

# O ESTUDO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA COMBUSTÍVEIS DO PROCESSO DE CALCINAÇÃO COM INFLUÊNCIA DA QUALIDADE DO PRODUTO FINAL (CAL)

SILVA, Sônia Amélia<sup>1</sup>  
MACHADO, Fábio<sup>2</sup>  
RU 2842250

## RESUMO

A humanidade vem evoluindo século após séculos, desenvolvendo habilidades incríveis de obtenção de energia. Diversos são os combustíveis e suas características são ímpares, tais como modelo de extração e conversão de seus atributos em energia. Nos dias atuais as preocupações dos órgãos responsáveis com o meio ambiente e o impacto causado por cada modelo de obtenção de energia, faz com que a procura por fontes de energia renovável com baixo degradação do meio em que as fontes são extraídas e da maneira que eles são convertidos. Apesar dessa preocupação ser bastante eminente, todos os tipos de combustíveis são proporcionalmente utilizados pelo fato de a demanda energética ser bastante alta, em setores de grande relevância no mercado econômico brasileiro, exemplo deles é a calcinação. O objetivo principal deste trabalho é apresentar as características dos processos e a conversão das matérias-primas, especificadamente o calcário, e o produto final que é a cal.

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

## 1 INTRODUÇÃO

Atualmente, a mentalidade de consciência ambiental e a sustentabilidade estão diretamente ligadas, mas valores apresentados por empresas de qualquer porte que seja. No entanto os processos produtivos precisam evoluir de maneira a diminuir os impactos causados pelos mesmos ao meio ambiente e a natureza ao redor da empresa. A sustentabilidade que se tornou um diferencial de mercado e atrai de maneira direta a competitividade entre as corporações, criou um certo fascínio por uma eficiência produtiva de maneira limpa.

Essa eficiência que as empresas buscam é caracterizada por fatores que diferenciam cada nível de produtividade e são apontados como diferenciais dentro do processo. Disponibilidade de ações, meios de transporte, nível de

---

<sup>1</sup> Aluno do Centro Universitário Internacional UNINTER. Artigo apresentado como Trabalho de Conclusão de Curso. 12/2021.

<sup>2</sup> Professor Orientador convidado para orientação pelo Centro Universitário Internacional UNINTER.

poluição emitida e valor de mercado da empresa, são fatores que dissipam e diferenciam as corporações no mercado de hoje. Dentro desses parâmetros adotados, os combustíveis energéticos se tornam mais ou menos eficientes, além de estudar o processo de adaptação de cada modalidade de extração e conversão dentro do processo produtivo estudado.

A opção de escolha da fonte que será utilizada no processo é de extrema importância e relevância dentro do processo e afetam de forma direta os resultados analisando em um âmbito geral. Custos de produção baixos, taxas de emissão de poluentes que são parâmetros que deveriam ser considerados, de maneira clara se tornam irrelevantes, pois a decisão de opção pela fonte de energia que melhor se adapta aos moldes de cada empresa é tomada analisando a política que a empresa emprega.

Com base nos combustíveis presentes em cada região, este trabalho tem o foco de analisar os de maior demanda que são os combustíveis fósseis, resíduos e subprodutos de petróleo, minerais e vegetais, tais como o carvão, buscando apresentar as vantagens e desvantagens da utilização dos tipos mais eficientes.

Dados bibliográficos e quantitativos do processo, vinculados com as informações qualitativas sobre o meio ambiente no qual são extraídas as matérias-primas são base da metodologia empregada neste trabalho.

## **1.1 Problema de pesquisa**

O processo produtivo da cal viva, requer um alto consumo energético e faz com que análises relacionadas ao modelo de extração e conversão de energia sejam estudadas, trazendo consigo diversos questionamentos, dentre eles a qual seria a melhor alternativa escolhida pelas empresas que possuem o processo produtivo, onde a empresa obteria o melhor efeito durante a trca do produto?

## **1.2 Justificativa**

Durante o processo produtivo da cal utiliza-se diversos materiais, cujas propriedades físicas e químicas são variadas, o que torna o processo

relativamente complicado. É de suma importância o setor responsável de cada empresa conhecer o valor energético de cada troca de energia presente no processo, o que faz com que produtos de maior qualidade sejam produzidos. Portanto, ao se analisar a energia contida nos combustíveis presentes no processo de produção, trará informações de qual a melhor alternativa energética para converter as matérias-primas em produtos finais, levando em consideração a poluição gerada no processo de conversão e as dimensões econômicas que cada um desses fatores traz no processo, de maneira a não afetar a qualidade do produto.

