo pode ser visto na TAB. 2:

Tabela 2 - Poder Calorífico

Combustível	PCI
Coque	7200 kcal/kg
Gás Natural	9065 kcal/m ³
Madeira (seca)	4800 kcal/kg
Madeira (verde)	2500 kcal/kg
Óleo Combustível 1A	9750 kcal/kg
Óleo Combustível 1B	9940 kcal/kg
Óleo Combustível 2A	9550 kcal/kg
Óleo Combustível 2B	9920 kcal/kg
Óleo Combustível 3A	9500 kcal/kg
Óleo Combustível 3B	9870 kcal/kg
Carvão Mineral (Cambuí/PR)	6200 kcal/kg
Carvão Mineral (Charqueadas/RS)	3100 kcal/kg
Carvão Mineral (Mina do Leão/RS)	4200 kcal/kg
Carvão Mineral (Tubarão/SC)	4500 kcal/kg
Carvão Vegetal	7500 kcal/kg

Fonte: Adaptado de Aalborg Industries (2012).

Aalborg Industries (2012) exemplifica as dimensões caloríficas dos combustíveis em um comparativo. Nota-se que existe uma variação entre o mesmo combustível devido a determinados fatores, como a umidade existente na madeira ou a região em que se encontra o carvão mineral, por exemplo.

Além de suas características caloríficas, analisa-se, então, a disponibilidade de cada combustível, a facilidade e distância do transporte e o local de sua origem, além de seu valor financeiro e impacto ambiental.

3.7 O impacto ambiental dos combustíveis

Walisiewicz (2008 p.4) afirma que “as guerras e as crises políticas revelaram a fragilidade de nossas fontes de combustíveis, e tomamos consciência do impacto ambiental causado por nossa dependência de energia. A era dos combustíveis fósseis está chegando ao fim”. A tendência é o aumento do preço dos derivados do petróleo, como coque, óleo combustível e até gás natural. A exploração tornou-se uma atividade custosa, levando à ambientes extremos como o Ártico, áreas desérticas e o fundo do mar. Outro ponto negativo é o nível de poluição superior desses derivados relacionados a combustíveis alternativos, como a madeira e carvões.

Mesmo com a descoberta ainda contínua de bacias petrolíferas, como a feita no litoral brasileiro na década passada, que geram estabilidade comercial do combustível e seus derivados, o impacto causado pela sua exploração deve ser tratado com cautela e exige investimentos. Ecossistemas marinhos são delicados e o derramamento de óleo no mar gera degradação e destruição da diversidade (Margalef, 1993).

A atividade de exploração, de qualquer espécie, pode interferir nas dinâmicas sociais e espaciais do lugar em que é estabelecida e até em outras partes do globo (Souza, 2004).

4 METODOLOGIA

A metodologia utilizada neste estudo atendendo aos objetivos de análise dos teores energéticos, eficiência e qualidade dos combustíveis disponíveis e adequados ao processo produtivo de cal virgem da empresa em questão, foi embasada em pesquisa qualitativa e quantitativa.

Segundo Flick *et al* (2000) a pesquisa qualitativa se adapta ao caso estudado, sendo um “espectro de métodos e técnicas”, e não seguindo um padrão único. Além disto, aponta a “compreensão como princípio do conhecimento”.

Kish (1987) afirma três maneiras distintas de coleta no contexto qualitativo: observação, experimento e *survey* (sondagem).

A pesquisa quantitativa, caracterizada estatisticamente, estuda níveis de frequência e intensidade de opiniões, costumes e hábitos (GOODE & HATT, 1969). Mitchell (1987) afirma que:

[...] Os métodos quantitativos são, essencialmente, instrumentos auxiliares para a descrição. Ajudam a focalizar com maior detalhe as regularidades que se apresentam nos dados coletados pelo pesquisador. As médias, taxas e porcentagens são formas de resumir as características e as relações que se encontram nos dados (MITCHELL, 1987, p. 81-82).

O uso das duas abordagens, qualitativa e quantitativa, no estudo de um caso específico, como o descrito neste projeto, apresenta um resultado mais significativo e considerável. Santos Filho (2001) cita que esta complementaridade existente é fundamental e reconhecida por pesquisadores da área metodológica.

