

CENTRO UNIVERSITÁRIO DE FORMIGA – UNIFOR - MG

CURSO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO
PAULO RICARDO VIANA

**ESTUDO SOBRE A VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA, DA REUTILIZAÇÃO
DE UM RESÍDUO NO PROCESSO DE FABRICAÇÃO DA CAL HIDRATADA.**

FORMIGA – MG

2016

PAULO RICARDO VIANA

ESTUDO SOBRE A VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA, DA REUTILIZAÇÃO
DE UM RESÍDUO NO PROCESSO DE FABRICAÇÃO DA CAL HIDRATADA.

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

Orientador: Ms. Elifas Levi da Silva.

FORMIGA – MG

2016

Paulo Ricardo Viana

ESTUDO SOBRE A VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA, DA REUTILIZAÇÃO
DE UM RESÍDUO NO PROCESSO DE FABRICAÇÃO DA CAL HIDRATADA.

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

BANCA EXAMINADORA

Prof^o Ms. Elifas Levi

Orientador(a)

Prof Bruno Moreira

Examinador

Formiga, 21 de Novembro de 2016.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, meu refúgio e fortaleza, pelo dom supremo da vida e por ter me abençoado nessa conquista.

Agradeço a minha amada esposa, um anjo que ilumina minha vida, pelo incentivo, dedicação, compreensão pelas ausências.

Agradeço aos meus pais e irmãos, meu porto seguro, exemplos de determinação, força, honestidade e ética e se doaram inteiramente para a concretização desse sonho.

Ao meu orientador Ms. Elifas Levi pela presteza, atenção e paciência com que direcionou as etapas a serem seguidas para a concretização deste estudo.

Agradeço aos amigos de sala, Ruggieri, João Paulo e Juliano, pela amizade, conhecimento compartilhado e por terem me feito acreditar que era possível mesmo nos momentos mais difíceis.

Agradeço aos todos os amigos que estiveram comigo esses anos em especial Mariana e Michell, a vitória é nossa!

RESUMO

A indústria de minérios no Brasil sempre teve representativa importância na criação de novos polos econômicos, integrando as regiões e desenvolvendo-as. Entre as fontes minerais, a cal possui grande relevância no mercado em termos de volume consumido e aplicabilidade. Ela está presente em quase tudo o que nos cerca, como na construção civil, no tratamento de água, na agricultura, na fabricação de produtos químicos e infinitas outras aplicações. O estudo em questão será desenvolvido e aplicado numa empresa de Calcinação, situada no município de Pains - MG, para preservar o nome da empresa a chamaremos de Bom Cal. O foco do estudo será a reutilização de um resíduo de cal, que nada mais é que a cal virgem desperdiçada durante o processamento por motivos de estoque alto, vazamentos ou problemas de manutenção. A cal hidratada resultante do resíduo de cal será monitorada através de análises químicas observando seu padrão de especificação de qualidade para comparação de resultados. Conclui-se que após resultado das análises todas as porcentagens garantiram a qualidade do produto, porém levando em conta que usando 30% de resíduo e não um valor inferior, menor será o gasto com matéria-prima e melhor o aproveitamento da mesma. Já nas análises econômicas, foi levado em consideração alguns indicadores econômicos para verificar a viabilidade do projeto. Durante o planejamento, notou-se a necessidade de compra de uma máquina (pá carregadeira) para fazer o transporte do resíduo da cal até a moega e a compra da própria moega. Esta máquina também entrou nos cálculos, considerando todos os seus gastos e economias dentro do processo. Embasado no cálculo de VLP, foi possível constatar que seu valor foi maior que zero, indicando que o projeto foi aceito. A TIR mostrou uma rentabilidade de 92% deste projeto. A TMA que é a taxa no qual o investidor considera que estará obtendo lucro foi de 15%, também conhecida como taxa de oportunidade e por fim o Payback, que é o retorno do investimento, foi calculado em torno de 1,1 anos. Os resultados dos indicadores econômicos evidenciaram boas expectativas de retorno econômico-financeiro. O estudo se baseou em um projeto com vida útil de sete anos.

Palavras chave: cal, reutilização e viabilidade.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Ciclo de industrialização da cal.....	20
Figura 2 - Extração de calcário.....	22
Figura 3 - Britagem.....	23
Figura 4 - Calcinação da cal.....	23
Figura 5 - Moagem em moinho bola e hidratador respectivamente	24
Figura 6 - Acondicionamento da cal	24
Figura 7 - Transporte cal à granel	25
Figura 8 - Fornos verticais.....	26
Figura 9 - Análise de CaO e MgO	38
Figura 10 - Análises de anidrido carbônico no aparelho de detector de infravermelho não dispersivo	39
Figura 11 - Análise granulométrica.....	40

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Diversidade de utilização da cal nas indústrias	18
Gráfico 2 - Níveis de óxidos não hidratados.....	42
Gráfico 3 - Níveis de anidrido carbônico	43
Gráfico 4 - Níveis de óxidos totais não voláteis.....	44
Gráfico 5 - Análise granulométrica	45

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Reserva e produção mundial de cal.....	17
Tabela 2 - Classificação das rochas carbonatadas cálcio-magnésias	27
Tabela 3 - Composição da cal.....	27
Tabela 4 - Exigências químicas para cal hidratada em argamassas.....	29
Tabela 5 - Exigências físicas para cal hidratada em argamassas.....	29
Tabela 6 - Resultados de análise técnica.....	41
Tabela 7 - Ganho Operacional	46
Tabela 8 - Custos Operacionais	47
Tabela 9 - Custos com a moega	47
Tabela 10 - Valor presente líquido	48
Tabela 11 -Valor presente líquido	49
Tabela 12- Valores finais encontrados	49

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
2 OBJETIVOS	13
2.1 Objetivo Geral	13
2.2 Objetivos Específicos	13
3 JUSTIFICATIVA	14
4 PROBLEMA	15
5 REFERENCIAL TEÓRICO	16
5.1 Sobre a Cal	16
5.1.1 Aplicações da Cal	17
5.1.2 O Ciclo Produtivo da Cal	19
5.1.3 Etapas do processo produtivo da cal (calcinação)	21
5.2 Tipos de fornos	25
5.2.1 Tipos de calcários	26
5.2.2 Tipos de cal	27
5.3 Cal Hidratada	28
5.3.1 O processo de hidratação da cal	29
5.4 Indicadores de análise de viabilidade técnica e econômica de projetos.	31
5.4 Taxa Mínima de Atratividade	32
5.4.1 Valor Presente Líquido	32
5.4.2 Taxa interna de retorno (TIR).	33
5.4.3 Tempo de retorno do investimento (Payback)	34
6 MATERIAL E MÉTODOS	36
6.1 Descrição da empresa	36
6.2 Tipo de pesquisa	36
6.3 Escolha da amostra	37
6.4 Análises técnicas	37
6.4.1 Óxidos de cálcio e magnésio	38
6.4.2 Anidrido carbônico	39
6.4.3 Granulometria	39
6.5 Análises econômicas da viabilidade do resíduo da cal	40
7 RESULTADOS E DISCUSSÕES	41

7.1 Resultados de análises técnicas	41
7.2 Resultados de análises econômicas	46
8 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	48
REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICAS	52
ANEXOS.....	54

1 INTRODUÇÃO

A indústria de minérios no Brasil sempre teve representativa importância na criação de novos polos econômicos, integrando as regiões e desenvolvendo-as. Entre as fontes minerais, a cal possui grande relevância no mercado em termos de volume consumido e aplicabilidade. Ela está presente em quase tudo o que nos cerca, como na construção civil, no tratamento de água, na agricultura, na fabricação de produtos químicos e infinitas outras aplicações. O Brasil ocupa o quinto lugar como o maior produtor de cal no mundo, produzindo no ano de 2014 um montante de aproximadamente 8 milhões de toneladas de cal. Deste modo, o nível de desenvolvimento de um Estado pode ser relacionado pelo volume da cal consumida.

Uma característica na formação de rochas da região centro oeste de Minas Gerais, é a homogeneidade do calcário que faz com que as indústrias instaladas na região tenham uma boa qualidade de matéria-prima, tornando a capacidade de produção e a qualidade na prestação de serviços os principais diferenciais competitivos deste mercado. A constante busca pela excelência dos serviços prestados pelas empresas de mineração de calcário, contribui para o aumento da concorrência gerada pelo mercado globalizado, cada vez mais intenso.

A necessidade de inovação, juntamente com a inserção de novas ideias dentro do processo produtivo da cal, gera para a empresa a minimização de gastos com manutenção e energia, diminui o custo de produção, maximiza os lucros da empresa, sem deixar de produzir um produto de qualidade. Dentro desta perspectiva, se faz necessário uma atenção aos desperdícios que possam ocorrer dentro do processo produtivo, elaborando uma nova aplicação sem precisar fazer o descarte dos mesmos.

O estudo em questão será desenvolvido e aplicado numa empresa de Calcinação, situada no município de Pains - MG, para preservar o nome da empresa a chamaremos de Bom Cal. O foco do estudo será a reutilização do resíduo da cal, que nada mais é que a cal virgem desperdiçada durante o processamento por motivos de estoque alto, vazamentos ou problemas de manutenção. A proposta é fazer a reutilização deste resíduo dentro do processo produtivo de fabricação da Cal Hidratada, que anteriormente era direcionada ao bota fora (entulho) de rejeitos da fábrica para ser descartada ou vendida a um preço bem inferior ao da cal virgem do processo. A cal hidratada resultante deste resíduo será monitorada através de

análises químicas observando seu padrão de especificação de qualidade para comparação de resultados.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Analisar a possibilidade de reuso do resíduo da cal, no processo produtivo de uma empresa.

2.2 Objetivos Específicos

- ✓ Diminuir os custos com matérias-primas e fazer reuso de um resíduo anteriormente descartado;
- ✓ Desenvolver o produto dentro das especificações;
- ✓ Definir a quantidade do resíduo da cal que não interfira na qualidade da cal hidratada;
- ✓ Analisar e comparar resultados obtidos nas análises laboratoriais;
- ✓ Analisar a viabilidade econômica de reuso da cal hidratada.

3 JUSTIFICATIVA

O estudo do assunto escolhido, visa a necessidade de se reutilizar um material anteriormente descartado, dentro do processo produtivo. O mercado atual necessita cada vez mais de inovações, para assim, promover uma maior competitividade e favorecer a lucratividade. Cada vez mais os clientes exigem de seus fornecedores um melhor acompanhamento de seus processos produtivos, portanto a contribuição deste trabalho advém no sentido de propor medidas para melhorar o processo produtivo, diminuindo os custos com matérias-primas e fazendo reuso de um resíduo anteriormente descartado.

Sendo assim, a proposta é minimizar os custos e principalmente o desperdício. As perdas dentro de uma produção, representam uma grande parcela em termos financeiros e requer tempo produzindo aquele produto, é com base nessa premissa que vemos que é imprescindível encontrar uma maneira de reutilizar o resíduo da cal.

4 PROBLEMA

Um dos maiores problemas enfrentados no processo produtivo da cal é o desperdício. A cal virgem percorre todo o processo de fabricação desde a extração do calcário até ao produto final, onde já estão agregados todos os custos de produção. Por motivos de estoque alto, vazamentos ou problemas de manutenção, parte da cal virgem é desperdiçada durante o processamento, e é direcionada ao bota fora (entulho) de rejeitos da fábrica. Essa cal perde grande parte do valor de mercado e recebe o nome de resíduo de cal, que em valores econômicos para empresa pode significar grande prejuízo. Diante deste cenário, seria possível e viável a reutilização deste resíduo no processo produtivo sem comprometer a qualidade do produto final?

5 REFERENCIAL TEÓRICO

Nesta seção será desenvolvida uma revisão bibliográfica sobre a cal, indicando suas aplicações, seu ciclo produtivo, as etapas do processo de calcinação, os tipos de fornos e cal e o processo de hidratação.

Pretende-se neste capítulo explicitar os indicadores de análise de viabilidade técnica e econômica de projetos como a taxa mínima de atratividade, o valor presente líquido, a taxa interna de retorno, tempo de retorno do investimento e índice de lucratividade.

5.1 Sobre a Cal

De acordo com dados históricos a fabricação de cal e o seu emprego, deram início nas civilizações egípcias, gregas e romanas, sendo a primeira informação escrita relativa à cal. A calcinação do calcário foi um dos processos de fabricação adotados por colonizadores, utilizando fornos escavados em barranco, com paredes de tijolo e fundo de carvão, durante 3 dias (SHREVE e BRINK; 1980).

Atualmente, através de pesquisas química, a produção da cal propagou-se de forma rápida em termos industriais, com um rápido controle técnico, e uma maior uniformidade da produção da cal com e um menor custo (SHREVE e BRINK; 1980).

As diversas áreas de consumo de cal no Brasil são abastecidas por mais de 200 produtores no país. As instalações destes produtores possuem capacidade de produção de 10 a 4000 toneladas de cal virgem/dia, e a capacidade instalada é de 9.000.000 de toneladas/ano (NUNES, 2014).