### **1.3 Hipótese**

Os estudos ligados ao processo produtivos, juntamente com a análise dos combustíveis utilizados, trazem a possibilidade de melhoria na eficiência da produção da cal, por meio de uma atuação direta no processo.

### **1.4 Objetivos**

#### **1.4.1 Objetivo Geral**

Com objetivo principal de avaliar o consumo energético do processo de produção da cal virgem na empresa Gecal Industria e Comercio de Produtos Minerais LTDA, situada na cidade de Pains-MG, sugerindo a inserção de combustível que desprenda de um melhor rendimento energético e influencie de maneira positiva o processo de fabricação, juntamente com a qualidade da cal.

#### **1.4.2 Objetivos específicos**

- Apresentar e analisar os combustíveis energéticos disponíveis no processo de produção da cal virgem;
- Estudar o nível energético presente nos principais combustíveis associados ao processo de calcinação da cal virgem;
- Apontar de maneira clara o combustível que traz o produto de mais alta qualidade;

- Sugerir a aplicação do combustível apontado como mais eficiente considerando os valores ambientais.

## **2 DESENVOLVIMENTO**

### **2.1 Matéria e Energia**

De acordo com César, Sezar e Bedaque (1995) o universo é tem em sua composição matéria e energia, ambas estão diretamente ligadas, onde a energia é responsável pelas mudanças sofridas pela matéria. Todo elemento que ocupa espaço considera-se matéria e tem por definição um princípio de que as moléculas que tem como base os átomos, são a menor parte da matéria e conservam suas propriedades. A molécula de sal de cozinha (cloreto de sódio), por exemplo, tem em sua composição átomos de cloro e sódio, que em sua combinação a matéria é formada.

Pode-se afirmar que energia:

Faz parte de um sistema onde a realização de trabalho é efetiva. A energia tem diversas formas (calor, eletricidade, eletromagnetismo, mecânica, química, radiação, entre outras), onde a transformação de uma em outra se faz presente e cada tipo é capaz de desencadear fenômenos bem determinados e característicos no sistema físico. Todas as formas de energia têm o aproveitamento total da mesma, portanto pode-se dizer que energia não se cria, se transforma, este é o pressuposto do primeiro princípio da termodinâmica (AURÉLIO, 2000).

Dentro os princípios da termodinâmica que tem como seus principais fundadores Mayer, Boltzmann e Clausius, que fundamentaram as leis da termodinâmica. A primeira lei, conhecida como Lei da Conservação de Energia, aponta que toda energia envolvida no processo é conservada, convertendo uma modalidade de energia em outra (CAPRA, 2002).

### **2.2 A historicidade da energia**

Desmistificar os segredos do universo sempre foi um grande desafio para humanidade, desde o princípio dos tempos. Capacidade de explorar o calor do sol, quais são os milhares pontos luminosos vistos no céu a noite e a qual distância estão do planeta Terra. Quando essas indagações se fazem presentes, a resolução delas levam ao estudo de questões bem mais complexas,

estimulando assim o estudo e a exploração de todo o conhecimento sobre o universo (BAROLI, FILHO, 1991).

Segundo César, Sezar e Bedaque (1995), todas as atividades relacionadas a ciência são tão antigas quanto a humanidade e a busca incessante pela compreensão e o domínio da natureza está diretamente ligada ao histórico da humanidade. Com o passar dos tempos, todos os avanços tecnológicos surgiram para auxiliar o sustento e a adaptação das pessoas, porém não foram capazes de evitar os problemas causados pela escassez de recursos que obviamente irão afetar o planeta no futuro.

Por um período grande na história, a falta de conhecimento e recursos, trouxe a força muscular como sendo a única forma de energia a ser utilizada. Nos tempos atuais apenas 1% de todo trabalho é desenvolvido por músculos. Em um período de aproximadamente cem mil anos atrás, com a descoberta do fogo, os seres humanos caçadores da época, introduziram a madeira como recurso para obtenção de energia através do calor, energia essa que era utilizada para o cozimento de alimentos e geração de uma fonte de calor quando os períodos eram de frio extremo (REIS, FADIGAS E CARVALHO, 2005).