Yin (2001, p. 71) afirma que “[...] um Estudo de Caso teria que tratar tanto do fenômeno de interesse quanto de seu contexto, produzindo um grande número de variáveis potencialmente relevantes”. Ao mensurar os fatos e estudá-los dentro do contexto abordado, em uma questão contemporânea, o estudo de caso é uma ferramenta adequada (LAZZARINI, 1995).

O estudo de caso foi realizado na empresa de calcinação VL Cal e Transportes Ltda., localizada na cidade de Córrego Fundo – MG, durante o ano de 2012.

A VL Cal é uma empresa 100% nacional, sociedade por cotas Limitada, fundada em 17/10/1995, destacando-se no ramo de fabricação e comercialização de cal virgem.

O produto é destinado principalmente para setores como o de carbonato de cálcio, usinas de açúcar e álcool, siderurgias, tintas, celulose e papel, destilarias, construção civil e outros usos diversos.

Instalada em amplo espaço físico com aproximados 100.000 m², possui três fornos de calcinação, silos de estocagem, balança rodoviária, escritório, oficina, garagem para frota própria, diversos maquinários e capacidade de estocagem para matéria prima e combustível superior a 90 dias. A empresa é certificada na norma ISO 9001:2008 desde agosto de 2010.

Contando com mais de 50 funcionários, a VL Cal é situada no centro-oeste mineiro, mais especificadamente na cidade de Córrego Fundo, pequena cidade com população estimada em seis mil, centralizada em um pólo industrial no setor de cal e seus derivados. A região apresenta imensas jazidas de calcário de ótima qualidade, além de diversos tipos de combustíveis para o processo industrial.

A coleta dos dados trata de forma quantitativa, mostrada por números em tabelas, comparativos e gráficos. O tratamento qualitativo é objeto de um estudo específico na área produtiva. Os resultados quali-quantitativos propõem informações para tomadas de decisão dos gestores.

4.1 Combustíveis mais utilizados na região

Dos combustíveis citados neste trabalho apenas três foram abordados com profundidade, devido à sua utilização em maior quantidade nos fornos regionais.

Os três tipos de combustíveis mais utilizados no pólo industrial de cal virgem são:

- Carvão vegetal;
- Coque de petróleo;
- Lenha de eucalipto.

Predominantemente vegetal, o carvão é reutilizado na indústria de cal, pois é adquirido após ser o combustível em outros ramos fabris, como siderurgias e cimenteiras. Sua compra é realizada em toneladas e a oferta é alta devido à grande quantidade dessas indústrias que também o tem como fonte energética.

O Coque de petróleo é comprado em refinarias, como a Petrobrás, localizada no eixo Rio – São Paulo. A unidade de medida também é tonelada. No Brasil ainda possui como característica baixo teor de enxofre, o que é considerado uma vantagem ambiental apesar de

sua origem fóssil. A extração do petróleo é crescente e conseqüentemente a oferta de coque também aumenta.

O carvão é injetado ao processo de calcinação em associação ao coque de petróleo para se obter um aumento de rendimento e diminuição de custos.

Tanto o coque quanto o carvão necessitam de tratamento específico para a introdução nos fornos, o que agrega valor e aumenta o custo dos combustíveis. Para a inserção no processo produtivo, ambos passam por moagem e secagem após serem mesclados. Essa ação gasta muita energia, porém o baixo custo de aquisição do carvão e a alta capacidade calorífica do coque compensam essa preparação diferenciada das fontes energéticas e mantém o custo extremamente competitivo.

A lenha de eucalipto, em grande abundância, é cultivada em milhares de hectares na região por produtores rurais. O preço praticado tem se mantido estável há anos devido ao crescimento superior da oferta em relação à demanda. Apesar de se tratar diretamente com o meio ambiente, a documentação necessária para a venda da madeira às empresas é relativamente simples, tendo como exemplo o Mapa de toda a fazenda, para se conhecer área de plantio, de cultivo de gado e área reservada (exigido pelo IEF – Instituto Estadual de Florestas), DCC (Declaração de Colheita e Comercialização de Florestas Plantadas), pagamento de taxa dessa área de corte de floresta através de documentos de arrecadação (DAE), Comprovante de Inscrição Estadual de Produtor Rural e Contrato de Fornecimento entre Produtor e Empresa.