Segundo dados do Sumário Mineral do Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM) (2013), a respeito da produção mundial de cal de 2014 não sofreu nenhuma alteração em relação ao ano de 2013. A China continua no topo como a maior produtora mundial do produto, com uma participação de 65,7%. O restante da produção mundial está distribuído em mais de 20 países. No Brasil, a produção de cal corresponde a 2,3% da produção mundial, ocupando a quinta posição no ranking dos países produtores.

Conforme dados do Sumário Mineral do DNPM (2013), a Associação Brasileira dos Produtores de Cal (ABPC), associação que agrega 64% dos produtores de cal no país, indica que no ano de 2014 a produção de cal no país foi

de 8,1 milhões de toneladas. Se comparado ao ano de 2013 houve uma queda de 3,6% na produção nacional em 2014, que pode ser atribuída ao decréscimo da atividade econômica do país. A respeito de produção em 2014, não ocorreu alteração, a cal hidratada com 24% e a cal virgem com 76% da produção nacional.

As maiores empresas mineradoras de calcário e produtoras de cal no país, são: Mineração Belocal Ltda (grupo Lhoist do Brasil), Indústria de Calcinação Ltda-ICAL, Votorantim Cimentos SA, Mineração Lapa Vermelha Ltda, UNICAL Brasil e Cal Norte Nordeste – CNN. (DNPM, 2015).

5.1.1 Aplicações da Cal

O Brasil ocupa o quinto lugar como maior produtor de cal do mundo, ficando atrás apenas da China, Estados Unidos, Rússia e Japão, conforme demonstrado na TAB. 1 abaixo, onde (r) são os dados revisados; (p) os dados preliminares; (1) Comercializado; (2) Inclusive cal hidratada; (3) Somente cal virgem. Dentro do Brasil, sendo o estado de Minas Gerais responsável por quase 60% do montante da cal produzida (SILVA, 2009).

Tabela 1- Reserva e produção mundial de cal

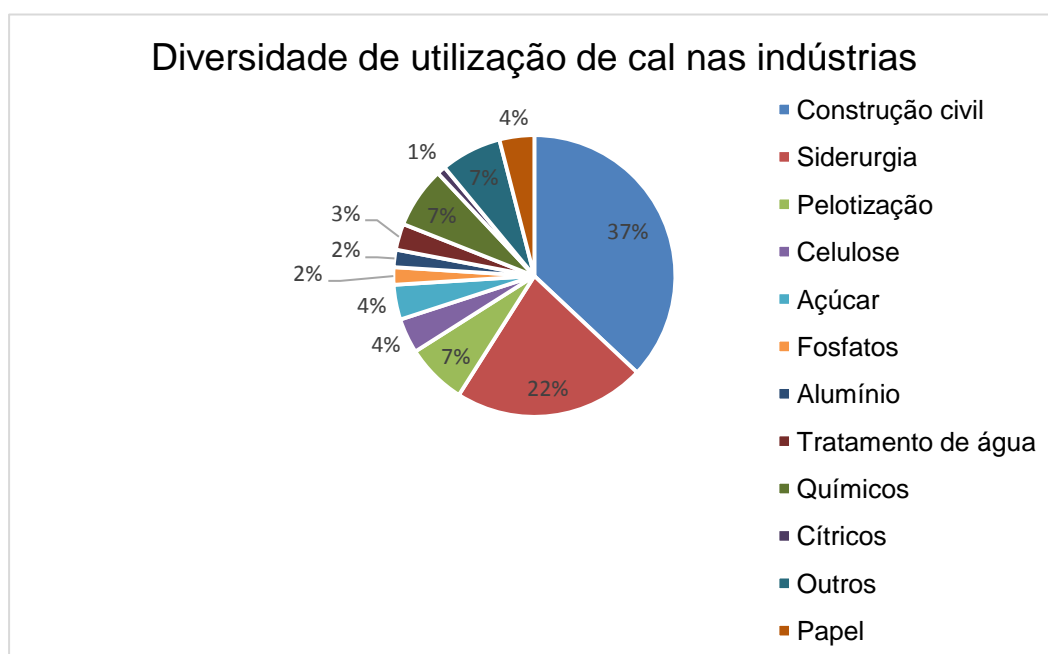
Discriminação	Produção 1.000 (t)			
	Países	2013 (r)	2014 (p)	%
Brasil		8.400	8.100	2,4
China		230.000	230.000	69,3
Estados Unidos		19.200	19.000	5,7
Índia		16.000	16.000	4,8
Rússia		10.800	11.000	3,3
Japão ⁽³⁾		7.600	7.600	2,3
Alemanha		6.700	6.800	2,0
Itália ⁽²⁾		6.200	6.300	1,9
Turquia ⁽¹⁾		4.500	4.500	1,4
França		3.900	4.000	1,2
Ucrânia		4.200	3.600	1,1
Outros países		14.100	15.000	4,5
TOTAL		331.600	331.900	100,0

Fonte: Associação Brasileira dos Produtores de Cal (ABPC), USGS – Mineral Commodity Summaries – 2015.

De acordo com o GRAF. 1 a cal virgem possui várias utilidades em indústrias como siderúrgicas, papel e celulose, açucareiras, tintas, químicos, entre outros.

Nas siderúrgicas, segundo o Instituto TOTUM (2011), a cal é usada no preparo do minério de ferro, sendo usada para o agrupamento de sua fração superfina (pelotização), é aglomerante na sinterização do minério de ferro, matéria-prima aplicada na dessulfuração do gusa, em fornos siderúrgicos é usada como protetor do revestimento refratário, lubrificante e usada para neutralizar efluentes ácidos do processo. É, portanto, um produto muito versátil e utilizado em diversas indústrias, como demonstrado no Gráfico 1 (SILVA, 2009).

Gráfico 1 - Diversidade de utilização da cal nas indústrias



Fonte: NUNES, 2014.

Em indústrias de papel e celulose a cal virgem é essencial na caustificação do licor negro, agente redutor de acidez na produção de papéis alcalinos e branquear as polpas de papel.

Nas indústrias açucareiras, Mezaroba et al (2010) explica que a cal virgem é usada na caleação (a reação com o sulfito e com o ácido fosfórico (P_2O_5), formando sulfito e fosfato de cálcio insolúveis em pH neutro) que faz a remoção dos compostos fosfáticos, reduz a acidez e faz a clarificação do açúcar.

Na fabricação de tintas a cal é usada como integrante e como pigmento para mistura em água, destinadas às “caiações”.

Em relação a produtos químicos, na agricultura a cal é necessária na recuperação ou correção de solos ácidos com o método de calagem.

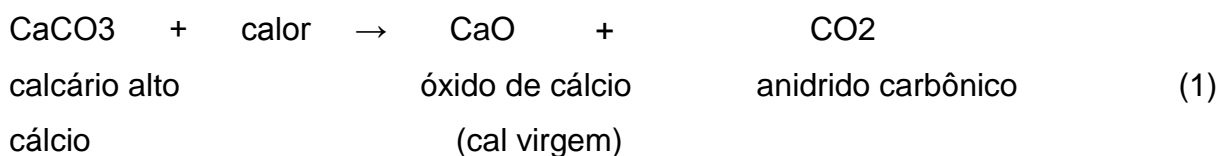
De outros tipos: composto de refratários, cerâmica, carbonato de cálcio precipitado, graxas, tijolos silicocal, petróleo, couro, etanol, metalurgia do cobre, produtos farmacêuticos e alimentícios e biogás.

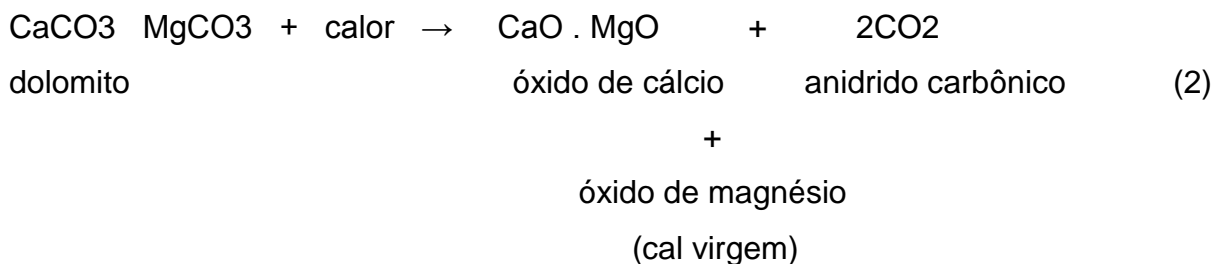
A cal é elemento constituinte de muitos outros produtos como: adesivos, selantes, adsorventes, biocidas, revestimentos, diluentes, betumes, gesso, explosivos, combustíveis, fluidos de transferência de calor e hidráulicos, produtos como reguladores de pH, floculantes, precipitantes, agentes de neutralização, produtos químicos de laboratório, curtimento de couro, lubrificantes, produtos farmacêuticos, misturas de cera, preparação de polímeros e compostos, produtos de limpeza, cosméticos, produtos de higiene pessoal, entre outros (ECHA, 2014).

5.1.2 O Ciclo Produtivo da Cal

A cal possui muitos benefícios sociais e econômicos e muitas utilidades, ela é derivada dos calcários calcíticos e dolomíticos e conchas calcárias. Ela é obtida através da calcinação, reação química simples que requer conhecimento para atingir um padrão de qualidade.

Através da dissociação térmica dos calcários e dolomitos é obtido, respectivamente, os óxidos de cálcio (CaO) e de magnésio (MgO), e anidrido carbônico como subproduto, como se pode observa nas Equações 1 e 2 (CINCOTTO, 1977 apud NIQUES, 2003 p. 6)¹:





A substância Óxido de Cálcio (CaO) quando hidratada (adicionando H₂O) é muito reativa e, forma a cal hidratada, que é utilizada como aglutinante na construção civil, dando liga a elementos como pedra, areia e cimento. (HILL,1997). Este processo de hidratação libera bastante calor.

Este processo de hidratação da cal usada como aglomerante, é realizado em altos fornos, normalmente, do tipo vertical, devido a sua alta eficiência, comparados aos demais fornos (BES, 2016). Para que este processo seja realizado, aumenta-se a temperatura do calcário (entre 900° C a 1200° C), para liberar o anidrido carbônico (CO₂) contido no carbonato de cálcio (CaCO₃) (HILL,1997). Através da equação 3 continua-se a aproximação para a hidratação:



Este ciclo poder ser compreendido de acordo com a FIG.1.

Figura 1 - Ciclo de industrialização da cal



Fonte: SOARES, 2007.

A FIG. 1 demonstra todo o ciclo de industrialização da cal, começando pela extração do calcário, que possui altos teores de carbonato de cálcio na sua composição. A descarbonatação é a separação do carbonato de cálcio em óxido de cálcio e dióxido de carbono, obtendo a cal virgem (óxido de cálcio). A adição de água no óxido de cálcio (hidratação) forma a cal hidratada ou hidróxido de cálcio. (NIQUES, 2003).

5.1.3 Etapas do processo produtivo da cal (calcinação)

Nunes (2014) defende que os custos da produção da cal virgem são determinados de acordo com os valores dos combustíveis empregados, da mão-de-obra, desvalorização do produto, juros, energia elétrica, controle de qualidade, seguros, impostos, administração, entre outros. A estabilização desses números segundo Boynton (1980), se torna inexecutável quando é levado em interesse as inúmeras variáveis efetivas: as porcentagens do minério disposto em forno, porcentagem do combustível necessário no processo, a porcentagem que era usada com mão de obra e outros fatores que fechavam a porcentagem em 100%.

Segundo Gutiérrez et al. (2012) a produção de cal constituída pelas etapas de extração de calcário, britagem de calcário e peneiramento, calcinação de calcário, moagem e hidratação da cal, acondicionamento e transporte. O ANEXO A ilustra o fluxograma completo da produção da cal.

A extração de calcário constitui-se na exploração da mina de calcário (FIG. 2a), podendo ser realizada por perfuração (FIG. 2b) para detonação de explosivos (FIG. 2c) ou com retroescavadeira em sistemas básicos de produção. Após o desmonte ocorre o carregamento, feito com carregadeiras, e o transporte (FIG. 2d) da matéria-prima até o britador, feito em caminhões (JOHN et al., 2014).

Figura 2 - Extração de calcário



Fonte: LHOIST, 2016.

Na britagem de calcário e peneiramento demonstrada pela FIG. 3 tem como finalidade fornecer partículas da rocha calcária com granulometria adequada ao forno da calcinação. É dividida em britagem primária e secundária com diferentes capacidades de redução da rocha, será identificada segundo a faixa granulométrica por meio de peneiras que separam o material destinado a calcinação, operação que exige bitola apropriada, das demais frações, que podem seguir para outros mercados, eventualmente após processamento adicional. O material britado é depositado ao ar livre em pilhas do tipo trincheira. O transporte até o local de calcinação é feito geralmente por correias transportadoras ou por caminhões. As partículas finas geradas não podem ser calcinadas, por isso são comercializadas como agregado ou para a produção de calcário agrícola (JOHN et al., 2014).