Durante milhares de anos a evolução da raça humana se tornou um processo inteiramente ligado a ao consumo de meios energéticos e a transformação dos tipos de energia. O cultivo da agricultura ocasionou a mudança do ambiente fazendo com que o consumo de energia se tornasse de certa forma maior do que os recursos energéticos presente no meio ambiente (VECCHIA, 2010).

A madeira durante muito tempo se fez como a principal fonte de energia sendo consumida em todos os processos energéticos (REIS, FADIGAS E CARVALHO, 2005).

No entanto, surgiu na Europa em meados do século XVI, exatamente pelo alto consumo de energia, conseqüentemente um excesso de consumo de madeira, causando grandes erosões e desmatamento, elevando consideravelmente o preço dos insumos energéticos.

Entremeio a essa crise ecológica, surge uma busca incansável por recursos que iriam substituir a madeira na geração de energia.

A Revolução Industrial, atrelada ao avanço da tecnologia mundial, trouxe pensamentos e ações que expandiram os estudos e a utilização de novas fontes

de geração de energia, tornando o carvão mineral a principal fonte energética na Europa.

O crescimento mundial juntamente com a era do carvão fez com que esse recurso dominasse de maneira clara a matriz energética mundial, tanto que no final o século XIX, este recurso participava de maneira direta em 53% do consumo de energia primária total no mundo (VECCHIA, 2010).

Ao optar pelo recurso do carvão mineral os resultados obtidos não foram tão satisfatórios, pois o carvão não tem a mesma eficiência energética da madeira, tem um processo de extração mais complicado, seu armazenamento requer condições, tantos estruturais quanto climáticas favoráveis, seu transporte deve ser feito de maneira correta, além de ser uma fonte de energia que emite níveis alarmantes de poluição.

Subsequentemente a era do carvão, passou-se por um momento transitório para o petróleo e diferentemente do momento de mudança da madeira para o carvão, essa transição não ocorreu por escassez de recurso, mas sim pelo fato de que essa matéria prima energética é de maneira clara mais econômica e bem mais eficiente e juntamente com o petróleo o gás natural foi rapidamente inserido no cenário energético mundial (VECCHIA, 2010).

Após o término da Segunda Guerra Mundial, a fonte energética nuclear surgiu como opção para países cujas reservas de petróleo era escassas. Em contrapartida o restante dos países não se preocupavam com recursos energéticos, devido à presença abundante de petróleo em seus territórios ou nas proximidades. Porém nos períodos de 1973 e 1979 duas crises petrolíferas, apresentaram extrema volatilidade nos preços e fez com que os estudiosos de geração de energia, percebessem a necessidade de uma variedade maior de fontes de energia (VECCHIA, 2010).

Reis, Fadigas e Carvalho (2005) apontaram que as fontes energéticas foram se esgotando e como de maneira explícita nenhuma tem o poder de substituir integralmente a outra, pois cada uma tem sua parcela de contribuição para o mercado, com maior ou menor participação devido a disponibilidade de recursos, preço de aplicação, políticas de governo e leis ambientais presente em cada país que são extraídas.

Com o passar dos tempos o desenvolvimento tecnológico que a primeiro momento parece ser ilimitado, traz consigo um problema extremamente crônico

que é o colapso ecológico. O desenvolvimento mundial se baseia na quebra de qualquer obstáculo através de avanços tecnológicos, porém como tudo tem um preço, o impacto e a degradação ambiental tem sido gigantesco (CUNHA et al., 2003).

Devido a todo esse contexto contrário a questões ambientais o desenvolvimento sustentável surge como alternativa de solução para a transformação métodos de geração de energia utilizando as chamadas energias renováveis, afim de eliminar as fontes que são agressivas ao meio ambiente e trazer à tona a utilização de fontes de energia limpa e reciclável.