5 ANÁLISE DE RESULTADO

5.1 A química dos materiais

Ao se analisar quimicamente os combustíveis foi possível identificar a capacidade de combustão e de poluição de cada um.

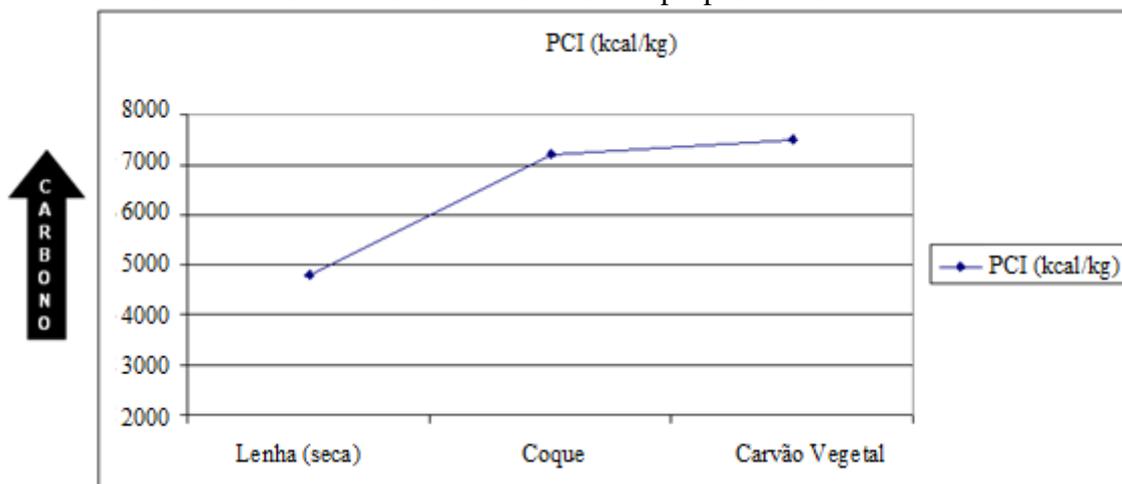
De acordo com Remade (2012) o carvão vegetal é obtido através da carbonização da lenha. Praticada em fornos de alvenaria em ciclos que podem durar dias, a carbonização da lenha pode atingir temperaturas de até 500°C. É constituído em teor aproximado entre 65% a 80% de carbono fixo, 20% a 35% de material volátil e 1% a 3% de material inorgânico (cinzas). Como o carvão é reutilizado, o teor de carbono é maior devido a uma combustão já realizada, eliminando os teores de material volátil. Isso aumenta o nível de poluição devido a maior concentração de carbono. Outro problema é o alto índice de lenha nativa utilizada para a produção de carvão vegetal. Segundo Uhlig, Goldemberg e Coelho (2008), em 2006, 49% da lenha ainda era nativa, o que agride o meio ambiente, aumentando os desmatamentos, principalmente em lugares de reservas. O precário meio de fabricação lança à mão-de-obra empregada condições desumanas de trabalho, o que é mais um ponto negativo na questão social.

O coque verde de petróleo é um produto sólido, obtido a partir do craqueamento de óleos residuais pesados. Basicamente existem dois tipos principais: o esponja e o agulha. O primeiro corresponde a 90% da produção mundial. Como o coque é um derivado do petróleo, pode chegar ao teor de até 97% de carbono, o que se assemelha ao carvão e ao seu nível de poluição. Porém de acordo com a Petrobrás (2009), este nível gira em torno dos 89%, tendo como constituição restante enxofre, 1% e material volátil, 10%. Isso demonstra a variação do processo.

Segundo Andrade *et al* (2011) a lenha de eucalipto, na base seca, possui aproximadamente 50% de carbono de composição. Oxigênio e hidrogênio somam praticamente os outros 50%, restando apenas mínimas concentrações de nitrogênio, cálcio, potássio, magnésio e sódio. Ao entrar no processo de combustão, muito de sua composição é “perdida”, pois não melhora o índice de capacidade de queima do calcário.

Pode-se observar que o teor de carbono destes combustíveis é diretamente proporcional à sua capacidade calorífica. Pode-se observar através do GRAF 4:

Gráfico 4 - Carbono e PCI são diretamente proporcionais



Fonte: próprio autor.

Como a madeira possui aproximados 50% de carbono, isto o torna o menos eficaz calorificamente analisando em relação aos demais. Entretanto seu nível de poluição é o menor, devido também ao seu menor teor de carbono. Isto quando são levados à combustão.

5.2 Comparativo entre os combustíveis

Para se obter resultados de eficiência das fontes energéticas, vários fatores são determinantes e seu equilíbrio implica na viabilidade dessas fontes. Como já retratado, o comparativo mostra valores caloríficos, financeiros e disponibilidade do combustível.

Com base nos valores de poder calorífico citados no Referencial Teórico, através da TAB. 3 uma comparação entre os preços médios dos três principais combustíveis, de acordo com a pesquisa de campo realizada, é demonstrada:

Tabela 3 - Comparativo dos principais combustíveis

Combustível	Preço aproximado por tonelada ou m ³	Preço aproximado por kg	Poder Calorífico por unidade
Coque de Petróleo	R\$ 400,00 / t	R\$ 0,40 / kg	7200 kcal/kg
Carvão Vegetal	R\$ 175,00 / t	R\$ 0,175 / kg	7500 kcal/kg
Lenha (seca)	R\$ 50,00 / m ³	R\$ 0,125 / kg*	4800 kcal/kg

*m³ de lenha seca = 400 kg

Fonte: próprio autor.

Deve-se salientar que o carvão vegetal demonstrado na tabela não é o utilizado em calcinações. O produto é reutilizado, conseqüentemente o poder calorífico é menor. Há ainda o acréscimo de materiais indesejáveis, como a sílica, oriunda no processo de combustão de

outras indústrias, como as siderurgias, por exemplo, o que pode trazer algum tipo de perda no componente combinado ao coque.

Diretamente associado ao preço dos combustíveis, o rendimento é a capacidade de cada uma destas fontes produzirem uma tonelada do produto. Então neste ponto, deve se levar em consideração à combinação entre o coque e carvão para se obter uma análise adequada. Esta combinação depende do tipo de processo utilizado no forno. Sua média, porém, é de 60% coque, 40% carvão, o que mantém qualidade calorífica, por causa do coque, e um preço não tão alto, devido ao carvão.

Para a produção de um quilograma de cal, o tipo de processo, como o combustível escolhido, se há ou não uma zona de pré-aquecimento do calcário, por exemplo, são fatores que alteram a necessidade aproximada de kcal para a transformação da matéria-prima em produto. Essa quantidade pode variar entre 850 kcal e 1800 kcal por quilograma, de acordo com o estudo de caso. Com base no valor de 850 kcal/kg, na TAB. 4 pode-se visualizar com maior clareza a situação:

Tabela 4 - Produção de cal por kcal/kg de combustível

Combustível	Poder Calorífico (kcal/kg)	Produção de cal $\frac{\text{kg}}{\text{kcal/kg}}$
Coque de Petróleo	7200	8,47
Carvão Vegetal	7500	8,82
Lenha (seca)	4800	5,65

Fonte: próprio autor.

Na tabela TAB. 4 é indicada a produção individual dos combustíveis. Todavia nos processos estudados, apenas a lenha seca é utilizada sem alguma combinação. Para um valor mais real de rendimento do carvão e coque, deve ser feita uma relação 40% e 60% respectivamente, como é indicada na TAB. 5:

Tabela 5 - Produção de cal por kcal/kg de combustíveis combinados

Combustível	Poder Calorífico (kcal/kg)	Produção de cal $\frac{\text{kg}}{\text{kcal/kg}}$
Coque de Petróleo Carvão Vegetal	7320	8,61
Lenha (seca)	4800	5,65

Fonte: próprio autor.

Além da capacidade calorífica, a temperatura em que ocorre a transformação da matéria-prima é de extrema importância. Caso as temperaturas de 400°C para calcário dolomítico, e 900°C para calcítico, não sejam atingidas, o processo irá utilizar uma quantidade muito superior de combustível para a mesma finalidade, tornando o rendimento baixo e os custos altos.

Quando se trata de modal, ou seja, o meio de transporte de mercadorias, produtos e serviços, o utilizado para as fontes energéticas acima citadas é o rodoviário. O baixo custo, alta disponibilidade e facilidade de embarque e desembarque do combustível são pontos positivos interessantes. Entretanto, ao se estudar cada caso, a escolha do modal para o transporte não é uma opção. A termos regionais, não seria possível o carregamento de madeira ou carvão em outro meio além do rodoviário. As ferrovias existentes estão totalmente voltadas a outros produtos, e a malha não é das maiores. Rios navegáveis até existem, mas o transporte não é eficaz. E devido à curta distância, para não citar custo ou disponibilidade, o modal aéreo é descartado.

Em relação ao coque, este poderia ser transportado por ferrovias de suas fontes já informadas anteriormente, eixo Rio – São Paulo, onde há refinarias maiores. Porém o problema é o mesmo citado, a malha é significativamente inferior à rodoviária, e há baixa disponibilidade.

A qualidade do produto também é um pesado fator. Combustíveis fósseis possuem mais componentes químicos que os vegetais. Durante a combustão há a liberação de alguns elementos, como água (H₂O) e carbono. Todavia há a chance de contaminação do produto por outros elementos, como metais pesados, chumbo e ferro, por parte do coque, por exemplo. O que pode afetar a qualidade e criar um produto em não conformidade. No caso da madeira, essa possibilidade de contaminação é muito pequena.

5.3 Relação entre o combustível mais eficiente e o processo

Atualmente o sistema utilizado para a queima do combustível na empresa estudada, VL Cal, é o tipo gasogênio, na qual a lenha de eucalipto é inserida em um recipiente e o gás da combustão é direcionado por exaustão até o calcário, realizando assim, a transformação da matéria-prima em produto final.

Deve-se considerar que o método de combustão adotado nestes processos de calcinação é de pouca relevância, já que a longo prazo, o valor financeiro investido é irrisório.

Mantendo a visão financeira abordada, o combustível a ser escolhido é o que deve ter peso na escolha, e não o investimento no processo a ser instalado.

A eficiência de cada combustível é influenciada por aspectos que devem ser analisados individualmente. De modo geral, todos são vantajosos, pois, caso contrário, não seriam nem mesmo esboçados entre os atuais projetos de fornos.

Como principal diferencial, o carvão possui o baixo custo, além de uma disponibilidade satisfatória devido a outras indústrias que também o utilizam. Sua desvantagem é o baixo rendimento, já que é um combustível reutilizado, e o nível de poluição de níveis elevados. Nesse último caso a instalação de filtros e o destino desses resíduos retidos geram custos extras.

O coque de petróleo tem a capacidade calorífica mais elevada entre os três combustíveis estudados, o que pondera o maior preço, pois o seu rendimento é superior, produzindo maior quantidade de produto. Como desvantagem, assim como o carvão, possui o fator ambiental. Sua origem fóssil, também o expõe a qualquer tipo de crise petrolífera, afetando o seu abastecimento e preço.

A lenha de eucalipto é a alternativa que menos polui, é reflorestada, abundante na região e relativamente barata. Porém é a que possui menor capacidade calorífica, ou seja, é necessária uma quantidade maior para produzir o mesmo que os outros combustíveis.

Ao analisar-se somente o caso da empresa abordada, em que o processo praticado é através da lenha, os pontos estudados tendem a mantê-lo. Mesmo com um rendimento superior, o equilíbrio financeiro e ambiental do coque associado ao carvão é menor relacionado à madeira. O combustível é farto na região, possui um preço estável e é caracterizado como ambientalmente correto. Além destes fatores, há ainda a possibilidade da geração de auto suficiência energética, caso seja cultivado pela própria empresa, o que pode aumentar os custos a curto prazo, entretanto estabilizar o processo ao longo do tempo.

6 CONCLUSÃO

Através das informações obtidas neste estudo, pode-se concluir que a abordagem analítica dos combustíveis disponíveis ao processo, tanto os biocombustíveis, como os derivados de petróleo e derivados minerais, tem suas vantagens. A adaptação dessas fontes ao meio produtivo é um dos itens mais significativos para sua viabilidade. A questão ambiental é importante, o que pesa a favor, por exemplo, da madeira reflorestada. Todavia, a capacidade calorífica demonstra o porquê dos combustíveis fósseis serem tão explorados em todo o globo.

Como pode ter se compreendido, existe viabilidade em todos combustíveis. Neste caso a própria política organizacional pode influenciar qual fonte energética será a escolhida.

Questões logísticas e financeiras estudadas deram números finais em relação à eficiência de cada fonte energética, pois estas características proporcionam o abastecimento do processo de modo constante e que não afete a qualidade do produto final.

A eficiência energética abordada neste trabalho pode ser considerada como variável ao local onde a empresa de calcinação está situada, o que pode alterar os preços, disponibilidades e demais fatores dos combustíveis.

O cultivo da madeira é renovável. Com um tratamento correto do solo, sua utilização gera sustentabilidade à região, como mais uma opção para o aproveitamento das terras, geração de emprego e conseqüente aumento da renda local. Assim, no cenário estudado a lenha de eucalipto é a fonte energética mais adequada.

REFERÊNCIAS

- Aalborg Industries S.A. **Poder calorífico inferior**. Disponível em www.aalborg-industries.com.br/downloads/poder-calorifico-inf.pdf . Acesso em 28 mai. 2012.
- ABREU, S. F. **Recursos Minerais do Brasil: minerais não metálicos**. 2 ed. Rio de Janeiro: Biblioteca Geográfica Brasileira, 1965. 505 p.
- Agência Nacional de Energia Elétrica. **Carvão Mineral**. Disponível em: [http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/08-carvao\(2\).pdf](http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/08-carvao(2).pdf) . Acesso em 27 mai. 2012.
- ANDRADE, M. C. N. *et al.* **Estudo Comparativo da Constituição Nutricional da Madeira e Casca de Espécies e Clones de Eucalipto Visando o Cultivo de Shiitake em Toras**. Revista *Árvore*, Viçosa, 2011. v. 35, n.2.
- ASSIS, P.S. *et al.* **Injeção de materiais diversos em altos-fornos**. ABM, 1993.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6471: Cal virgem e cal hidratada – Retirada e preparação de amostra – Procedimento**. Rio de Janeiro, 1998.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS PRODUTORES DE CAL. **A cal e suas aplicações**. Disponível em: <http://www.abpc.org.br>. Acesso em: 20 abr. 2012.
- AURÉLIO, B. H. F. **Novo Dicionário Aurélio: Século XXI**. Nova Fronteira, 2000. 2128 p.
- BAROLLI, E.; FILHO, A. G. **Nós e o universo**. 2 ed. São Paulo: Scipione, 1991. 56 p.
- CAPRA, F. **O Ponto de Mutação**. São Paulo: Cultrix, 2002.
- CAVALCANTI, C. *et al.* **Desenvolvimento e natureza: estudos para uma sociedade sustentável**. INPSO/FUNDAJ, Instituto de Pesquisas Sociais, Fundação Joaquim Nabuco, Ministério de Educação, Governo Federal, Recife, Brasil, 1994. p. 262. Disponível em: <http://168.96.200.17/ar/libros/brasil/pesqui/cavalcanti.rtf>
- CÉSAR, S. J.; SEZAR, S.; BEDAQUE, P. S. S. **Ciências – Entendendo a Natureza: a matéria e a energia**. 6 ed. São Paulo: Saraiva, 1995. 176 p.
- CHANG, R. **Química**. 5 ed. Portugal: McGraw-Hill, 1994.
- CUNHA, S. B. *et al.* **A questão ambiental: diferentes abordagens**. 2 ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2003. 248 p.
- FILHO, J. A; SCIPIÃO, T. T. **Nota Técnica 9: Panorama geral do setor mineral cearense**. Governo do Estado do Ceará, SEPLAN, IPECE. Fortaleza, 2004.
- FLICK, U., von KARDORFF, E. & STEINKE, I. (Orgs.). **Was ist qualitative Forschung? Einleitung und Überblick. [O que é pesquisa qualitativa? Uma introdução]**. Reinbek: Rowohlt, 2000.

GOLDEMBERG, J. **Pesquisa e Desenvolvimento na Área de Energia**. São Paulo, São Paulo em Perspectiva, 2000.

GOLDEMBERG, J. **Energia, Meio Ambiente e Desenvolvimento**. São Paulo: Edusp, 1998. 235 p.

GOODE, W. J. & HATT, P. K. **Métodos em Pesquisa Social**. 3 ed. São Paulo: Cia. Editora Nacional, 1969.

GUIMARÃES, J. E. P.; **A cal: fundamentos e aplicações na engenharia civil**. São Paulo: Pini, 1998.

GUIMARÃES, J. E. P. **A cal: fundamentos e aplicações na engenharia civil**. 2. ed. São Paulo: Pini, 2002.

JARA, E. R. P. **O poder calorífico de algumas madeiras que ocorrem no Brasil**. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT, 1989.

KISH, L. **Statistical design for research**. New York: Wiley, 1987.

LAZZARINI, S G. **Estudo de caso: Aplicabilidade e Limitações do Método para Fins de Pesquisa**. Econ. Empresa, São Paulo. 1995, v. 2, n.4.

MARGALEF, R. **Teoria dos sistemas ecológicos**. Ediciones Universitat Barcelona, 1993. 290p.

Ministério de Minas e Energia. **Diretrizes de Política de Agroenergia 2006-2011**.

Disponível em

www.mme.gov.br/mme/galerias/arquivos/programa/agroenergia/Diretrizes_de_Politica_de_Agroenergia.pdf . Acesso em 28 mai. 2012.

MITCHELL, J. Clyde. **A questão da quantificação na antropologia social**. In: FELDMAMBIANCO, Bela (org.). **Antropologia das sociedades contemporâneas**. São Paulo: Global, 1987. p.77-126.

PAIVA, S. C.; GOMES, E. A. O.; OLIVEIRA, R. A. **Controle de qualidade da cal para argamassas: metodologias alternativas**. UNICAP, Pernambuco, 2007.

PETROBRÁS. **Coque verde de petróleo**. Disponível em:

<http://www.br.com.br/wps/portal/portalconteudo/produtos/paraindustriasetermeltricas/coqueveredepetroleo/> . Acesso em 27 mai. 2012.

PRATES, C. P. T. *et al.* **Evolução da oferta e da demanda de gás natural no Brasil**. Rio de Janeiro: BNDS Setorial, 2006. p. 35-68.

REIS, L. B.; FADIGAS, E. A. A.; CARVALHO, C. E. **Energia, recursos naturais e a prática do desenvolvimento sustentável**. 1 ed. Barueri, SP: Manole, 2005. 415 p.

Remade. **Carvão Vegetal**. Disponível em:

http://www.remade.com.br/br/madeira_energia.php?num=2&title=Carv%E3o%20Vegetal .
Acesso em 07 nov. 2012.

SACHS, I. **Caminho para o desenvolvimento sustentável**. Rio de Janeiro: Garamond, 2002. 95 p.

SANTOS FILHO, J. C. dos. **Pesquisa quantitativa versus pesquisa qualitativa: o desafio paradigmático**. In: SANTOS FILHO, J. Camilo dos; GAMBOA, Silvio Sánchez. **Pesquisa educacional: quantidade-qualidade**. 4. ed. São Paulo: Cortez, p.13-59, 2001.

SILVA, J. O. **Ministério de Minas e Energia: Perfil da Cal**. 2009.

SOUZA, F. S. P. **Os impactos da atividade petrolífera nas dinâmicas Territoriais da Bacia de Campos - RJ**. 2004.

SPEIGHT, J. G. **New approaches to hydroprocessing: Catalysis Today**. Vol 98, 2004.

UHLIG, A.; GOLDEMBERG, J.; COELHO, S. T. **O uso de carvão vegetal na indústria siderúrgica brasileira e o impacto sobre as mudanças climáticas**. Revista Brasileira de Energia, Vol. 14, 2008.

VECCHIA, R. **O meio ambiente e as energias renováveis: instrumentos de liderança visionária para a sociedade sustentável**. 1ed. Barueri, SP: Manole, 2010. 334 p.

WALISIEWICZ, M. **Energia alternativa: solar, eólica, hidrelétrica e de biocombustíveis**. São Paulo: Pulifolha, 2008. 72 p.

YIN, R. K. **Estudo de Caso: planejamento e métodos**. 2.ed. Sao Paulo: Bookman, 2001.