Figura 3 - Britagem



Fonte: VOTORANTIM, 2016.

Na calcinação de calcário ilustrada na FIG. 4 tende a descarboxar (remover o CO₂ combinado com os óxidos de cálcio ou magnésio) o calcário para a produção de cal virgem. Segundo John (2014, p. 6) “processo ocorre em fornos que operam em altas temperaturas (900 e 1200 °C).” Os tipos de fornos, tecnologias e combustíveis pode variar, ainda que o processo químico seja: calcário + calor = cal virgem + dióxido de carbono. Após a descarboxação, o produto é transportado para silos de estocagem anterior à moagem. A cal virgem estocada é encaminhada à moagem através de correias transportadoras (JOHN et al., 2014).

Figura 4 - Calcinação da cal



Fonte: LHOIST, 2016.

A moagem e hidratação da cal demonstrada na FIG. 5 é realizada em moinho bola com a função de diminuir a granulometria da cal virgem conforme à sua destinação final ou à hidratação. Após a moagem, o produto é transportado até o local de hidratação, que é feita em hidratadores demonstrado na FIG. 5. O processo

de hidratação exige um tempo mínimo para a cura do material, por isso requer um maior monitoramento, para evitar a ocorrência de reações exotérmicas e expansivas produto (JOHN et al., 2014).

Figura 5 - Moagem em moinho bola e hidratador respectivamente



Fonte: VOTORANTIM, 2016.

O acondicionamento segundo Jonh (2014, p. 6) “a última etapa é o acondicionamento para transporte FIG. 6 e 7, usando tecnologias de acordo com o produto, o mercado e o cliente. Na construção civil o produto é enviado em material ensacado e paletizado.”

Figura 6 - Acondicionamento da cal



Fonte: Votorantim,2016.

Figura 7 - Transporte cal à granel



Fonte: Lhoist, 2016.

5.2 Tipos de fornos

Segundo a Associação Brasileira de Produtores de Cal (ABPC) (2012), no Brasil as primeiras instalações da indústria da cal usavam fornos tipo “meda” e “poço”. No final do século XIX, os procedimentos foram substituídos por fornos de alvenaria, encostados em barrancos e manuseados com aspecto mais artesanais, mantendo a lenha como principal combustível. Somente nos anos 50 que começaram a utilizar fornos horizontais e verticais metálicos. O principal motivo que provocou o progresso dos fornos de cal, foi a necessidade de economia de combustível. Assim, surgiram novos modelos de fornos no mercado, utilizando o óleo combustível como fonte de calor e com menor quantidade de calor gasta na fabricação do produto. (NUNES, 2014).

A organização técnico-econômica permitiu a união, dos mais simples empreendimentos, de caráter artesanal com as mais sofisticadas estruturas empresariais. (NUNES, 2014).

Os fornos de calcinação se caracterizam de acordo com a matéria prima utilizada, quantidade produzida e tipo de combustível empregado. Conforme Silva (2009) os fornos podem ser classificados em: forno de barranco descontínuo, forno de barranco contínuo, forno vertical metálico de cuba simples e forno vertical metálico demonstrado na FIG. 8.

Figura 8- Fornos verticais



Fonte: LHOIST,2016.

5.2.1 Tipos de calcários

Barbosa (2014) explica que as rochas calcárias são formadas por sedimentos ricos em carbonatos, (metamorfisados ou não), por rochas intrusivas associadas à atividade vulcânica alcalina. Segundo Sampaio e Almeida (2005), esses minérios são comumente encontrados pelo mundo, podendo ser extraídos de pedreiras ou de depósitos. A maioria é de origem orgânica e os seus depósitos são normalmente constituídos pelas conchas e esqueletos de micro-organismos aquáticos comprimidos sob pressão.

A rochas calcárias contêm uma quantidade significativa de carbonato de cálcio (CaCO_3). O qual ocorre na natureza em duas formas cristalinas: a calcita e a aragonita, minerais estes que apresentam a mesma fórmula química, porém estruturas cristalinas diferentes. A calcita tem estrutura cristalina trigonal, de clivagem fácil, densidade de $2,7 \text{ g/cm}^3$ e dureza 3, podem ser transparentes ou translúcidos. A aragonita aparece em prismas ortorrômbicos, possui densidade de $2,9 \text{ g/cm}^3$ e dureza 3,5 a 4, é muitas vezes translúcida, de brilho vítreo. (FARIA, 2010).

Existem várias propostas de classificação das rochas carbonatadas cálcio-magnesianas, a mais aceita na literatura por pesquisadores da área está descrita na (TAB. 2).

Tabela 2 - Classificação das rochas carbonatadas cálcio-magnésias

Minério	CaCO ₃ /MgCO ₃	Ca/Mg
Calcário Calcítico	>100	>105
Calcário Magnesiano	10 – 3,5	105 – 60
Calcário Dolomítico	3,5 -1,5	60 – 16
Dolomito	1,5 – 1,2	-

Fonte: GUIMARÃES, (1998).

As diversas aplicações dos calcários/dolomitos são conduzidas pela sua composição física e química. Ressaltam-se as utilizações como agregado: meio filtrante, pedra ornamental, refratário, pedra de construção, pigmento de tintas, carga fundente de fornos da metalurgia dos não-ferrosos e do ferro, pó de mineração, adubação química (corretivo de acidez do solo), dentre outros. (SOARES, 2007).

A forma mais utilizada para classificar as rochas calcárias está relacionada com a porcentagem de óxido de magnésio (MgO) contido na rocha. O calcário calcítico, apresenta teor de MgO menor que 5%; calcário magnesiano possui teor de MgO entre 5 e 12%; calcário dolomítico apresenta teor de MgO acima de 12%. (FARIA, 2010).

5.2.2 Tipos de cal

Nunes (2014) afirma que a cal virgem é o principal produto da calcinação das rochas carbonatadas cálcicas e cálcio-magnésianas. A composição da cal depende da origem da rocha calcária, no entanto é composto predominantemente por óxido de cálcio e de magnésio, podendo assim ser classificada, conforme o óxido predominante. (TAB. 3)

Tabela 3 - Composição da cal

Tipos de cal	Óxido de cálcio (%)	Óxido total presente (%)
Cal virgem cálcica	100%	90%
Cal virgem magnesiana	90%	65%
Cal virgem dolomítica	65%	58%

Fonte: NUNES, 2014.

Segundo Nunes (2003, p.7) “a cal virgem cálcica possui praticamente 100% de óxido de cálcio (CaO), enquanto que a cal dolomítica compõe-se de 65% de óxido de cálcio (CaO), fornecendo uma relação CaO/MgO de 1:4.”

No que se refere à sua aparência, quando deriva de rochas carbonatadas puras, a cal virgem possui cor predominante branca, se há presença de impurezas pode apresentar colorações creme, amarelada e levemente cinza.

5.3 Cal Hidratada

A ABCP (2012) explica que a cal hidratada é um produto natural pronto para o uso. A cal hidratada é um pó seco e inodoro obtido da hidratação da cal virgem em processos industriais. É extremamente fina e leve, resultando em boa aderência e maior rendimento na mão-de-obra. É o aglomerante mais antigo usado pela humanidade na construção de edificações.

O processo de descarbonatação pode- se encerrar com a produção da cal virgem, ou prosseguir para a produção da cal hidratada, através de uma reação de hidratação com a adição de água, resultando na cal hidratada também chamada cal apagada, cal extinta ou cal química.

Através da reação de recarbonatação (incorporação de dióxido de carbono ao hidróxido de cálcio), pode- se produzir o carbonato de cálcio precipitado (CCP), produto que apresenta características estruturais e composicionais muito superiores às características dos carbonatos de cálcio encontrados em minas (SILVA, 2007).

No mercado brasileiro, existem três tipos de cal, especificadas de acordo com sua composição química e ensaios físicos. Quanto à composição são diferenciadas primeiro pelo teor de óxidos totais e, segundo, pelo teor de carbonato ainda presente: A cal CHI deve teor de óxidos totais acima de 90%, enquanto as cales CHII e CHIII acima de 88%. As cales CHI e CHII devem ter no máximo 5% de CO₂, enquanto a cal CHIII pode ter até 13%. Não há diferenciação com relação ao teor de MgO. ISAIA (2007, p. 707)

Segundo a NBR 7175 (ABNT. 2003, p. 3), as exigências químicas e físicas, estão dispostas nas TAB. 4 e 5.

Como pode ser observado nas tabelas, nelas diferem-se as exigências para a cal hidratada CH-I e CH-III, sendo a cal CH-I a de melhor qualidade, pois é uma cal pura e livre de impurezas e materiais não calcinados.

Tabela 4 - Exigências químicas para cal hidratada em argamassas

Compostos		Limites		
		CH-I	CH-II	CH-III
Anidrido carbônico (CO ₂)	Na fábrica	≤ 5%	≤ 5%	≤ 13%
	No depósito	≤ 7%	≤ 7%	≤ 15%
Óxidos de cálcio e magnésio não hidratado calculado (CaO+MgO) ¹⁾		≤ 10%	≤ 15%	≤ 15%
Óxidos totais na base de não-voláteis (CaO _t + MgO) ²⁾		≥ 90%	≥ 88%	≥ 88%

Fonte: NBR 7175, ABNT 2003.

Tabela 5 - Exigências físicas para cal hidratada em argamassas

Compostos		Limites		
		CH-I	CH-II	CH-III
Finura (% retida acumulada)	Peneira 0.600mm	≤ 0,5%	≤ 0,5%	≤ 0,5%
	Peneira 0.075mm	≤ 10%	≤ 15%	≤ 15%
Retenção de água		≥ 75%	≥ 75%	≥ 75%
Incorporação de areia		≥ 3,0	≥ 2,5	≥ 2,2
Estabilidade		Ausência de cavidades ou protuberâncias		
Plasticidade		≥ 110	≥ 110	≥ 110

Fonte: NBR 7175, ABNT 2003.

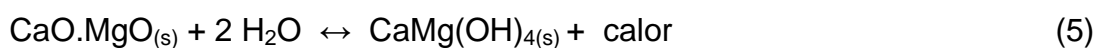
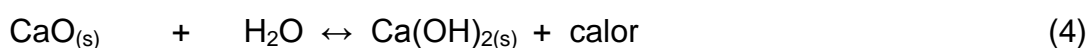
Bauer (2000) afirma que a cal hidratada é mais vantajosa que cal virgem em alguns aspectos como: maior facilidade de manuseio; transporte; armazenamento; produto seco e poeirento, oferece maior facilidade de mistura na elaboração das argamassas; produto pronto para ser utilizado, eliminando mão de obra operação em canteiro.

5.3.1 O processo de hidratação da cal

A hidratação da cal ocasiona em diferentes produtos, com particularidades dependentes do processo utilizado, porém todos possuem a mesma característica química. As principais variáveis que afetam o produto de hidratação da cal são: o volume de água, a agitação e a temperatura de hidratação. Dependendo destas variáveis o produto formado pode ter um aspecto de um pó seco (cal hidratada) e pode ter um aspecto de solução sólido-líquida (leite de cal) que terá uma

viscosidade variada de acordo com o processo utilizado. A suspensão de hidróxido de cálcio pode ser obtida pela adição de água em excesso diretamente a cal virgem ou pela diluição da cal hidratada em água (PARREIRA, 2010).

De acordo com BARBOSA (2014, p. 24) “a reação de produção da cal hidratada, conhecida como *slaking process* é exotérmica. Quando a água reage com a cal virgem calcítica produz a cal hidratada calcítica e quando reage com a cal virgem dolomítica produz a hidratada dolomítica, conforme as Equações 4 e 5.”



É recomendado que se utilize água em excesso para intercorrer a hidratação completa, devido à grande liberação de calor, a água chega em estado de ebulição. Para a cal calcítica, a reação libera 272 kcal/kg cal e para a cal dolomítica, a reação libera 211 kcal/kg cal. (BARBOSA, 2014).

A reação é praticamente instantânea, favorecida pela finura da cal virgem, não ultrapassando 20 minutos. Existem diferentes tipos de hidratadores, sendo característica de processo a granulometria da cal virgem e, de importância para todos, a relação cal virgem/água, proporcionada de modo a manter a temperatura do ambiente de reação entre 80°C e 85°C. Em geral a proporção cal/água é da ordem 1:2-3, em massa, e o produto obtido é seco e fino, requerendo moagem somente uma fração mais grossa e a matéria prima residual não calcinada. ISAIA (2007, p. 701).

Os óxidos de cálcio iniciam o processo de hidratação com velocidade superior aos óxidos de magnésio. No primeiro contato com a água, a cal virgem implode e em torno de seu grão forma-se uma solução supersaturada com os íons Ca^{2+} e OH^- . Com determinado número de íons começa a formação e cristalização do hidróxido de cálcio (GUIMARÃES, 1998).