### **2.3 A Cal**

O histórico da cal se faz através do estudo de tempos da Idade da Pedra, no Período Paleolítico, até o final do Período Pliocênico. Relatos contam que na Pirâmide de Shersi no Tibet foram encontrados ruínas em que o solo argiloso era estabilizado com a cal. Assim como na construção das famosas Pirâmides do Egito, havia a presença de cal tanto nas juntas dos blocos quanto na vedação das câmaras (GUIMARÃES, 2002).

A utilização da cal está presente em todos os percursos e períodos da humanidade, desde a construção da Muralha da China em terras argilosas datado em 228 a.C., até da elaboração das estradas romanas na Inglaterra, em 120 d.C. Os países mais desenvolvidos particularmente França, Inglaterra e Alemanha, países onde a evolução industrial nos séculos XIX e XX, explodiram de maneira rápida e inerente a utilização da cal em diversas áreas. No Brasil esse processo foi um pouco mais lento, onde até em meados do século passado país estava atrasado, porém de lá em diante a utilização desse recurso que é de suma importância em diversas áreas se tornou igual com referência nos países mais desenvolvidos mundialmente (GUIMARÃES, 1998).

Alguns órgãos e associações regem a produção desse material que é fortemente utilizado em vários setores comerciais. A ABPC (Associação Brasileira dos Produtores de Cal), divide os produtores em quatro tipos. O integrado, que utiliza suas próprias minas de calcário para produzir seu produto. O não integrado que apenas utiliza calcário para produzir cal. Os transformadores que compram a cal de outros produtores, apenas para moer e

produzir a cal hidratada e os cativos que produzem a cal para consumo próprio, como siderúrgicas.

A região Sudeste do Brasil detêm a maior parte da produção de cal do país. Minas Gerais tem o maior polo de extração de calcário do Brasil e a região centro oeste do estado é responsável pela produção de 1 milhão de toneladas por ano. Dentre as cidades que se destacam na produção, Arcos, Formiga e Pains são os maiores produtores. Vale ressaltar que Bahia, Paraná, Mato Grosso do Sul e Ceará possuem reservas de calcário dolimítico de excelente qualidade contribuindo de maneira relevante para o setor industrial (PAIVA, GOMES, OLIVEIRA, 2007).

Basicamente a calcinação se dá pelo ato de transformar o carbonato ( $\text{CaCO}_3$ ) e óxido de cálcio ( $\text{CaO}$ ), onde no calcário calcítico esse processo ocorre em temperaturas médias de  $900^\circ\text{C}$  e  $1000^\circ\text{C}$  (AURÉLIO, 2000).

Três tipos de fornos podem ser encontrados no processo, vertical, horizontal e cama. Cada tipo de forno se refere a um modelo de calcinação o que interfere diretamente no resultado final, tendo a relevância financeira em vigência também. Dentre os modelos o vertical é o mais comum (FILHO E SCUPIÃO, 2004).

De acordo com Silva (2009) vários tipos de fornos são utilizados na produção da cal, diferindo-se de acordo com o processo, a sofisticação tecnológica e viabilidade financeira da empresa.

Alguns modelos tais como, forno de canal descontínuo, forno de canal contínuo, forno de metal com câmara única, forno AZBE, forno de metal vertical com vários tanques e fluxos. Esses modelos tem suas entradas, onde o calcário é pré-aquecido em sua parte superior, ao adentrar nas zonas de temperatura, o calcário é mais aquecido e calcinado após atingir o seu ideal. O procedimento final é a saída na área de descarga, onde o material é resfriado.

Este processo tem um desempenho fraco, está relacionado à uma calcinação pobre, ou a um tempo de exposição a uma temperatura de processamento maior do que o que leva o produto a obter uma qualidade diferenciada, tornando a cal inadequada ou fora do padrão de especificação.

Saindo do forno, a cal é destinada a um processo de qualificação e separação do produto passando por diversas peneiras que diferenciam o tamanho do produto.

Existem processos que são realizados também após a cal estar pronta, onde se obtêm materiais mais finos e hidratados para diferentes aplicações em diferentes setores industriais.

A cal e suas diversas formas e derivados, é um produto de extrema importância no histórico industrial da humanidade.

Chang (1994) diz que:

De maneira clara o maior consumo de cal se faz pela indústria de aço, onde o material é utilizado para remover as impurezas ácidas dos minérios de ferro. Outro papel extremamente importante da cal é no controle de poluição da atmosfera e no tratamento de águas onde a mesma neutraliza os ácidos presentes na água e de maneira mais branda a cal é utilizada na indústria alimentar (CHANG, 1994, p 258).

Outro setor onde a cal é bastante utilizada é na construção civil, onde o material serve como base para diversos compostos, tais como: argamassa e tintas. Tem grande utilização também na construção de estradas e rodovias, onde é aplicada com intuito de estabilizar solos em baixa capacidade de compactação, e no asfalto, aumentando a durabilidade do piche que é o principal revestimento aplicado no asfalto (ABPC, 2008).

A cal aplicada na siderurgia e metalurgia é composto ativo da fabricação do aço, alumínio e metais não ferrosos. Na indústria química, a cal é usada como carbonato de cálcio precipitado de entrada, carboneto de cálcio, propeno, cloreto de cálcio, hipoclorito de cálcio e outros elementos (ABPC, 2008).

Na produção de celulose, a cal, tem papel importante na redução da acidez, é utilizada para derreter vidrarias, produção de refratários que são utilizados nos próprios fornos de calcinação, borracha entre outros materiais. Na indústria de alimentos é utilizado nos setores sucroalcooleiro, cítrico e lácteos, atuando como acidez e clarificante, e na produção de fósforo para ração animal (ABPC, 2008).

O processo de calagem que é bastante utilizado na agricultura como corretor do pH do solo tem como base composta a cal. Considerado também rica fonte de cálcio para fertilizantes e adubos (ABPC, 2008).

Em assuntos ambientais e de saúde o calcário atua como bactericida e desinfetante ambiental. É um elemento fundamental no tratamento de água para uso público e contribui de maneira efetiva para redução da incidência de chuva ácida (ABPC, 2008).

### 2.3 Os combustíveis do processo de calcinação

O principal objetivo de toda combustão é a obtenção de energia térmica. Energia esta que fornecerá temperatura suficiente para a transformação de matéria prima em produto final. Diversos são os fatores que influenciam a eficiência da combustão e dentre eles podemos citar:

- Preparação, dosagem e distribuição do combustível a ser utilizado no processo, alinhados ao nível de oxigênio disponível para alcançar o ponto de combustão;
- O tempo de residência para a combustão deve ser suficiente, ou seja, a combustão deve ser concluída no sistema de pré-calcinação, porque na próxima etapa, as temperaturas mais baixas do gás são menos favoráveis à combustão do o calor liberado não é mais aplicado em um nível ideal;
- O fluxo de ar e combustível deve ser o mais favorável possível à combustão;
- Uma grande quantidade de matéria-prima perto do início da combustão torna isso consideravelmente difícil.

Vários tipos de combustíveis são utilizados no processo de calcinação e o consumo dos mesmos depende do tipo de forno utilizado para o processo. O combustíveis mais comuns são coque de petróleo que é um subproduto da indústria petrolífera, madeira, óleo combustível e minerais e vegetais. Alguns desses combustíveis tornam inviável a queima e o processo de calcinação devido ao seu alto custo (SILVA, 2009).

Dentre os combustíveis mais comuns o coque é o que possui o maior poder calorífero e o do menor custo o que aumentou a produção consideravelmente devido à grande utilização no processo de calcinação (SPEIGHT, 2004).

Assim, a alta disponibilidade de óleo torna o coque combustível muito atraente. A aplicação do CVP (ciclo de vida e produto) é feita de acordo com a combinação das características com o processo industrial.

O mercado CVP é muito grande, sendo os principais aços, abrasivos, ferro fundido, ferro ligas, cerâmica, cimento, usinas termoelétricas a carvão, fundição,

calcinação, gaseificação, secagem da indústria química de grãos. O baixo teor de enxofre é característico do CVP produzido no Brasil. (PETROBRAS, 2012)

A mistura de hidrocarbonetos leves traz um composto bastante utilizado que é o gás natural, onde a composição do gás varia de acordo com o processo produtivo ao qual o mesmo passa, métodos de embalagens e transporte por exemplo. Pode ser encontrada em terra através de campos de petróleo.

Três estados são os responsáveis pela maior produção do gás natural, Rio de Janeiro, Bahia e Amazonas, devido à localização das reservas. Juntos os três estados são responsáveis por 76% da produção brasileira, onde metade dessa porcentagem se encontra no Rio de Janeiro (PRATES, 2006).