Niques (2003) cita que o excesso de água no processo de hidratação da cal provoca o “afogamento da cal”. Quando a água em excesso é adicionada ao processo rapidamente, os torrões de cal, ou cal em grãos maiores, também se hidratam rapidamente na superfície ocorrendo perda de porosidade que impede a passagem de água para o interior da partícula que permanece sem se hidratar. Também pode ocorrer a “requeima da cal” quando se adiciona quantidades de água

inferiores a estequiométrica. Com isto, ocorre a formação de calor excessivo em determinados pontos da partícula, de 200 °C até 280 ° C, provocando eventualmente a desidratação da partícula vizinha de hidrato formado aumentando, assim, as dimensões dos cristais e impedindo a penetração da água para o interior da partícula.

Os efeitos causados pela “requeima” ou “afogamento” da cal são iguais, pois ambos diminuem o grau de hidratação da cal, que por consequência, diminui sua reatividade como agente aglomerante. Como forma prática de evitar o aparecimento de tais problemas, é recomendada a agitação/mistura correta da cal durante a hidratação e que seja realizada em recipientes com boa troca de calor com o ambiente. (SOUZA, 2008, p. 28).

5.4 Indicadores de análise de viabilidade técnica e econômica de projetos.

Segundo Faria (2014) é de extrema importância realizar o estudo da viabilidade técnica, pois com ele se alcança conhecimento sobre os recursos e competências imprescindíveis para o desenvolvimento da tecnologia, além de evitar gastos desnecessários caso o projeto não possa ser desenvolvido com as atuais restrições da equipe de pesquisadores.

Faria (2014) ainda defende que outra viabilidade a ser analisada é a econômico-financeira, nela deve-se supervisionar frequentemente se o projeto executado possui o retorno financeiro esperado, essa análise é essencial para que o empreendimento não invista em um produto que não possui futuro. Saber que o projeto não possui viabilidade financeira no começo é essencial, pois quanto mais tarde um projeto sem viabilidade for cancelado, maior será a perda. As principais condições que podem mudar ao longo do tempo, em função de mudanças no mercado, são as vendas traçadas, o preço de venda e o aparecimento de novos custos e investimentos.

Os métodos avaliatórios usuais com a finalidade de determinar indicadores de viabilidade da utilização econômica de um empreendimento serão baseados no fluxo de caixa projetado (FARIA, 2014).

Os indicadores de viabilidade dependem de características do empreendimento e do empreendedor e podem ser, entre outros: o valor presente líquido, a taxa interna de retorno, o período de retorno do investimento (Payback) e os índices de lucratividade NBR 14653-4 (2002, p. 12).

5.4 Taxa Mínima de Atratividade

A Taxa Mínima de Atratividade (TMA) é a taxa requerida como a taxa mínima de juro que a empresa exige para aceitar um projeto, conhecida também como custo de oportunidade (LAPPONI, 2007).

No conceito de Casarotto e Kopittke, (2000), a taxa mínima de atratividade é a taxa na qual o investidor considera que estará obtendo lucro. É uma taxa agregada a baixos riscos, ou seja, na pior das hipóteses qualquer sobra de caixa pode ser aplicada.

A TMA é uma taxa que pode ser estabelecida com base na política de cada empresa. No entanto, a seleção da TMA é de grande importância na decisão de recursos nos projetos de investimento. Schroeder et al (2005, p. 39) afirma que “a taxa de desconto, ou a TMA mais apropriada para decisões de investimento é a taxa do custo de capital”.

5.4.1 Valor Presente Líquido

O valor presente líquido (VPL) é uma função utilizada na análise da viabilidade de um projeto de investimento, ele indica o quanto falta para que a renda do investimento atinja a taxa desejada. Se ele for negativo, o retorno do projeto é menor que o valor do investimento, se tornando inviável. Se ele for positivo, o retorno do projeto pagará o valor do investimento, o que o torna viável. Lopes (2013, p. 23) explica que o VLP “é obtido subtraindo o investimento inicial (FCo) do valor atual das entradas de caixa (FCn), descontados a uma taxa igual ao custo do capital investido (i), levando em consideração um período de tempo (n). “

O método VLP é conceituado como um método que se encaixa no conceito de equivalência, levando em consideração o valor temporal dos recursos financeiros. A viabilidade financeira de um projeto executado por este método é recomendada pela diferença positiva entre receitas e custos, a determinada taxa de juros (REZENDE & OLIVEIRA, 1993).

De acordo com Gitman (2004) o VPL é um instrumento que auxilia na tomada de decisões de novos investimentos, uma vez que considera o valor do dinheiro no tempo sendo uma técnica sofisticada. Analisando o VPL é possível apontar se a empresa aceita ou não o projeto.

A VPL pode ser calculada de acordo com a equação 6:

$$VLP = -FCo + \sum_{j=1}^N \frac{FCj}{(1 + TMA)^j} \quad (6)$$

Onde:

FCo= Corresponde ao investimento inicial;

FCj= Corresponde ao fluxo de caixa líquido no tempo j;

Σ = Corresponde ao somatório da data “1” até a data “N”.

Após resolvida a equação, se compara os resultados para o VPL (BONORA, 1996):

- VPL < 0: investimento inviável, não obtendo ganhos, pois sua taxa de renda é menor que a taxa de atratividade. Portanto, a renda do investimento não atingiu a taxa desejada, projeto deve ser recusado.
- VPL = 0: investimento possui a mesma taxa de atratividade com a renda esperada. O investimento não traz benefícios financeiros nem prejuízos.
- VPL > 0: O investimento é economicamente viável, superando a expectativa da empresa, trazendo lucros. Projeto deve ser aceito.

5.4.2 Taxa interna de retorno (TIR).

Segundo Veras (2001, p. 243) a Taxa Interna de Retorno (TIR) “consiste em calcular a taxa que anula o valor presente líquido do fluxo de caixa do investimento analisado”, ou seja, representa a rentabilidade gerada pelo investimento. A TIR como a taxa de rentabilidade obtida de um investimento que torna equivalente o VPL dos embolsos e o VPL dos desembolsos de um empreendimento.

A Taxa Interna de retorno de um investimento é o percentual de retorno obtido sobre o saldo do capital investido e ainda não recuperado. Matematicamente, a taxa interna de retorno é a taxa de juros que iguala o valor presente das entradas de caixa ao valor presente das saídas de caixa. (SANTOS, 2001, p. 154).

A TIR é a taxa que torna o VPL igual à zero, sendo a taxa de juros mínima que faz com que o projeto não traga prejuízo à empresa. A vantagem deste método é que ele permite comparação com taxas de investimento do mercado, porém a desvantagem fica por conta dele não dizer quando que o investimento será pago. O valor da TIR deve ser comparado com a taxa de atratividade esperada pela empresa. A TIR menor que a taxa de atratividade indica que o projeto é economicamente inviável. A TIR maior indica que o projeto é economicamente atrativo, já uma TIR igual à taxa de atratividade indica que o projeto não traz vantagens econômicas à empresa (BONORA, 1996).

5.4.3 Tempo de retorno do investimento (Payback).

Para Gitman (2004), payback é o período de tempo necessário para recuperar o capital investido. Existem duas variações desse método, denominadas payback simples e payback descontado.

O critério do período payback, na tomada de decisões de investimento, é simples. Seleciona-se certo período de corte, digamos, de dois anos. Todos os projetos que tiverem períodos de payback de dois anos ou menos serão aceitos, e todos os que proporcionarem recuperação do investimento em mais de dois anos serão rejeitados (ROSS et al, 2002).

Pode ser aplicado de duas formas: payback simples e payback descontado. Santos (2001, p. 151) “diz que uma alternativa para diminuir a imprecisão do critério do tempo de retorno é considerar os fluxos de caixa pelo seu valor presente”. Esse método é denominado tempo de retorno descontado.

Segundo Gitman (2001) o método do payback simples mede o tempo necessário para que os retornos superem o valor investido, não levando em conta o custo de capital da empresa. Este método é indicado como método inicial de análise, devido a facilidade de observação e aplicação, além de ser uma medida de liquidez do projeto, ou seja, quanto menor o prazo de recuperação, maior será a liquidez.

Lunelli (2012), defende que o payback descontado considera o valor do dinheiro no tempo. É o período necessário para a empresa recuperar seu investimento inicial em um projeto, considerando-se os fluxos de caixa descontados. Alguns autores não consideram esta técnica sofisticada no orçamento de capital,

uma vez que não considera explicitamente o valor do dinheiro no tempo, através do desconto do fluxo de caixa para se obter o valor presente. Geralmente, os paybacks devem ser usados como complemento às técnicas de decisões.

6 MATERIAL E MÉTODOS

Neste capítulo apresentou-se o material e os métodos realizados no desenvolvimento da pesquisa, como a descrição da empresa, o tipo de pesquisa, a escolha da amostra, análises técnicas e análises da viabilidade econômica que serão utilizadas para o estudo de reaproveitamento da cal extinta.

6.1 Descrição da empresa

Este trabalho teve como estudo de caso a empresa que denominamos de Bom Cal. A Bom Cal é uma indústria 100% brasileira fundada no ano de 1949 e especializada na produção de cal, na qual atende o mercado a partir da divisão dos seus produtos em três grandes famílias: Cal virgem, cal hidratada e calcário. A filial situada no município de Pains no Centro-oeste de Minas Gerais, está no mercado há 11 anos, com capacidade de produção diária de 2400 toneladas de cal virgem e 800 toneladas de cal hidratada.

6.2 Tipo de pesquisa

A pesquisa realizada neste trabalho pode ser classificada em um estudo de caso. Para Gil (2001), um estudo de caso pode ser definido como profundo estudo de alguns objetos, de modo que possibilite o seu detalhado conhecimento, com vantagens que torne o delineamento mais adequado a novas descobertas, destaque na totalidade e a clareza dos procedimentos. O estudo de caso apresenta também algumas limitações e a principal delas refere-se à dificuldade das generalizações.

Quanto à natureza, a pesquisa pode ser classificada como pesquisa aplicada, pois busca gerar conhecimento e solucionar problemas específicos do uso da cal extinta na produção da cal hidratada. Quanto aos objetivos é uma pesquisa explicativa, pois busca descobrir a quantidade de resíduo da cal que não interfira na qualidade da cal hidratada, quanto aos procedimentos é uma pesquisa experimental, pois tem um objetivo de estudo e as variáveis que o influenciam serão selecionadas como também suas formas de controles. Quanto à forma de abordagem é quantitativa, pois requer o uso de técnicas estatísticas para estabelecer a porcentagem de cal extinta a ser usada, e quanto ao local de realização é campo,

pois será feita em determinada indústria. Por outro lado é também qualitativa, por que uma vez que assume diferentes significados no campo das ciências, compreendendo um conjunto de diferentes técnicas interpretativas que visam descrever o aumento da lucratividade através do controle de desperdício e reuso da cal extinta no processo produtivo.

6.3 Escolha da amostra

Para a definição da porcentagem usada de cal extinta no processo de fabricação da cal hidratada, foram coletadas e analisadas três amostragens para ensaios físicos e químicos para se chegar a conclusão da porcentagem que não interferiu na qualidade da cal hidratada. Foi utilizada as seguintes amostras:

- ✓ 90% de cal virgem dolomítica, combinada com 10% de resíduo da cal.
- ✓ 80% de cal virgem dolomítica, combinada com 20% de resíduo da cal.
- ✓ 70% de cal virgem dolomítica, combinada com 30% de resíduo da cal.

As três combinações, seguiram o procedimento de hidratação em laboratório da empresa, para posteriormente serem coletadas as amostras.

Após passar pela hidratação em laboratório, bem como a homogeneização das combinações das porcentagens de cal virgem dolomítica com o resíduo, para uma maior confiabilidade dos resultados foram realizadas três amostragens de cada porcentagem em um período de dois dias para cada amostra, sendo um dia para hidratação das amostragens e mais um dia para realização das análises físicas e químicas, totalizando seis dias para a realização dos testes. Essas amostras foram quarteadas e após misturadas para a retirada da amostra, preservando assim sua homogeneidade. O resultado de cada percentual, foi obtido através de média aritmética da triplicata das análises.

6.4 Análises técnicas

As análises foram realizadas no laboratório da Bom Cal, de acordo com a NBR 7175 (2003, p.2) “referentes a cal hidratada, seguindo a exigência da NBR 6473 (2003, p. 3) referente as análises químicas de cal virgem e hidratada.” Para a determinação da qualidade da cal misturada com a cal extinta, foi necessário analisar os valores de óxido de cálcio (CaO) e óxido magnésio (MgO) utilizando o

método de complexometria com etilenodiaminotetracético (EDTA), o anidrido carbônico através do aparelho de detector de infravermelho, que analisa o teor de CO_2 na cal, e a granulometria da cal estabelecida por peneiras. Todas as análises serão embasadas no Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO, 2004)

O resultado das análises dos dados obtidos serão distribuídos em tabelas e gráficos, para a realização de uma proposta viável de utilização do material. Os dados contidos nas tabelas e gráficos, foram obtidos através de técnicas analíticas, seguindo normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas.

6.4.1 Óxidos de cálcio e magnésio

Segundo Isaia (2007) o que propicia o endurecimento da argamassa é o teor de óxidos de cálcio e de magnésio, sendo a melhor cal a que apresenta maiores valores destes óxidos.

Estes valores são calculados a partir de análise químicas realizadas neste trabalho, como a complexometria com EDTA, onde se elimina os constituintes voláteis (água e anidrido carbônico), podendo titular os níveis de óxidos de cálcio e magnésio como demonstrado na FIG. 9, por ser um procedimento extenso, estará como ANEXO B norma para melhor entendimento. A especificação da NBR 6473/2003 estabelece o valor de 90 a 88% de óxidos totais na base não volátil.

Figura 9 - Análise de CaO e MgO



Fonte: Acervo pessoal, 2016.

6.4.2 Anidrido carbônico

Isaia (2007) afirma que no processo de calcinação é necessário deixar os óxidos livres para hidratação. Porém durante o processo ainda restam carbonatos, sendo permitido um teor de no máximo 5 a 13% de anidrido carbônico, para a cal CHI e CHIII respectivamente. O aparelho utilizado para analisar o teor de anidrido carbônico presente na cal, foi o equipamento denominado detector de infravermelho não dispersivo, que é um medidor de CO_2 como ilustra a FIG. 10, é feita a preparação da amostra de cal, quando colocado no aparelho ocorre uma combustão, assim serão liberados os gases, o equipamento é composto por sensores e dará o resultado de dióxido de carbono com uma boa precisão, mais precisamente de 0,0010 a 50000 gramas.

Figura 10 - Análises de anidrido carbônico no aparelho de detector de infravermelho não dispersivo.



Fonte: Acervo pessoal, 2016.

6.4.3 Granulometria

Ainda na concepção de Isaia (2007) a granulometria exerce influência direta nas propriedades de emprego da cal. Após o primeiro peneiramento, restam - se grãos grossos formados por cal virgem que não hidratou, exigindo moagem na

produção. As partículas mais finas, dissolvem-se mais rapidamente, adsorvendo maior volume de água e maior plasticidade.

Neste ensaio faz-se um peneiramento das amostras, em duas diferentes peneiras e verifica-se quanto de material ficou retido em cada peneira como evidenciado na FIG. 11. A granulometria no processo em questão foi controlada através do uso de peneiras de 0.600mm e 0.075mm, obedecendo a NBR 7175 (ABNT. 2003) de exigências químicas e físicas que estabelece os níveis de porcentagem granulométrica de até 0,5% na peneira de 0,600mm, entre 10 e 15% na peneira de 0,075mm, variando de acordo com o tipo de cal.

Figura 11 - Análise granulométrica



Fonte: Acervo pessoal, 2016.

6.5 Análises econômicas da viabilidade do resíduo da cal

Esta segunda análise se refere ao ganho econômico que a empresa vai adquirir utilizando a cal extinta. Para isto, a análise foi realizada através dos indicadores de viabilidade econômica que proporcionou quantificar os ganhos e os gastos em relação ao processo utilizando a cal extinta. Após subtrair um pelo outro obteve-se o fluxo de caixa deste projeto, para poder calcular os indicadores de viabilidade.

7 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para analisar os resultados foram apresentados os valores das análises técnicas e econômicas obtidas, para possível comparação e discussões.

7.1 Resultados de análises técnicas

De acordo com o estudo realizado, foi possível analisar os valores obtidos nas análises técnicas e compará-los aos valores exigidos pela NBR 7175 (TAB. 6). Como foram realizadas três amostragens de cada análise, foi necessário uma média destes valores, obtendo assim, um maior nível de confiabilidade dos mesmos.

Tabela 6 - Resultados de análise técnica

Amostra	Óxidos não hidratados (%)	CO ₂	Óxidos totais não voláteis (%)	Granulometria (%)	
				#32 (0,600mm)	#200 (0,075mm)
90% dolom. 10% rejeito	1,99	1,54	91,82	0,12	1,28
80% dolom. 20% rejeito	3,80	2,63	93,05	0,29	2,28
70% dolom. 30% rejeito	1,10	3,24	94,33	0,38	2,97

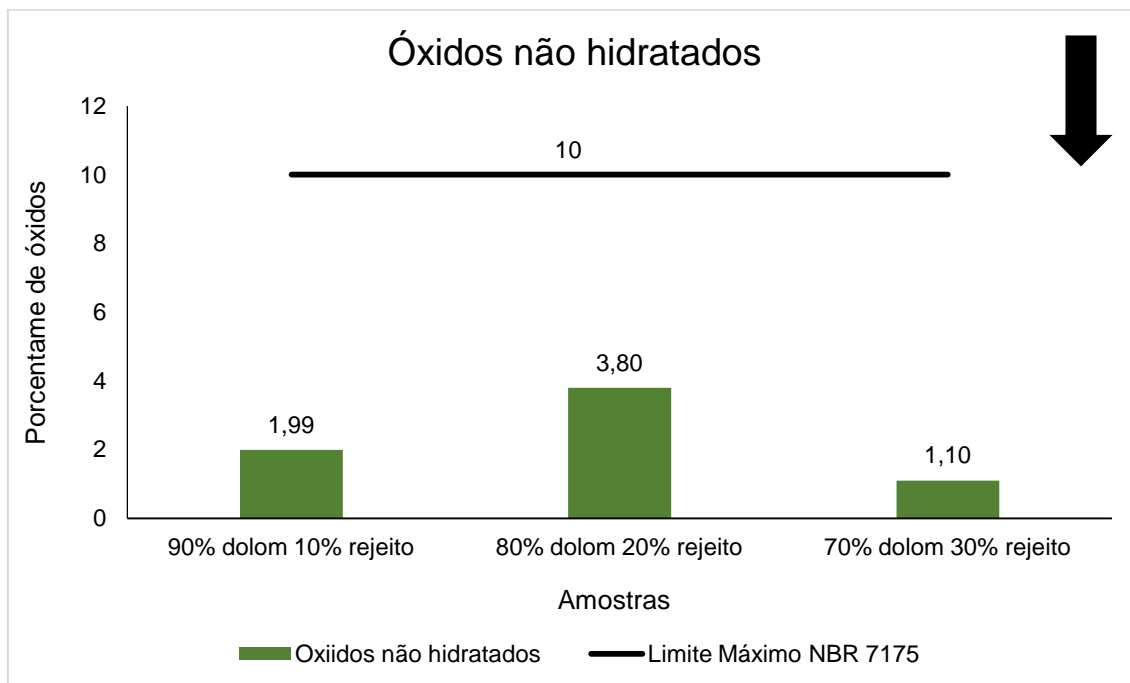
Fonte: Dados da pesquisa, 2016.

Cada resultado dos parâmetros da análise da TAB. 6 foi analisado e discutido nos Gráficos 2, 3 e 4 abaixo.

O GRAF. 2 apresenta diferentes valores nas amostras para óxidos não hidratados.

Os óxidos não hidratados caracterizam a quantidade de cal virgem que não hidratou com a água. Conseqüentemente, quanto maior for a quantidade de óxidos não hidratados, menor a fração de cal hidratada no produto final e menor homogeneidade granulométrica na cal. Os óxidos em questão são o cálcio e o magnésio

Gráfico 2 - Níveis de óxidos não hidratados



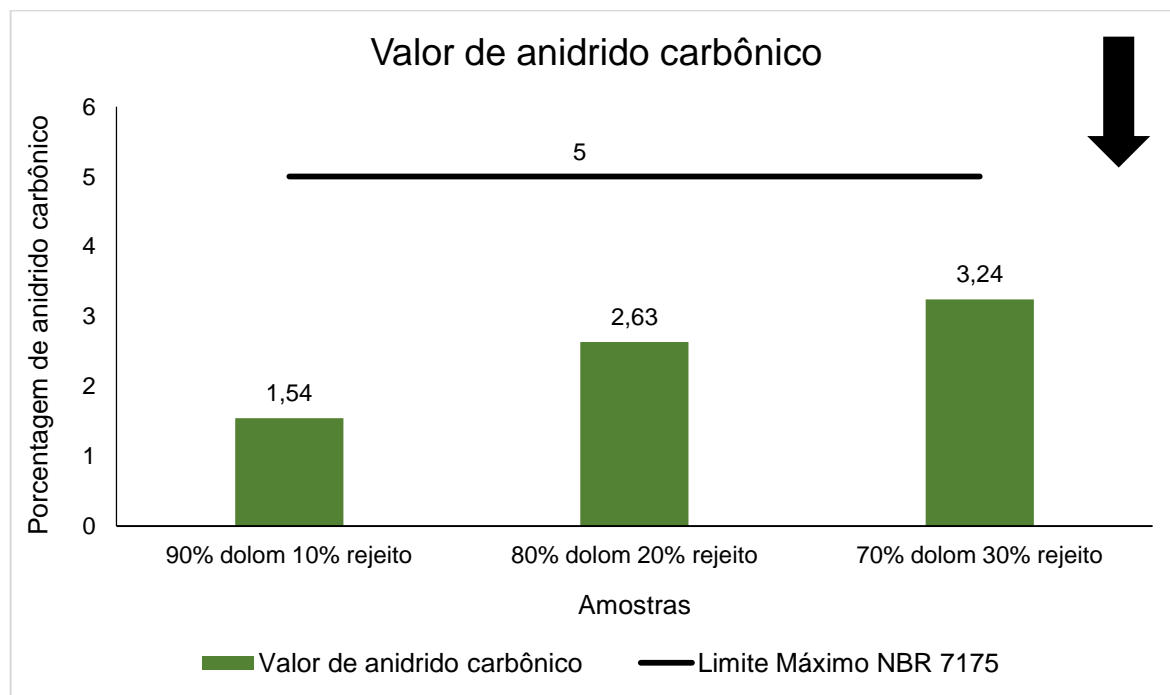
Fonte: Dados da pesquisa, 2016.

De acordo com a NBR 7175, os níveis de óxidos não hidratados devem ser inferior a 10%, sendo assim, todas as amostras se mantiveram dentro do padrão exigido, porém a porcentagem que apresentou um nível mais baixo foi a 70% dolomita 30% rejeito, com 1,1%. Portanto, pode-se afirmar que esta porcentagem, é caracterizada por melhor homogeneização e melhor hidratação, é a amostra que melhor se adequou a mistura do rejeito (cal extinta).

No GRAF. 3 estão apresentados os valores do anidrido carbônico nas amostras coletadas.

De acordo com o INMETRO (2004), o anidrido carbônico é liberado na queima das rochas que formarão a cal virgem. Quanto maior for a presença deste gás, menor é o poder de aderência da cal. Sua presença indica má calcinação industrial, podendo causar uma recarbonatação.

Gráfico 3 - Níveis de anidrido carbônico



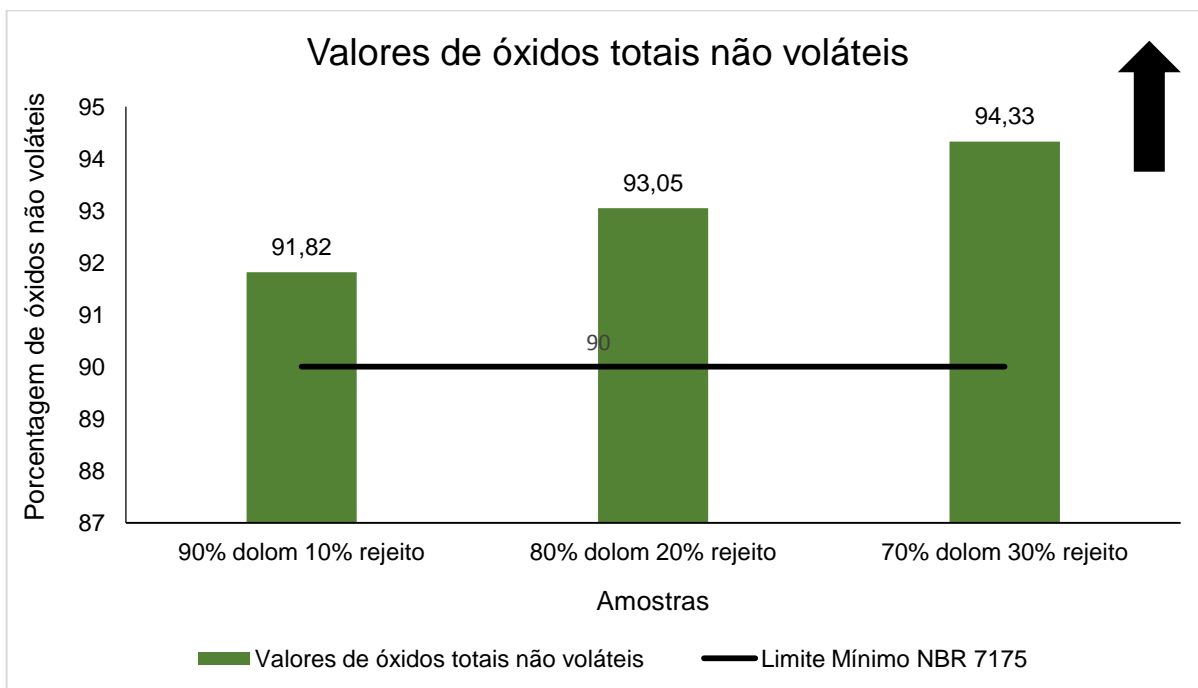
Fonte: Dados da pesquisa, 2016.

A NBR 7175, exige que o valor do anidrido carbônico seja inferior a 5%, sendo assim todas as amostras alcançaram valores desejáveis, porém a amostra de 90% dolomita e 10% rejeito obteve um menor valor, demonstrando que teve uma melhor calcinação.

No GRAF. 4 apresenta os valores dos óxidos totais não voláteis.

A presença de óxidos totais é o que confere a qualidade da matéria-prima utilizada na fabricação da cal. Por isso, quanto menor será a quantidade de impurezas presentes na cal, maior será a fração de óxidos totais.

Gráfico 4- Níveis de óxidos totais não voláteis



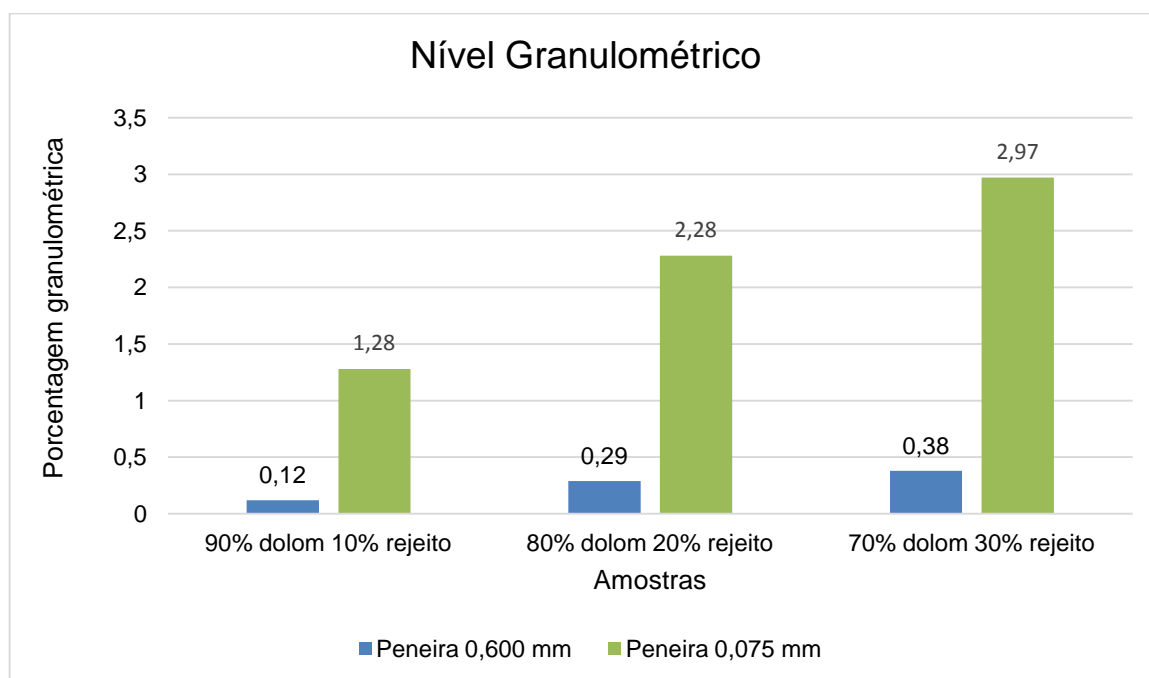
Fonte: Dados da pesquisa, 2016.

Conforme a NBR 7175, os níveis exigidos de óxidos totais voláteis deve ser superior ou igual a 90%, todas as amostras alcançaram o nível desejado, porém a amostra mais representativa foi a de 70% dolomita 30% rejeito. Este requisito é de extrema importância, levando em conta que ele estabelece a qualidade da cal em questão.

No GRAF. 5 foi analisado a granulometria das amostras e devidamente comparados.

O controle de granulometria na empresa de estudo é verificado através do uso de peneira de 0,600mm e 0,075 mm, que correspondem respectivamente as de numeração 32 e 200. As partículas mais finas adsorvem água com mais facilidade, por isso é importante se fazer o controle granulométrico em um processo de calcinação, principalmente no caso em estudo, que se faz o uso de um rejeito do processo.

Gráfico 5 - Análise granulométrica



Fonte: Dados da pesquisa, 2016.

De acordo com os requisitos exigidos pela NBR 7175, para a peneira de 0,600mm o máximo aceitável é igual ou inferior a 0,5% e para a peneira 0,075 mm o máximo aceitável é igual ou inferior a 10%. Nas amostras coletadas, todas ficaram dentro dos níveis desejados, porém a amostra 90% dolomita e 10% rejeito apresentou níveis granulométricos mais baixos, ou seja, se hidratam mais facilmente.

Como pode se observar, há uma grande variação em relação da melhor porcentagem a ser realizada, pois poderá ser usada quaisquer das porcentagens e não afetará na especificação do produto final. Sendo assim utilizaremos a que trará mais retorno em relação a quantidade utilizada no processo que na ocasião será a de 70% cal virgem dolomítica e 30%rejeito. Para que o produto final fique dentro de suas especificações, ficou firmado que toda a amostra de rejeito será antes analisada em laboratório para identificar os teores primordiais e assim definir qual a melhor porcentagem a se usar, para se garantir o controle de qualidade da cal hidratada.

7.2 Resultados de análises econômicas

As análises econômicas são referentes ao ganho econômico que a cal extinta vai gerar no processo. Para possibilitar tal análise, foram utilizados os indicadores econômicos já citados anteriormente, embasados na quantificação dos ganhos e dos gastos que este processo gerou, subtraindo um pelo outro, foi encontrado o fluxo de caixa deste projeto. Neste procedimento, se faz necessário a compra de uma pá carregadeira destinada a limpeza do pátio e o reaproveitamento da cal extinta anteriormente descartada, a compra de uma moega para transportar a cal até o silo, devido ao seu uso constante, será necessário contratar um operador para a mesma. O investimento inicial para aquisição dos dois itens foi de R\$565.000,00. Foram contabilizados, as devidas manutenções desta máquina, levando em conta o desgaste ao longo dos sete anos analisados, os reajustes salariais do motorista e os impostos cobrados para o possível empreendimento.

A TAB. 7, demonstra o ganho operacional, fundamentado nos anos de uso delimitado da depreciação da pá carregadeira (7 anos), a produção extra de cal extinta anual, o valor de venda da cal hidratada por tonelada, o custo operacional por tonelada para a fabricação da cal hidratada, o ganho operacional por tonelada resultante do valor de venda subtraindo o custo operacional e o ganho total anual relativo a multiplicação do ganho operacional pela produção de cal extinta anual.

Tabela 7 – Ganho Operacional

Ano	Produção Extra Cal Extinta Anual (Toneladas ao ano)	Valor de venda por tonelada	Custo Operacional por tonelada	Ganho operacional por tonelada (venda-custo)	Ganho Total Anual (Ganho operacional x produção de cal)
1	23760	R\$189,00	R\$149,00	R\$40,00	R\$950.400,00
2	23760	R\$202,23	R\$159,43	R\$42,80	R\$1.016.928,00
3	23760	R\$216,39	R\$170,59	R\$45,80	R\$1.088.112,96
4	23760	R\$231,53	R\$182,53	R\$49,00	R\$1.164.280,87
5	23760	R\$247,74	R\$195,31	R\$52,43	R\$1.245.780,53
6	23760	R\$265,08	R\$208,98	R\$56,10	R\$1.332.985,16
7	23760	R\$283,64	R\$233,61	R\$60,03	R\$1.426.294,13

Fonte: Dados da pesquisa, 2016.

A TAB. 8 ilustra os custos operacionais referentes ao uso da máquina (pá carregadeira) embasados nos custos materiais anuais como peças, pneus, FPS (ferramentas de penetração de solo) dentre outros; já contabilizando contratação de funcionário para operar a pá carregadeira, indispensável no processo analisado; custo da mão de obra do operador da mesma já contabilizando um reajuste salarial anual de 7%; o custo do litro de diesel considerando R\$2,64; total relativo da soma destes três itens anteriores; as horas trabalhadas por ano levando em conta nove horas diárias multiplicadas por vinte quatro dias úteis, multiplicados por doze meses; e por fim custo total anual com esta máquina.

Tabela 8 – Custos Operacionais

Horas por Ano	Custo Material Anual R\$/HR(FPS +PEÇAS+ PNEU)	Custo Mão de obra R\$/HR	Custo Diesel R\$/HR	Total R\$/HR (material anual + custo de mão de obra + custo diesel)	Horas Trabalhadas por Ano	Custo Total Anual	Custo anual contratação funcionário
0-5000	R\$22,71	R\$0,18	R\$47,52	R\$70,41	2592	R\$182.502,72	R\$38.274,36
0-5000	R\$22,71	R\$0,18	R\$50,85	R\$73,74	2592	R\$191.124,75	R\$40.953,57
5000-10000	R\$39,14	R\$0,55	R\$54,41	R\$94,10	2592	R\$243.895,92	R\$43.820,31
5000-10000	R\$39,14	R\$0,55	R\$58,21	R\$97,90	2592	R\$253.767,28	R\$46.887,74
10000-15000	R\$73,44	R\$7,24	R\$62,29	R\$142,97	2592	R\$370.575,72	R\$50.169,99
10000-15000	R\$73,44	R\$7,24	R\$66,65	R\$147,33	2592	R\$381.877,44	R\$53.681,77
15000-20000	R\$96,29	R\$9,40	R\$71,31	R\$177,00	2592	R\$458.796,20	R\$57.439,49

Fonte: Dados da Pesquisa, 2016.

A TAB. 9 demonstra os custos com peças e serviços da manutenção da moega.

Tabela 9- Custos com a moega

Custo anual mão de obra+materiais - Moega
R\$5.250,00
R\$5.617,50
R\$6.010,63
R\$6.431,48
R\$6.881,68
R\$7.363,40
R\$7.878,83

Fonte: Dados da Pesquisa, 2016.

A TAB. 10 ilustra o VLP do empreendimento, com base nos sete anos de experimento; no ganho operacional relativo à economia de 30% com o uso da cal extinta no processo produtivo; as despesas financeiras com este processo, inclusive com o custo operacional da máquina; o lucro operacional referente a subtração do ganho pelas despesas; o valor residual que indica o valor da máquina após os sete anos, descontados todos os desgastes e a depreciação que indica a desvalorização da máquina a cada ano.

Tabela 10 - Valor presente líquido

Ano	Ganho Operacional	Despesas Financeiras	Lucro Operacional (ganho – despesas)	Valor Residual	Depreciação
1	R\$950.400,00	R\$226.027,08	R\$724.372,92	0	-R\$56.500,00
2	R\$1.016.928,00	R\$237.695,81	R\$779.232,19	0	-R\$56.500,00
3	R\$1.088.112,96	R\$293.726,96	R\$794.386,00	0	-R\$56.500,00
4	R\$1.164.280,87	R\$307.086,49	R\$857.194,37	0	-R\$56.500,00
5	R\$1.245.780,53	R\$427.627,27	R\$818.153,25	0	-R\$56.500,00
6	R\$1.332.985,16	R\$442.922,60	R\$890.062,56	0	-R\$56.500,00
7	R\$1.426.294,13	R\$524.114,53	R\$902.179,60	RS169.500,00	-R\$56.500,00

Fonte: Dados da Pesquisa, 2016.

A TAB. 11 é a continuação do VLP baseado no Lucro Antes do Imposto de Renda (LAIR), que refere na soma do lucro operacional com a depreciação; o Imposto de Renda (IR) e Contribuição Social (CS) que são descontados 34% em cima do valor de LAIR, o lucro líquido que é o valor de LAIR subtraindo os IR/CS e o fluxo de caixa que aplica no valor residual subtraindo a depreciação e somando o lucro.

Tabela 11 -Valor presente líquido

Ano	LAIR (lucro operacional – depreciação)	IR/CS (LAIR x 34%)	Lucro Líquido	Fluxo de caixa
				-R\$565.000,00
1	R\$667.872,92	R\$227.076,79	R\$440.796,13	R\$497.296,13
2	R\$722.732,19	R\$245.728,94	R\$477.003,24	R\$533.503,24
3	R\$737.886,00	R\$250.881,24	R\$487.004,76	R\$543.504,76
4	R\$800.694,37	R\$272.236,09	R\$528.458,29	R\$584.958,29
5	R\$761.653,25	R\$258.962,11	R\$502.691,15	R\$559.191,15
6	R\$833.562,56	R\$283.411,27	R\$550.151,29	R\$606.651,29
7	R\$845.679,60	R\$287.531,06	R\$558.148,54	R\$784.148,54

Fonte: Dados da Pesquisa, 2016.

A TAB. 12 demonstra os valores dos indicadores econômicos do final do processo, afim de analisar a viabilidade econômica do mesmo, observando o VLP, o TIR, o TMA e o Payback.