Outro combustível de grande relevância no processo de calcinação é a madeira, que por décadas foi o mais utilizado e de maneira clara era o mais eficaz.

De acordo com o Ministério de Minas e Energia (2012), a extração de madeira para o processo de calcinação representa 35% do consumo total dessa matéria prima.

Com mais de 700 espécies diferentes, a madeira de eucalipto tem aproximadamente três milhões de hectares plantados em Minas Gerais, que é o estado com maior área cultivada, cerca de 2% do seu território (MME, 2012).

Em termos energéticos a madeira como combustível tem diversas vantagens, pois o clima do Brasil é favorável ao plantio de espécies como o eucalipto que são utilizadas como combustível no processo de calcinação, além de diversos investimentos em tecnologias avançadas para aumentar o hectare produzido obtendo assim uma maior densidade de material energético.

Outro combustível utilizado no processo de calcinação é o óleo combustível que são bastante utilizados para o aquecimento de fornos e caldeiras. Esse tipo de combustível é a parte restante da destilação de corte obtida por vários processos de refino e são classificados em dois tipos, grupo A e grupo B (PETROBRAS, 2012).

O grupo A é obtido 5% em massa do conteúdo máximo e o grupo B apenas 1%. Cada um desses dos tipos de óleo é separado em 9 classes que são diferenciadas pela viscosidade do óleo. No processo de calcinação, os óleos mais utilizados são BTE e BPF (SILVA, 2009).

Outro combustível utilizado é o carvão vegetal que é obtido através da mistura de orgânicos sólidos. Encontrado fossilizado por milhões de anos como os demais combustíveis usados, a qualidade do carvão varia de acordo com o carbono encontrado em sua composição, juntamente com os estágios dos componentes encontrados no mesmo (PETROBRAS, 2012).

Turfa, Lignita, Betume, Antracito são os tipos de carvão mineral e são diferidos pelo teor de carbono contido em sua composição. Turfa possui 45% de carbono, Lignita tem entre 60% e 70%, Betume com 75% e o Antracito considerado o mais puro possui 90% de carbono. Na calcinação o mais utilizado é o Betume e sua extração varia de acordo com o solo no qual é extraído e a profundidade que o material é encontrado, esses fatores interferem diretamente no custo do processo (ANEEL, 2004).

O setor calcário utiliza o carvão em grande escala, porém os setores que mais utilizam esse tipo de combustível são os de produção de ferro-gusa, ferroligas, e na fabricação de cimento que tem a cal como matéria prima (UHLIG, GOLDEMBERG, COELHO, 2008).

Os estados que possuem o maior polo produtivo de carvão vegetal são Bahia, Mato Grosso do Sul, Maranhão, Goiás e Minas Gerais. Esse combustível é uma fonte de energia renovável e bastante abundante no território brasileiro, provindo de florestas nativas que tiveram um aumento considerável de plantio. Porém, na década de 80 a produção girava em torno de 85% e no último levantamento feito no ano de 2006 esse valor foi reduzido para 49% (UHLIG, GOLDEMBERG, COELHO, 2008)

#### **2.4 O poder calorífico de cada combustível**

Segundo Jara (1989) o valor calórico de cada combustível é definido como a quantidade de energia formada a partir de calor emitido pela combustão de uma unidade de massa. É definido por superior, quando é realizado por um volume constante e temos formação de água durante todo processo e o inferior que está disponível por unidade de massa de combustão.

Um comparativo do poder calorífico inferior (PCI) dos combustíveis citados neste estudo pode ser visto na FIG 1.

Figura 1 - Poder calorífico

Combustível	PCI
Coque	7200 kcal/kg
Gás Natural	9065 kcal/m <sup>3</sup>
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 (Cambui/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: Aalborg Industries, 2012.

Pode-se observar que há variações entre os mesmos tipos de combustíveis, o que ocorre devido a alguns fatores específicos de cada região onde o combustível está localizado, além de suas características caloríficas, a disponibilidade de cada combustível, instalação e distância e localização de transporte, bem como seu valor financeiro e impacto ambiental, então analisados (AALBORG INDUSTRIES, 2012).

## 2.5 Relação entre o combustível mais eficiente e o processo

Utilizando-se da GECAL uma empresa bastante renomada no centro oeste mineiro como base, o sistema de combustão é do tipo gasoso, onde a madeira de eucalipto espécie utilizada pela abundância do plantio dessa madeira na região, a fim de abastecer os diversos fornos de cal situados entre as cidades de Formiga, Arcos, Córrego Fundo e Pains. A tora de madeira é adicionada a um recipiente e o gás resultante da combustão é exaurido para o calcário, transformando a matéria prima em produto final

A metodologia de combustão utilizada nesses processos de calcinação não traz um impacto tão significativo quanto parece, pois a longo prazo o valor financeiro do investimento feito no modelo de combustão se torna desprezível.

A eficácia de cada combustível sofre influência de diversos aspectos que devem ser analisados individualmente, mas, todos eles são analisados de forma vantajoso, porque senão fossem benéficos ao processo os mesmos nem seriam citados em projetos de fornos de queima de calcário.

Em relação ao custo benefício o carvão mineral sai na frente dos demais, pela grande quantidade disponível ao acesso, porém deixa bastante a desejar no quesito eficiência, por ser um combustível reaproveitável e com índice de poluição elevadíssimo. Para solucionar os impasses ambientais que o carvão mineral causa, filtros são instalados no fornos a fim de amenizar o impacto, porém os filtros geram um custo adicional elevado muita das vezes.

Entre os combustíveis analisados o coque é o que tem a maior capacidade calorífica, porém também é o recurso de maior custo dentro os estudados, o que justifica sua alta eficiência, pois é produzido em maior apesar do alto custo. Outra desvantagem desse combustível é que como o carvão, ele tem o fator de origem fóssil e é exposto a qualquer tipo de petróleo, o que afeta diretamente a sua disponibilidade e preço.

A espécie de madeira do eucalipto é a alternativa mais abundante na região estudada e a que mais é comercializada. Porém, esse combustível é o que tem a menor capacidade de calor, o que faz com que uma maior quantidade desse material seja necessária para finalizar o processo em relação aos outros combustíveis em questão.

Conforme citado, a escolha pelo combustível mais viável para o processo deve ser feita de maneira a encontrar o que mais se adequa a região onde está ocorrendo o processo de calcinação, o que tende a fixar um determinado modelo de combustão para cada região. Na região Sudeste do Brasil onde se encontra o maior centro de extração e processamento da cal o combustível madeira é o mais utilizada, pela abundância do mesmo na região em questão. O custo operacional para implantação desse método tende a ser menor o que viabiliza a utilização do mesmo, apesar de ser o que menos desprende energia através do calor.

Além desses fatores, existe também a geração de autossuficiência energética, se for cultivado o próprio negócio, o que pode aumentar os custos com o tempo, mas estabilizar o processo no clima.

### 3 METODOLOGIA

Quando se trata de metodologia de estudo de um trabalho ou artigo, é importante frisar, a metodologia utilizada durante a execução do mesmo. Atendendo os objetivos de análise dos teores energéticos, eficiência e qualidade dos combustíveis disponíveis e quais os mais adequados para o processo produtivo da cal virgem na empresa estudada em questão. O embasamento teórico se deu através de pesquisas qualitativas e quantitativas.

Pesquisa qualitativa é adaptada ao estudo feito de maneira adequar-se ao espectro de métodos e de técnicas utilizadas por diversos autores diferentes, não seguindo de maneira fiel a um único modelo, o que faz com que o executor estude de maneira geral todos os embasamentos teóricos a respeito do tema (FLICK, 2000).

De acordo com Kish (1987) três modelos de coleta qualitativa são utilizados para execução de um trabalho. Observação, experimentação e investigação, são os modelos de análise utilizados ao se trabalhar com um modelo qualitativo.

Já a pesquisa quantitativa é caracterizada através de análises estatísticas, onde se estuda os níveis e a intensidade de utilização de cada modelo, através de opiniões, costume e hábitos (GOODE & HATT, 1969).

Mitchell (1987) afirma que:

A principal característica dos métodos quantitativos é de fato ser um instrumento auxiliar para descrever uma situação ou processo. Estudam e focalizam uma maior quantidade de detalhes e suas particularidades, juntamente com os dados coletados e informados pelo executor do artigo. Médias, taxas, porcentagens são os principais pontos analisados e são de maneira clara um resumo fiel das relações e dados analisados durante a execução do trabalho (MITCHELL, 1987, p. 81-82).