Tabela 12– Valores finais encontrados	
Valor Presente Líquido (VLP)	R\$1.797.730,92
Taxa Interna de retorno (TIR)	92%
Taxa Mínima de Atratividade (TMA)	15%
Payback	1,1 anos

Fonte: Dados da Pesquisa, 2016.

Para calcular o Valor Presente Líquido de um projeto é preciso trazer todos os valores do fluxo de caixa para final de 2016, descontados pela taxa mínima de

atratividade e somá-los. O valor encontrado foi de R\$ 1.797.730,92. Por ser um valor positivo, o VPL confirma a viabilidade do projeto.

A taxa interna de retorno é a taxa que iguala o VPL a zero. Seu cálculo na forma manual é complexo e se chega numa aproximação. Dessa forma, introduzindo o fluxo de caixa no Excel, chegou ao resultado de 92%. Esta taxa de retorno está bem acima da taxa mínima de atratividade estipulada, que é de 15% a.a., o que torna o projeto viável com uma grande margem.

O payback descontado mostra o ano em que o investimento volta para o investidor levando em conta o fluxo de caixa livre descontado a uma taxa mínima de atratividade, que é de 15% a.a, nota-se na tabela que o investidor terá seu capital investido em 1,1 anos. (TAB.11)

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo acadêmico foi desenvolvido com o propósito de avaliar o conjunto de informações técnicas e econômicas necessárias à implementação de um novo projeto em uma empresa de calcinação, visando a economia de matéria-prima, através do uso de um resíduo no processo produtivo de cal hidratada a qual encontra-se em processo de avaliação. Para isso, procurou-se atender, todas as exigências técnicas pré-estabelecidas e as adequações instrumentais exigidas para uma análise detalhada de sua viabilidade.

A delimitação do assunto foi pautada na diminuição de gastos através do reuso de material anteriormente descartado, sendo necessário análises técnicas para se observar qual porcentagem seria a mais adequada, não comprometendo a qualidade do produto. Sendo assim, após resultado das análises foi possível observar que todas as porcentagens garantiram a qualidade do produto, porém levando em conta que usando 30% de cal extinta e não um valor inferior, menor será o gasto com matéria-prima e melhor o aproveitamento da mesma.

Já nas análises econômicas, foi levado em consideração alguns indicadores econômicos para verificar a viabilidade do projeto. Durante o planejamento, notou-se a necessidade de compra de uma máquina (pá carregadeira) para fazer o transporte da cal extinta até a moega, e compra da própria moega. Esta máquina e a moega também entraram nos cálculos, considerando todos os seus gastos e economias dentro do processo. Embasado no cálculo de VLP, foi possível constatar que seu valor foi maior que zero, indicando que o projeto foi aceito. A TIR mostrou uma rentabilidade de 92% deste projeto. A TMA que é a taxa no qual o investidor considera que estará obtendo lucro foi de 15%, também conhecida como taxa de oportunidade e por fim o Payback, que é o retorno do investimento, foi calculado em de 1,1 anos. Os resultados dos indicadores econômicos evidenciaram boas expectativas de retorno econômico-financeiro. O estudo se baseou em um projeto com vida útil de sete anos.

A fundamentação teórica que propiciou um melhor conhecimento para a elaboração deste estudo, demonstrando que este projeto apresenta contribuição para o avanço da ciência econômica.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7175**: cal hidratada para argamassas. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6473**: Cal virgem e cal hidratada – Análise química. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Avaliação de bens parte 4: Empreendimentos. **NBR 14653-4**. Rio de Janeiro, 2002. 16 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE CAL (ABPC), 2012. Disponível em: <<http://www.abpc.org.br/>> Acesso em 14 mai 2016.

BARBOSA, R. C. **Estudo do aproveitamento de resíduo de mineração rico em calcário para produção de cal e captura de dióxido de carbono**. 2014. 80 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2014. Acesso em: <http://rigeo.cprm.gov.br/xmlui/bitstream/handle/doc/1767/Disserta%C3%A7%C3%A3o_Raquel_Barbosa.pdf?sequence=1> Acesso em: 16 mai 2016.

BAUER, L. A. F. **Materiais de Construção**. 5ª Ed. Rio de Janeiro: LTC, 2000.

BES, A. **Dynamic process simulation of limestone calcinations in normal shaft kilns. Doctoral Thesis**. Otto-von-Guericke University, Magdeburg, 2006. Disponível em: <www.uni-magdeburg.de/isut/TV/English/Research/Project/Bes.pdf>. Acesso em: 21 abr. 2016.

BONORA, J. D. **Matemática financeira: análise de investimento, amortização de empréstimo, capitalização, utilização de calculadoras financeiras**. São Paulo: Editora Ícone, 1996.

BOYNTON, R. S. **Chemistry and Technology of lime and limestone, Interscience**. 1980.

CASAROTTO, Nelson Filho & HARTMUT KOPITTKE, Bruno. **Análise de investimentos**. São Paulo: Atlas, 2000.

CINCOTTO, M. A. **Estudo da composição química da cal hidratada produzida no estado de São Paulo**. Dissertação de Mestrado em Ciências, São Paulo: Escola Politécnica da USP, 1977.

DNPM - Departamento Nacional de Produção Mineral. **Sumário Mineral 2013**. Disponível em: <<http://www.dnpm.gov.br/dnpm/sumarios/sumario-mineral-2014>> em: 12 mai 2016.

DNPM - Departamento Nacional de Produção Mineral. **Sumário Mineral 2015**. Disponível em: <<http://www.dnpm.gov.br/dnpm/sumarios/sumario-mineral-2015>> Acesso em: 12 mai 2016.

ECHA - European Chemicals Agency. Calcium dihydroxide. Disponível em: <http://apps.echa.europa.eu/registered/data/dossiers/DISS-9eaebe88-3dab-1715-e044-00144f67d031/AGGR-c0185199-38f6-4eeb-9847bb362953630e_DISS-9eaebe88-3dab-1715-e044-00144f67d031.html#section_3_5>. Acesso em: 14 ago.

FARIA, A. F. Método para análise e avaliação de estudo de viabilidade técnica, econômica e comercial e do impacto ambiental e social (EVTECIAS). In: Seminário Nacional de Parques Tecnológicos e Incubadora de Empresas, 24, 2014. Belém. **Anais...** Belém: [S.I.], 2014.

FARIA, V. C. **Os processos envolvidos na fabricação de cal e suas aplicações: região Arcos-Pains.** Trabalho de Conclusão de Curso – Centro Universitário de Formiga, Formiga, 2010. Disponível em acervo de monografia da Biblioteca Ângela Vaz Leão – CD-Rom.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa.** 3 a ed. São Paulo: Atlas, 2001.

GIL, A. C. **Métodos e Técnicas de Pesquisa Social.** São Paulo: Atlas, 1999.

GITMAN, L. J. **Princípios de Administração Financeira.** 10.ed. São Paulo: Pearson Addison Wesley, 2004

GITMAN, L. J. **Princípios de Administração Financeira.** Trad. Jorge Ritter. 2 a ed. Porto Alegre: Bookman, 2001.

GUIMARÃES, J. E. P. **A Cal : Fundamentos e Aplicações na Engenharia Civil, Associação Brasileira dos Produtores de Cal.** 1a Edição, São Paulo, 1998.

GUTIÉRREZ, A. S. et al. **Evaluation of the environmental performance of lime production in Cuba.** Journal of Cleaner Production, v. 31, p. 126-136, aug. 2012.

HILL, N.; MASON, K. **How to calculate the energy efficiency of your lime burning process.** Practical Action, World Cement, 1997.

INMETRO, Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia. **Informações ao consumidor. Cal Hidratada.** 2004. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/consumidor/produtos/calHidratada.asp>>. Acesso em: 1 ago. 2016.

ISAIA, G. C. **Materiais de Construção Civil. Princípio de Ciência Engenharia de Materiais,** Vol.1. Editora Ibracon. São Paulo, 2007.

JOHN, V. M. et al. **Economia de baixo carbono: avaliação de impactos de restrições e perspectivas tecnológicas.** 2014. 67 f. Relatório final - Universidade de São Paulo - Faculdade de economia, administração e contabilidade de Ribeirão Preto. São Paulo. 2014.

LAPONNI, J. C. **Projetos de Investimento na empresa.** Rio de Janeiro: Elsevier, 2007.

LHOIST. **Processo de fabricação Lhoist**. 2016. Disponível em: <http://www.lhoist.com/pt_br/processo-de-fabrica%C3%A7%C3%A3o>. Acesso em: 19 abr. 2016.

LOPES, C. M. **A alteração da matriz energética como procedimento para a redução dos GEE no setor de cimento e sua respectiva viabilidade econômica**. 2013, 42 f. Trabalho de conclusão de curso – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2013.

Lunelli, R. L. **Análise de Investimentos**. 2012. Disponível em: <<http://www.portaldecontabilidade.com.br/tematicas/analiseinvestimentos.htm>>. Acesso em: 10 de Maio 2013.

MEZAROBA, S. et al. Processos de produção do açúcar de cana e os possíveis reaproveitamentos dos subprodutos e resíduos resultantes do sistema. IN: Encontro de Engenharia de Produção Agroindustrial, 4, 2010, Campo Mourão. **ANAIS...** Campo Mourão, PR, 2010. Disponível em: <http://www.fecilcam.br/anais_iveepa/arquivos/9/9-04.pdf> Acesso em: 12 mai 2016.

MORANTE, A. S. **Análise das Demonstrações Financeiras**. 2ª ed. São Paulo; Atlas, 2009.

NIQUES, G. **Efeito do tempo de maturação na microestrutura de uma cal virgem dolomítica**. 2003. 96 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/85211/200028.pdf?sequence=1>> Acesso em 12 mai 2016.

NUNES, A. M. **Análise da formação de colagem em cerâmicas refratárias usada como revestimento em fornos de cal**. 2014. 72f. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Química) da Escola de Engenharia de Lorena da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.

PARREIRA, P. M. **Projeto e operação de hidratadores industriais de cal virgem**. 2010. 119 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2010. Acesso em: <<http://penelope.dr.ufu.br/bitstream/123456789/3266/1/ProjetoOpera%C3%A7%C3%A3oHidratadores.pdf> > Acesso em: 16 mai 2016.

REZENDE, J. L. P.; OLIVEIRA, A. D. **Análise econômica e social de projetos florestais: matemática financeira, formulação de projetos, avaliação de projetos, localização de projetos, análise de custo-benefício**. Viçosa: Ed. UFV, 1993.

ROSS, S. et al. **Administração Financeira**. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2002.

SAMPAIO, J. A., ALMEIDA, S. L. M., 2005. **CT2005-132-00: Calcário e Dolomito – Capítulo 15**. Disponível em: <<http://www.cetem.gov.br/publicacao/CTs/CT2005-132-00.pdf>>. Acesso em 31 mai 2009.

SANTOS, E. O. **Administração financeira da pequena e média empresa**. São Paulo: Atlas, 2001.

SCHROEDER, J. T. et al. O custo de capital como taxa mínima de atratividade na avaliação de projetos de investimento. **Revista Gestão Industrial**. São Paulo, v. 01, n. 02 : p. 36-45, 2005.

SHREVE, R. Norris & BRINK, Joseph A. **Indústrias de Processos Químicos**. Editora Guanabara Dois. São Paulo, 1980

SILVA, A. C. **Estudo e otimização da reação de hidratação do hidróxido de cálcio**. Dissertação de mestrado—Uberlândia: Universidade Federal de Uberlândia, 2007.

SILVA, J. O. **Perfil da Cal, Ministério de Minas e Energia - Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral-SGM**. 2009. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/sgm/galerias/arquivos/plano_duo_decenal/a_transformacao_mineral_no_brasil/P46_RT72_Perfil_do_Cal.pdf> Acesso em: 14 mai 2016.

SILVA, J.O. **Perfil da Cal Agrícola, Ministério de Minas e Energia - Secretaria de geologia, mineração e transformação mineral-SGM**. 2007. Disponível em:<http://www.mme.gov.br/sgm/galerias/arquivos/plano_duo_decenal/a_mineracao_brasileira/P29_RT55_Perfil_do_Calcxrio_Agrxcola.pdf> Acesso em: 14 mai 2016.

SOARES, B. D. **Estudo da produção de óxido de cálcio por calcinação do calcário: caracterização dos sólidos, decomposição térmica e otimização paramétrica**. 2007. 383 f. Dissertação (Mestrado)-Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2007. Disponível em: <<http://repositorio.ufu.br/handle/123456789/568>> Acesso em 13 mai 2016.

SOUZA, R.G. **Estudo de pozolana autoclavada baseada em óxido de cálcio derivado da concha da ostra Crassostrea gigas**. 2008, 78 f. Dissertação de mestrado—Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2008.

TOTUM, Instituto. **Cal na siderurgia: insumo insubstituível na produção do aço**. São Paulo: 2011. Disponível em: <<https://www.institutototum.com.br/index.php/noticias/19-programas-de-autorregulamentacao-e-selos/185-cal-na-siderurgia-insumo-insubstituivel-na-producao-do-aco>>. Acesso em: 12 mai 2016.

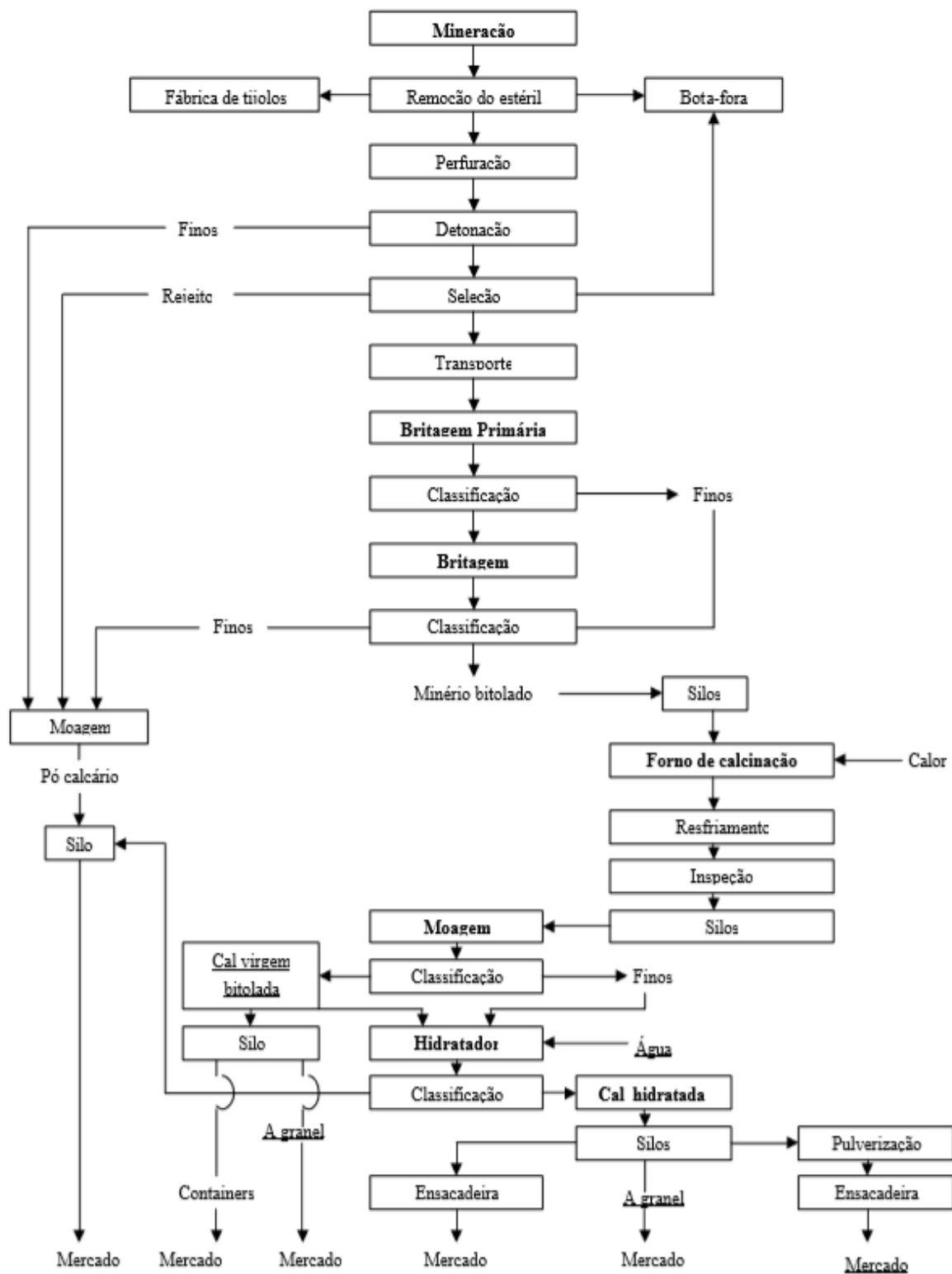
VERAS, L. L. **Matemática financeira: uso de calculadoras financeiras, aplicações ao mercado financeiro, introdução à engenharia econômica, 300 exercícios resolvidos e propostos com respostas**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2001.

VOTORANTIM. **Processo de fabricação da cal. 2016**. Disponível em: <http://www.vcimentos.com.br/htms-ptb/Produtos/Cal_procFabricacao.html>. Acesso em: 13 abril 2016.

VOTORANTIM, C. **Divisão Calcário Votorantim**. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=2_zXqYXZaRQ>. Acesso em: 13 abril 2016.

ANEXOS

ANEXO A – Fluxograma do processo de calcinação



Fonte: SOARES, 2007.

ANEXO B – Análises laboratoriais

6.3 Determinação da sílica mais resíduo insolúvel ($\text{SiO}_2 + \text{RI}$)

6.3.1 Pesar aproximadamente 0,7 g de amostra (m_7). Transferir para um béquer de 250 cm^3 e umedecer.

6.3.2 Adicionar, aos poucos, aproximadamente 10 cm^3 de ácido perclórico e revolver a amostra com um bastão de vidro para desfazer os grumos.

6.3.3 Cobrir o béquer com um vidro de relógio e levar o conjunto a uma chapa elétrica ou similar. Após o desprendimento de fumos brancos, deixar por aproximadamente mais 10 min.

6.3.4 Retirar o conjunto da chapa elétrica ou similar e deixar em repouso até atingir a temperatura ambiente.

6.3.5 Lavar o vidro de relógio, utilizando aproximadamente 50 cm^3 de água quente e adicionar aproximadamente 10 cm^3 de solução de ácido clorídrico 1:1.

6.3.6 Aquecer o conjunto na chapa elétrica ou similar até ebulição, agitando a solução com o auxílio do bastão de vidro. Deixar ferver por mais 2 min.

6.3.7 Retirar o béquer e filtrar a solução a quente em papel de filtração média, recolhendo o filtrado em um balão volumétrico de 250 cm^3 que já contenha aproximadamente 10 gotas de ácido nítrico.

6.3.8 Lavar o béquer com auxílio de um bastão de vidro com ponteira de borracha ou papel de filtro com água quente até remoção de toda a sílica e eliminação de cloretos (teste do nitrato de prata).⁹⁾

6.3.9 Deixar esfriar o filtrado até a temperatura ambiente, completar o volume do balão com água até a marca de 250 cm^3 e homogeneizar. Reservar o filtrado para as determinações posteriores (CaO , MgO , Fe_2O_3 e Al_2O_3).^{10), 11)}

6.3.10 Retirar o papel de filtro contendo o precipitado (sílica mais resíduo insolúvel), dobrar cuidadosamente e transferir para um cadinho de porcelana ou platina previamente calcinado e tarado (m_8).

6.3.11 Para cadinho de porcelana recomenda-se secar previamente em estufa a 110°C por aproximadamente 30 min. Levar o conjunto ao bico de gás até carbonizar o papel sem inflamar e, em seguida, calcinar em forno-mufla a (1 000 ± 50)°C, durante 45 min a 60 min.

⁹⁾ Alguns centímetros cúbicos de águas de lavagens devem apresentar, depois de acidulados com HNO_3 , no máximo ligeira opalescência após a adição de algumas gotas da solução AgNO_3 a 1%.

¹⁰⁾ Para as determinações por complexometria de 6.4, 6.5, 6.6 e 6.7, onde está indicado o uso de solução de EDTA 0,025 M, é facultativa a utilização de EDTA 0,01 M ou 0,04 M. Neste caso fazer as devidas correções no fator da solução de EDTA usada.

¹¹⁾ O filtrado também pode ser obtido executando-se conforme 7.1, utilizando-se uma massa de aproximadamente 0,7 g, recolhendo-se o filtrado em balão volumétrico de 250 cm^3 .

6.3.12 Deixar esfriar o cadinho em dessecador e determinar a massa (m_9).

6.3.13 Resultado: O teor de sílica mais resíduo insolúvel ($\text{SiO}_2 + \text{RI}$) é calculado com aproximação de 0,01% pela equação:

$$\text{SiO}_2 + \text{RI} = \frac{(m_9 - m_8)}{m_7} \times 100$$

onde:

$\text{SiO}_2 + \text{RI}$ é o óxido de silício + resíduo insolúvel, em porcentagem;

m_9 é a massa do cadinho com o resíduo calcinado, em gramas;

m_8 é a massa do cadinho, em gramas;

m_7 é a massa inicial da amostra, em gramas.

6.6 Determinação de óxido de cálcio (CaO) total

6.6.1 Pipetar 10 cm³ do filtrado obtido na determinação da sílica (6.3.9) e transferir para um béquer de 250 cm³.

6.6.2 Adicionar aproximadamente 100 cm³ de água e, sob agitação constante, adicionar 10 cm³ de solução de trietanolamina a 30%, para eliminar a ação do ferro e do alumínio sobre o cálcio.

6.6.3 Elevar o pH da solução para faixa de 12,5 a 12,9, com auxílio do peagômetro, adicionando a solução de hidróxido de potássio a 20%, gota a gota.

6.6.4 Adicionar um dos indicadores conforme 5.2.40 e titular com solução de EDTA 0,025 M. A viragem¹²⁾, para coloração final deve permanecer estável por aproximadamente 30 s, anotar o volume gasto (V₃), em centímetros cúbicos.

6.6.5 Alternativamente, o volume de EDTA consumido na reação pode ser obtido por meio de titulação colorimétrica instrumental e calculado em função da inflexão da curva T = f (V), onde V é o volume gasto de EDTA e T é a transmitância correspondente.

6.6.6 Resultado: O teor do óxido de cálcio total (CaO_t), é calculado com aproximação de 0,1% pela equação:

$$CaO_t = \frac{V_3 \times F \times 25 \times 100 \times 1,4019349}{1\ 000 \times m_7}$$

onde:

CaO_t é o óxido de cálcio total, em porcentagem;

25 é a razão entre o volume do balão volumétrico (250 cm³) e o volume da alíquota tomada para o ensaio (10 cm³);

100 é o valor para transformação em porcentual;

1,4019349 é o equivalente de CaO_t por centímetro cúbico de solução de EDTA-Na (0,025M), em miligrama;

1 000 é o valor para transformação de miligrama para grama de acordo com a massa da amostra;

V₃ é o volume gasto de EDTA na titulação, em centímetros cúbicos;

F é o fator da solução de EDTA (5.2.45);

m₇ é a massa inicial da amostra usada na determinação da sílica + RI (6.3.1), em gramas.

¹²⁾ a) Calcon - utilizar aproximadamente sete gotas da solução. Viragem do rosa-vinhoso para azul límpido.

b) Calceína - utilizar uma ponta de espátula (aproximadamente 5 mg) do indicador. Viragem de verde para rosa.

c) Azul-de-hidroxinaftol - utilizar aproximadamente dez gotas. Viragem rosa-vinhoso para azul-límpido.

6.7 Determinação do óxido de magnésio (MgO)

6.7.1 Pipetar 10 cm³ do filtrado obtido na determinação da sílica + RI (6.3.9) e transferir para um béquer de 250 cm³.

6.7.2 Adicionar aproximadamente 100 cm³ de água e, sob agitação constante, adicionar aproximadamente 10 cm³ da solução de trietanolamina a 30%.

6.7.3 Elevar o pH da solução até a faixa de 10,1 a 10,5, com auxílio do peagômetro, adicionando hidróxido de amônio a 20%, gota a gota.

6.7.4 Adicionar à solução o mesmo volume de EDTA consumido na titulação do cálcio (V₃).

6.7.5 Adicionar um dos indicadores conforme 5.2.40 e continuar titulando lentamente com a solução de EDTA 0,025 M. A viragem¹³⁾ para a coloração final deve permanecer estável em torno de 30 s. Deve-se anotar o volume gasto (V₄) em centímetros cúbicos.

6.7.6 Alternativamente, o volume de EDTA consumido na reação pode ser obtido por meio de titulação colorimétrica instrumental e calculado em função da inflexão da curva T = f (V), onde V é o volume gasto de EDTA e T é a transmitância correspondente.

6.7.7 Resultado: O teor de óxido de magnésio (MgO) é calculado com aproximação de 0,1% pela equação:

$$MgO = \frac{V_5 \times F \times 25 \times 100 \times 1,0078099}{1000 \times m_7}$$

onde:

MgO é o óxido de magnésio, em porcentagem;

25 é a razão entre o volume do balão volumétrico (250 cm³) e o volume da alíquota, tomada para o ensaio (10 cm³);

100 é o valor para transformação em percentual;

1,0078099 é o equivalente de MgO por centímetro cúbico de solução de EDTA-Na (0,025 M), em miligramas;

1 000 é o valor para transformação de miligrama para grama de acordo com a massa da amostra;

V₅ é V₄ - V₃;

F é o fator de solução de EDTA (5.2.45);

V₃ é o volume gasto de EDTA na titulação do cálcio, em centímetros cúbicos;

V₄ é o volume gasto de EDTA na titulação do magnésio, em centímetros cúbicos;

m₇ é a massa inicial da amostra usada na determinação da sílica + RI (6.3.1), em gramas.