O alinhamento das abordagens qualitativas e quantitativas, trazem resultados bastante satisfatórios para o estudo de caso específico. A utilização de teorias já provadas juntamente com dados estatísticos reais sobre o processo estudado trazem resultados extremamente pertinentes ao estudo. Portanto, o artigo aponta de forma real que ambos os modelos de pesquisa se completam e mostra o quanto essas duas metodologias são utilizadas por diversos atores (SANTOS, 2001).

De acordo com Yin (2001) um estudo desse modelo deve abordar diferentes pontos que fazem com que o trabalho se torne relevante e pode ser utilizados como base de outras pesquisas futuras, pois durante a execução se produz um grande número de informações e variáveis que tem potencial a serem mais aprofundadas.

O estudo em questão foi realizado na empresa de calcinação Gecal Industria e Comércio de Produtos Minerais LTDA, situada em Pains – MG durante um certo período do ano de 2021.

A Gecal é uma empresa 100% nacional, sociedade por cotas Limitada, fundada em 15/05/1985, 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 e instalada em amplo espaço físico.

A empresa é certificada na norma ISO 9001:2008 desde 2012, a Gecal é situada no centro-oeste mineiro, mais especificadamente na cidade de Pains, pequena cidade centralizada em um polo 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.

Uma coleta de dados especifica voltada para o tema abordada foi feita de maneira a apresentar informações que podem pontuar e justificar a utilização dos recursos e processos utilizados pela empresa em questão. Os resultados obtidos durante o estudo são parâmetros que podem ser analisados e aplicados pelos gestores da empresa estudada.

#### **4 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

De acordo com a abordagem feita neste estudo, observa-se a importância do estudo analítico dos combustíveis disponíveis para o processo de calcinação através de insumos minerais, renováveis ou não.

A escolha do método de abastecimento dos fornos se dá pela disponibilidade do combustível na região ao qual a cal será produzida e a viabilidade financeira da utilização do mesmo. Porém, a análise ambiental também deve ser considerada, por motivos óbvios, pois ao se desmatar uma floresta de eucalipto, por exemplo, que é uma das espécies de madeiras mais utilizadas no abastecimento dos fornos, diversos impactos ambientais são causados na área desmatada. Por isso a escolha de combustíveis renováveis é analisada de forma mais correta.

De fato, todos os tipos de combustíveis tem suas vantagens e desvantagens dentro no cenário, portanto o fator mais relevante ao se fazer a escolha, é a viabilidade financeira e disponibilidade do mesmo no território onde o processo de calcinação ocorre.

O estudo da eficiência energética abordado neste trabalho também tem grande relevância e varia de acordo da localização da empresa, o que difere diretamente no preço do combustível utilizado, dentre outros fatores.

Diversas medidas são tomadas a fim de melhorar o rendimento e a disponibilidade do combustível na região da calcinação, o que gera empregos e amplia as instalações das empresas.

Contudo pode-se dizer que é de suma importância do estudo detalhado do combustível a ser utilizado no processo de calcinação, a fim de reduzir custos, maximizar o processo de geração energética e viabilizar cada vez mais tanto o processo de calcinação quanto o processo de extração da matéria prima que irá abastecer os fornos do processo.

## REFERÊNCIAS

- Aalborg Industries S.A. **Poder calorífico inferior**. Disponível em: [www.aalborgindustries.com.br/downloads/poder-calorifico-inf.pdf](http://www.aalborgindustries.com.br/downloads/poder-calorifico-inf.pdf) . Acesso em 28 out. 2021.
- 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 out. 2021.
- 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 out. 2021.
- 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>. Acesso em: 20 out. 2021.
- 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](http://www.mme.gov.br/mme/galerias/arquivos/programa/agroenergia/Diretrizes_de_Politica_de_Agroenergia.pdf) . Acesso em 28 out. 2021.

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 out. 2021.

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](http://www.remade.com.br/br/madeira_energia.php?num=2&title=Carv%E3o%20Vegetal). Acesso em 07 nov. 2021.

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: