



UEPB

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA
CAMPUS I
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA
CURSO DE QUÍMICA INDUSTRIAL**

JOANDSON ANÍBAL DE SOUSA

**PROCESSO PRODUTIVO E AVALIAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DA CAL VIRGEM E
CAL HIDRATADA**

**CAMPINA GRANDE - PB
2021**

JOANDSON ANÍBAL DE SOUSA

**PROCESSO PRODUTIVO E AVALIAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DA CAL VIRGEM E
CAL HIDRATADA**

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC)
apresentado ao Programa de Graduação em
Química Industrial da Universidade Estadual da
Paraíba – UEPB, como requisito parcial à
obtenção do Título de Químico Industrial.

Orientadora: Prof^ª. Dra. Pablícia Oliveira Galdino.

**CAMPINA GRANDE - PB
2021**

É expressamente proibido a comercialização deste documento, tanto na forma impressa como eletrônica. Sua reprodução total ou parcial é permitida exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, desde que na reprodução figure a identificação do autor, título, instituição e ano do trabalho.

S725p Sousa, Joandson Aníbal de.
Processo produtivo e avaliação físico-química da cal virgem e cal hidratada [manuscrito] / Joandson Anibal de Sousa. - 2021.
26 p. : il. colorido.

Digitado.
Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Química Industrial) - Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Ciências e Tecnologia, 2021.
"Orientação : Profa. Dra. Pablícia Oliveira Galdino, Coordenação do Curso de Química Industrial - CCT."

1. Calcário. 2. Físico-química. 3. Cal. I. Título

21. ed. CDD 541.3

JOANDSON ANÍBAL DE SOUSA

PROCESSO PRODUTIVO E AVALIAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DA CAL VIRGEM E CAL
HIDRATADA

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC)
apresentado ao Programa de Graduação em
Química Industrial da Universidade Estadual da
Paraíba – UEPB, como requisito parcial à
obtenção do Título de Químico Industrial.

Aprovado em: 26/07/2024.

BANCA EXAMINADORA

Pablicia Oliveira Galdino

Prof^a. Dra. Pablicia Oliveira Galdino
(Orientadora - DQ / UEPB)

Helvia W. Casullo de Araújo

Prof^a. Dra. Helvia Walewska Casullo de Araújo Carvalho
(Examinadora - DQ / UEPB)

Marcello Maia de Almeida

Prof. Dr. Marcello Maia de Almeida
(Examinador - DQ / UEPB)

Dedico este trabalho ao meu pai, por proporcionar este momento em minha vida.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Fluxograma de beneficiamento de carbonato de cálcio	11
Figura 2 - Fluxograma do processo de produção da cal virgem.....	12
Figura 3 - Ilustração da cal virgem calcinada em temperatura acima do ideal	13
Figura 4 - Ilustração da cal virgem calcinada em temperatura abaixo do ideal	13
Figura 5 - Cal virgem com núcleo não calcinado	14
Figura 6 - Forno vertical de cal.	14
Figura 7 - Fluxograma do processo de produção da cal hidratada	15
Figura 8 - Tanque de hidratação	16
Figura 9 - Rochas de carbonato de cálcio e magnésio do tipo cálcica e dolomita	18

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Classificação de acordo com os teores de óxido	9
Tabela 2 - Exigências químicas	17
Tabela 3 - Exigências físicas	17
Tabela 4 - Exigências químicas	17
Tabela 5 - Exigências físicas	18
Tabela 6 - Resultados da análise química amostra 1	21
Tabela 7 - Resultados da análise química amostra 2	22

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	8
2	OBJETIVOS	8
2.1	Objetivo geral	8
2.2	Objetivo específico	9
3	REFERENCIAL TEÓRICO	9
3.1	O calcário	9
3.2	Extração mineral do calcário no brasil	10
3.3	Processo de beneficiamento do calcário	10
3.4	A cal	11
3.5	A cal hidratada	15
3.6	Requisitos e exigências da ABNT para a cal virgem e cal hidratada	16
4	METODOLOGIA	18
4.1	Seleção das amostras para análise	18
4.2	Análise físico-químicas	19
4.3	Determinação de perda ao fogo (PF)	19
4.4	Determinação de óxido de cálcio total (CaO)	19
4.5	Determinação de óxido de magnésio total (MgO)	20
4.6	Determinação de óxidos totais na base de não-voláteis % (CaO_{total} + MgO_{total})	21
5	RESULTADOS E DISCURSÕES	21
5.1	Classificação do calcário mina da amostra 1	21
5.2	Classificação do calcário mina da amostra 2	22
5.3	Comparação dos resultados das análises e classificação	22
6	CONCLUSÃO	22
	REFERÊNCIAS	23

PROCESSO PRODUTIVO E AVALIAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DA CAL VIRGEM E CAL HIDRATADA

Joandson Aníbal de Sousa¹

RESUMO

O calcário é um mineral não metálico muito utilizado para a produção de carbonato de cálcio e seus subprodutos como a cal virgem e cal hidratada, esta última utilizada pelo homem desde a antiguidade e hoje com ampla aplicação nas indústrias. O carbonato de cálcio é classificado de acordo com o tipo de rocha onde se originou, sua classificação se dá através das análises físico-químicas. No Brasil esta classificação se dá através de normas técnicas de padronização estabelecida pela ABNT, são elas: ABNT NBR 6473, ABNT NBR 6453/2003 e ABNT NBR 7175/2003. No trabalho foram realizados os seguintes métodos de análises físicas e químicas: perda ao fogo (PF), determinação de óxido de cálcio (CaO) total, determinação de óxido de magnésio (MgO) e teor de óxidos totais na base de não-voláteis % (CaO_{total} + MgO_{total}). Estas análises são necessárias para se ter uma padronização do produto final a ser comercializado e que o mesmo esteja dentro das especificações desejadas. Os resultados obtidos das análises mostram a diferença entre os dois tipos de amostra calcárias utilizadas para a avaliação, a amostra 1 possui alto grau de pureza de óxidos totais não-voláteis de cálcio e magnésio com um resultado de 97,90% de óxidos totais e já a amostra 2 obteve resultados satisfatórios, com um teor de óxidos totais não-voláteis de cálcio e magnésio de 90,50%, um valor bem abaixo se comparado com a amostra 1, mas com resultados no padrão da normativa brasileira.

Palavras-Chave: Calcário. Análise físico-química. Cal.

ABSTRATC

Limestone is a non-metallic mineral widely used for the production of calcium carbonate and its by-products such as quicklime and hydrated lime, the latter used by man since ancient times and today with wide application in industries. Calcium carbonate is classified according to the type of rock where it originated, its classification is given through physicochemical analyses. In Brazil, this classification is based on technical standards of standardization established by ABNT, they are: ABNT NBR 6473, ABNT NBR 6453/2003 and ABNT NBR 7175/2003. In the work, the following methods of physical and chemical analysis were performed: loss on fire (PF), determination of total calcium oxide (CaO), determination of magnesium oxide (MgO) and total oxide content on the basis of non-volatile % (CaO_{total} + MgO_{total}). These analyzes are necessary to have a standardization of the final product to be marketed and that it is within the desired specifications. The results obtained from the analyzes show the difference between the two types of limestone samples used for the evaluation, sample 1 has a high degree of purity of total non-volatile calcium and magnesium oxides with a result of 97.90% of total oxides and on the other hand, sample 2 obtained satisfactory results, with a content of total non-volatile calcium and magnesium oxides of 90.50%, a value well below if compared to sample 1, but with results within the standard of Brazilian regulations.

Keywords: Limestone. Chemical physical analysis. Lime.

¹Graduado em Química Industrial pela Universidade Estadual da Paraíba (UEPB). E-mail: joandsonanibal@hotmail.com

1 INTRODUÇÃO

O calcário é um minério não-metálico formado basicamente por carbonato de cálcio (CaCO_3). Devido sua gama de aplicações em diversos setores da indústria moderna, esse mineral vem se tornando uma das rochas mais comercializadas em todo o mundo (SOUTO, 2008).

Para a comercialização desse composto, necessita-se realizar seu tratamento prévio, passando pelo processo de extração, onde necessita posteriormente da limpeza dos minérios para realização do transporte, em seguida passa pela britagem e processamento até chegar ao produto acabado. Esse composto é encontrado nos mais diversos produtos, desde os materiais de construção civil à produção de alimentos, purificação do ar, tratamento de esgotos, refino do açúcar, pasta de dentes, fabricação de vidros e aço, fabricação de papéis, plásticos, tintas, cerâmica e tantos outros (SAMPAIO E ALMEIDA, 2008).

Dentre os mais diversos produtos advindos de fontes minerais, a cal é, sem dúvida, um dos materiais de maior expressão no mercado em termos de volume consumido e aplicabilidade. A cal é produzida a partir da decomposição térmica dos carbonatos de cálcio e de magnésio obtidos de depósitos de calcário. Sua composição depende da origem da rocha calcária empregada tendo, como característica geral, o óxido de cálcio (CaO) como componente majoritário (SOARES, B. D., 2007).

A cal virgem (cal viva ou cal ordinária) é o principal produto da calcinação das rochas carbonatadas cálcicas e cálcio-magnesianas. A composição do produto depende da origem da rocha calcária, no entanto é composto predominantemente por óxido de cálcio e magnésio, podendo assim ser classificada, conforme o óxido predominante, em (SGORLON, 2012):

- Cal virgem cálcica – com óxido de cálcio entre 100% e 90% do óxido total presente;
- Cal virgem magnésiana – com teores intermediários de óxido de cálcio, entre 90% e 65% do óxido total presente;
- Cal virgem dolomítica – com óxido de cálcio entre 65% e 58% do óxido total presente.

Extinção é o nome dado ao processo de hidratação da cal viva (virgem). O hidróxido que resulta deste processo é denominado de cal hidratada ou extinta. Esse procedimento é exotérmico, liberando uma grande quantidade de calor, fazendo com que seja um processo muito perigoso (COELHO, 2009).

O Brasil é o quinto maior produtor de cal do mundo, ficando atrás apenas da China, Estados Unidos, Rússia e Japão. Dentro do Brasil, o estado de Minas Gerais é o responsável por quase 60% do total da cal produzida (SILVA, 2009).

A classificação do calcário é de grande importância para a indústria antes de realizar o seu beneficiamento, pois antes de processá-lo é necessário saber o tipo de rocha calcária que está sendo utilizada para que possa destiná-lo ao processo de beneficiamento de acordo com as propriedades daquele mineral afim de se obter resultados desejados para o produto final processado evitando um produto com qualidades indesejadas.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Realizar um estudo sobre o processo produtivo da cal virgem e da cal hidratada e avaliar os resultados das análises de algumas amostras. Discorrer sobre o processo utilizado e a análise

física e química empregada para controle da qualidade e análise de grau de pureza do material seguindo os preceitos da normativa ABNT NBR 6473 – Cal virgem e cal hidratada – Análise química, normativa ABNT NBR 6453/2003 – Cal virgem para construção civil – Requisitos, como a normativa ABNT NBR 7175 – Cal hidratada para argamassas – Requisitos.

2.2 Objetivo específico

- Determinar o teor de óxido de cálcio total e óxido de magnésio total.
- Determinar o teor de óxido de cálcio total e óxido de magnésio total não-voláteis.
- Determinar a perda ao fogo.
- Comparar os resultados obtidos entre as amostras calcárias nomeadas como amostra 1 e amostra 2, para comparar pureza com referencial de óxido de cálcio (CaO) e óxido de magnésio (MgO).

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 O calcário

O calcário deriva do latim *calcarium*, significando “o que contém cal”. São rochas que apresentam em sua composição química dominância do carbonato de cálcio, cuja origem, orgânica em prevalência, está associada às carapaças e esqueletos fósseis ou organismos vivos e por precipitação química (MOURA, R. D. 2014). Existem vários tipos de calcários, sendo os mais comuns as calcícas, os dolomíticos e os magnesianos. São classificados e diferenciados de composição de óxido presente como descritos na Tabela 1.

Tabela 1 – Classificação de acordo com os teores de óxido

CLASSIFICAÇÃO DOS CALCÁRIOS		
Tipo	% de Óxido de Cálcio (CaO)	% de Óxido de Magnésio (MgO)
Cálcica	45 a 55	< 5
Magnesiano	31 a 32	5 a 12
Dolomítico	25 a 45	> 12

Fonte: INCAPER (2007).

Na classificação mineralógica das rochas calcárias, deve ser considerada a variação nas proporções de calcita e dolomita, bem como dos componentes não carbonatados. Tal procedimento é útil na descrição da rocha, especialmente quando combinado com os parâmetros de textura. O calcário é uma rocha sedimentar originada de material precipitado por agentes químicos e orgânicos. O cálcio é um dos elementos mais comuns, estimado em 3-4% da crosta terrestre, todavia, quando constituinte dos calcários, tem origem nas rochas ígneas. Por meio das atividades de erosão e corrosão, incluindo a solução de ácidos carbônicos ou outros de origem mineral (SAMPAIO e ALMEIDA, 2008).

O calcário (CaCO_3) e a dolomita ($\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$) são produtos minerais com uma ampla gama de aplicações. São utilizados na indústria de construção civil, como insumo agrícola (calagem de solos), na produção de cimento, na produção de cal, na indústria siderúrgica, na indústria de vidro, na produção de magnésio, na indústria de alimentação, na indústria de tintas, papel, plásticos, cerâmicas, na purificação do ar e tratamento de esgotos (BRASIL. MCTI, 2010).

3.2 Extração mineral do calcário no Brasil

A indústria da cal iniciou suas atividades no Brasil, em 1549, quando as instalações das primeiras “caieiras” para a fabricação de cal virgem, a partir de conchas marinhas, para as argamassas de revestimentos e pinturas dos casarões da cidade de Salvador (Bahia), implantada pelo fidalgo português, Thomé de Souza, capital da terra recém descoberta. A colonização portuguesa levou para o interior do território brasileiro, a arte de fabricar cal, principalmente para proteger das intensas chivas tropicais, as paredes de barro, armado ou socado, de suas moradias e fortificações (GUIMARÃES, 1998).

As principais entidades que publicam informações sobre a produção mineral mundial, como o USGS (United States Geological Survey), por meio do Mineral Commodity Summaries e o British Geological Survey, dentre outros. Os maiores produtores mundiais de calcário em 2016 foram: China, Estados Unidos, Índia, Rússia e Brasil (MME, 2019).

A maior parte das minas de calcário são lavradas a céu aberto e chamadas, em todo mundo, de pedreiras, embora, em muitas áreas, por razões técnicas, ambientais e/ou escala de produção, utiliza-se a lavra subterrânea para a produção de calcário (SAMPAIO e ALMEIDA, 2008).

Todas as rochas carbonáticas compostas predominantemente por carbonato de cálcio e/ou carbonato de cálcio e magnésio (calcários, dolomitos, mármore, etc.) independentemente da relação CaO/MgO, são fontes para a obtenção de corretivos de acidez dos solos, portanto, as reservas brasileiras de calcário agrícola podem ser consideradas como as mesmas reservas brasileiras de calcário, independentemente de sua aplicação. As reservas lavráveis de calcário no Brasil estão relativamente bem distribuídas pelos estados e como em muitos países, representam centenas de anos de produção nos níveis atuais. Os estados que mais se destacam no contexto brasileiro são: Minas Gerais, Mato Grosso do Sul, Paraná e Goiás, que juntos detêm quase 60% das reservas medidas de calcário do país, além de São Paulo, Bahia, Ceará, Mato Grosso e Rio de Janeiro (MME, 2019).

É comum, nas grandes minerações, a terceirização das operações de lavra e transporte do calcário. Todavia, em muitos casos, estas etapas da mineração estão no complexo geral das operações da própria empresa, em especial para as minas próximas aos centros urbanos (SAMPAIO e ALMEIDA, 2008).

3.3 Processo de beneficiamento do calcário

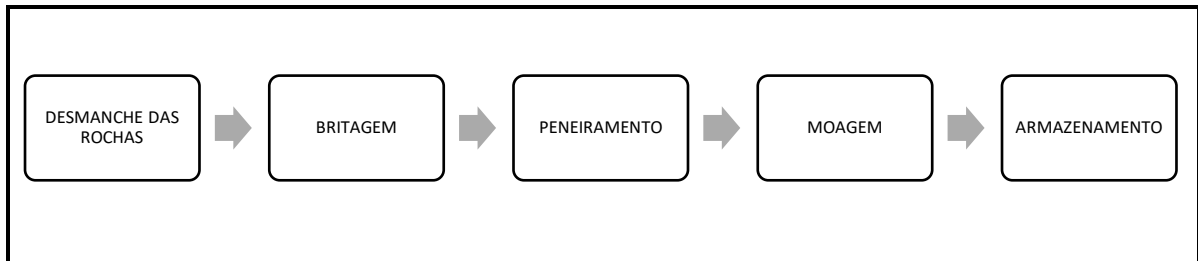
O tratamento das rochas carbonatadas, em particular as calcárias, depende do uso e especificações do produto final. A lavra seletiva, a catação manual, a britagem em estágio unitário e o peneiramento são os métodos usuais para obtenção de produtos, cuja utilização final não requer rígidos controles de especificações (SAMPAIO e ALMEIDA, 2008).

O processo de extração e beneficiamento da rocha calcária tem como objetivo produzir e comercializar calcário, visando atender a demanda existente desta matéria-prima nas indústrias de transformação especialmente para a produção da cal, do cimento e de tintas, que são segmentos que fazem uso da maior parte do calcário beneficiado atualmente. O processo de beneficiamento de calcário é constituído basicamente de quatro operações unitárias: desmonte das rochas com o uso de explosivos, britagem e peneiramento feitos respectivamente através de britadores de mandíbula e de peneiras com aberturas específicas e moagem realizada por moinhos geralmente de rolos ou de pêndulos. Esse processo é feito visando o seu aproveitamento, nos mais diversos ramos das indústrias que fazem uso deste mineral como matéria prima. É importante ressaltar que o calcário já é o carbonato de cálcio propriamente dito, pois este é o principal componente desse mineral, a diferença entre os dois é dada

especialmente pelo tamanho de suas partículas ainda quando e após o seu beneficiamento onde se apresenta na forma de pó (MOURA, SOUZA e LUIZ, 2014).

Demonstração das operações unitárias de processamento do beneficiamento do carbonato de cálcio logo abaixo na Figura 1.

Figura 1 - Fluxograma de beneficiamento de carbonato de cálcio



Fonte – PRÓPRIA (2021).

3.4 A cal

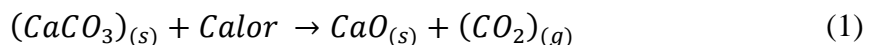
O principal produto da calcinação das rochas carbonatadas cálcicas e cálcio-magnesianas é a cal virgem, também denominada cal viva e cal ordinária. O termo cal virgem é o consagrado, na literatura brasileira e nas normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT, para designar o produto composto predominantemente por óxido de cálcio ou por óxido de magnésio, resultantes da calcinação à temperatura de 900 – 1200 °C, de calcários, calcários magnesianos e dolomitos. É classificada, conforme o óxido predominante, em:

- Cal virgem cálcica – com óxido de cálcio entre 100% e 90% do óxido total presente;
- Cal virgem magnesiânica – com teores intermediários de óxidos de cálcio, entre 90% e 65% do óxido total presente;
- Cal virgem dolomítica – com óxido de cálcio entre 65% e 58% do óxido total presente.

No mercado global da cal, a cal virgem cálcica predomina, particularmente, pela sua aplicação nas áreas das indústrias siderúrgicas, de açúcar e de celulose. Todas elas, quer cálcicas, quer magnesianas, são comercializadas em recipientes plásticos, metálicos e outros ou a granel, na forma de blocos (tal como sai do forno), britada (partículas de diâmetro 1 a 6 cm), moída e pulverizada (85% a 95% passando na peneira 0,149mm) (SILVA, 2009).

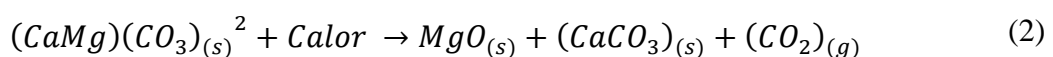
Para produzir a cal, é necessário converter o carbonato de cálcio (CaCO_3), comumente chamado de calcário, em óxido de cálcio (CaO), normalmente chamado de cal ou de cal viva.

A equação química aproximada para este processo é:

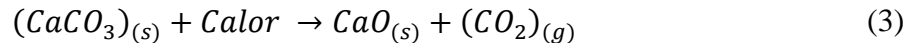


Para a decomposição térmica da dolomita no interior do forno de cal passa por dois estágios de reação citadas a seguir na equação 2 e 3 respectivamente (CINCOTTO, 1977).

1º estágio da calcinação:



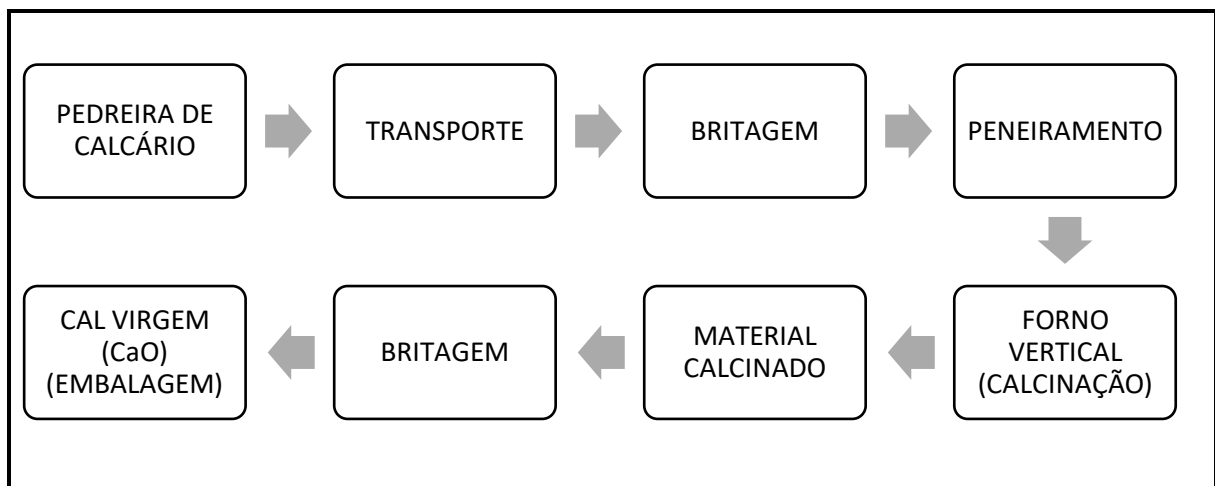
2º estágio da calcinação:



A substância CaO é muito reativa e quando hidratada (adicionada H₂O), forma a cal hidratada, também chamada de cal apagada, a qual é empregada como aglomerante na construção civil, ou seja, forma uma espécie de cola que dá liga a elementos como pedra, areia e cimento. Durante a hidratação da cal, há grande liberação de calor. Para que a conversão seja realizada, eleva-se a temperatura do calcário (no intervalo de 900 °C a 1200 °C), para liberar o dióxido de carbono (CO₂) contido no carbonato de cálcio (CaCO₃) (HILL e MASON, 1997).

A fabricação de cal compreende três etapas: preparação da amostra, calcinação e hidratação. Embora a hidratação seja necessária apenas em alguns casos, deve ocorrer em conformidade com o uso do produto final. A etapa de preparação da rocha calcária, para alimentar o forno de calcinação, implica nas operações de lavra, britagem, peneiramento e algumas vezes, lavagem, visando obter um produto final com menores índices de impurezas. Os procedimentos comuns são adotados para a remoção de sílica, alumina e óxidos de ferro (SAMPAIO e ALMEIDA, 2008). O fluxograma da Figura 2 ilustra, as operações de obtenção de cal.

Figura 2 - Fluxograma do processo de produção da cal virgem

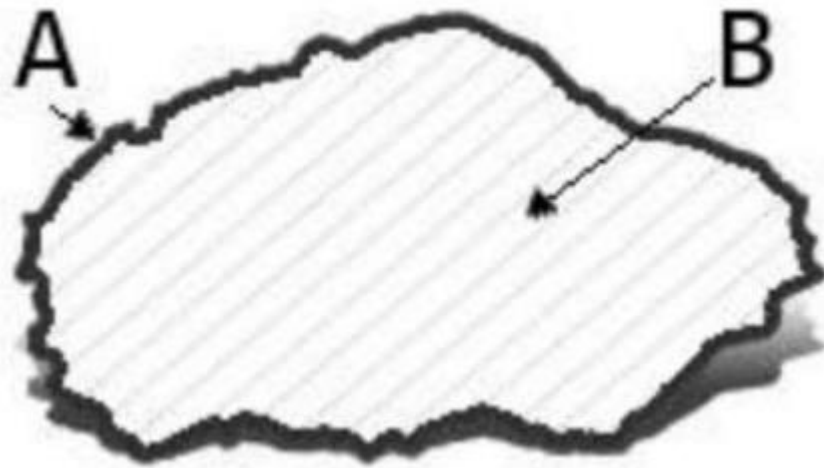


Fonte: PRÓPRIA (2021).

O método de calcinação varia muito com a composição dos calcários. A reação de calcinação inicia-se de fora para dentro do calcário e, de forma simultânea, ocorre a liberação de CO₂ na interface (SAMPAIO e ALMEIDA, 2008).

Se a cal virgem for calcinada em temperatura acima do ideal forma-se uma camada superficial de aproximadamente 0,8 a 1,2 mm de composto de cálcio sinterizado de alta dureza, parte indicada em “A”, que é solúvel em ácido clorídrico, porém, não é solúvel em água no tempo hábil do processo de tratamento, apresentando-se na forma de areia abrasiva e parte indicada em “B” interior calcinado. A Figura 3 mostra essa situação (QUALLICAL, 2014).

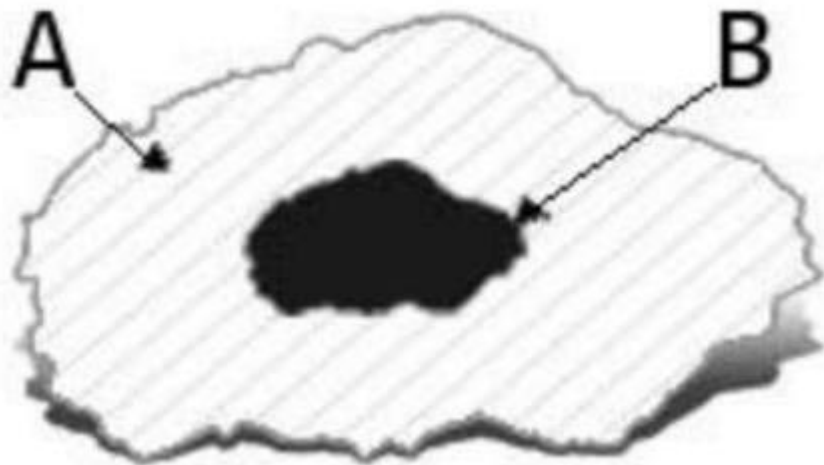
Figura 3 - Ilustração da cal virgem calcinada em temperatura acima do ideal



Fonte: QUALLICAL (2014).

Se a cal virgem for calcinada em temperatura abaixo do ideal, o núcleo da pedra permanecerá na forma de calcário diminuindo assim o teor de cálcio disponível e aumentando o teor de CO_2 . A Figura 4 e Figura 5 mostra uma pedra de cal virgem mal calcinada, na Figura 4 a parte indicada em “A” é a parte calcinada na forma de óxido de cálcio e parte indicada em “B” é a parte mal calcinada que apresenta residual de calcário que é pouco solúvel em água (QUALLICAL, 2014).

Figura 4 - Ilustração da cal virgem calcinada em temperatura abaixo do ideal



Fonte: QUALLICAL (2014).

Figura 5 - Cal virgem com núcleo não calcinado

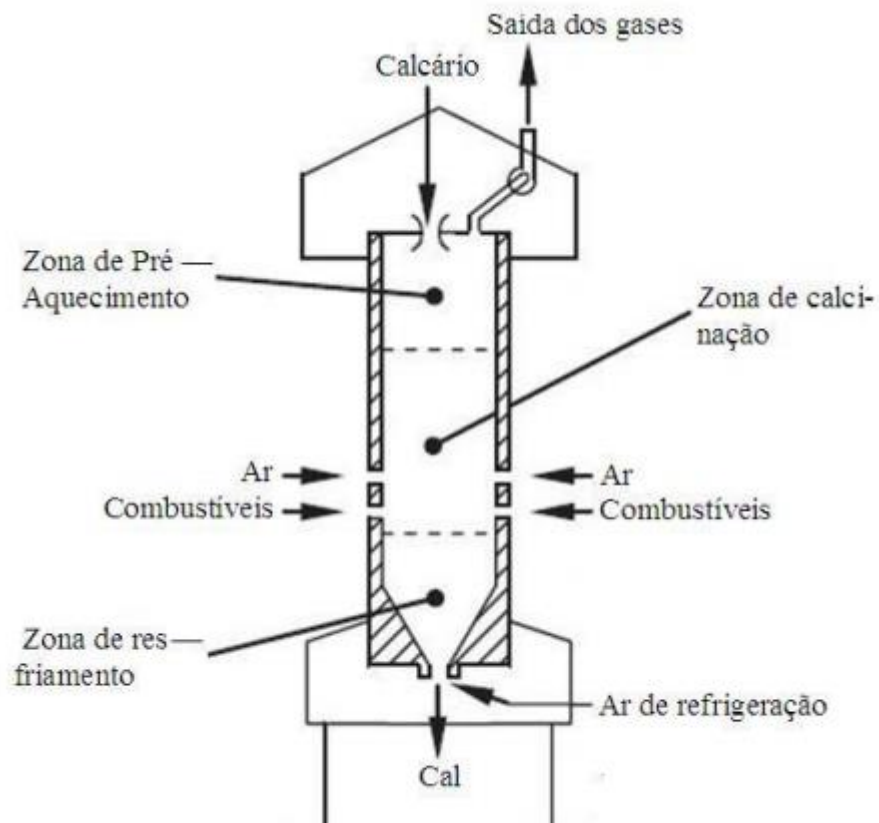


Fonte: SOARES (2007).

A calcinação ocorre dentro de fornos específicos, que são o centro do processo de transformação da pedra calcária em cal. Vão desde fornos de barranco simples a fornos rotativos modernos (SILVA. 2009).

No Brasil, a tecnologia mais moderna no uso de fornos de calcinação é a forno vertical de fluxo paralelo regenerativo, conhecido por MAERZ (JOHN, 2014).

Figura 6 - Forno vertical de cal.

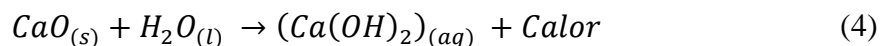


Fonte: OCHOA (2010).

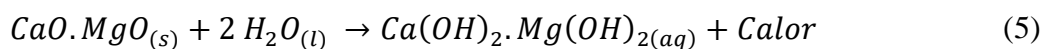
3.5 A cal hidratada

A hidratação ocorre com a adição de água a cal virgem. Para que o produto não provoque nenhum tipo de reação ao usuário final, ele deve seguir especificações controladas e estar de acordo com a normativa ABNT NBR – 7175 que normaliza a cal hidratada para argamassas. Deve também respeitar o tempo de cura para hidratação completa e as normas para a classificação da cal (CARPIO, 2013).

A cal hidratada é adjetiva a sua composição química, varia de acordo com as características da cal virgem que lhe dá origem. No caso da cal cálcica, a reação se processa da seguinte forma:



E no caso da cal dolomítica, tem-se:



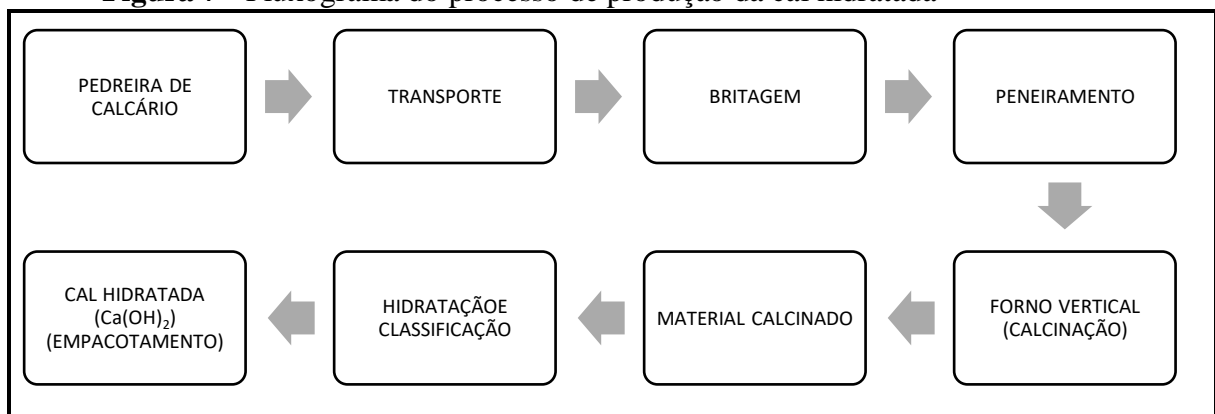
Os óxidos de cálcio iniciam o processo de hidratação com velocidade superior aos óxidos de magnésio. No primeiro contato com a água, a cal virgem implode e em torno de seu grão forma-se uma solução supersaturada com os íons Ca^{+2} e OH^- com um número suficiente de íons começa a formação e cristalização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

A hidratação da cal resulta em produtos com diferentes aspectos e características dependendo do processo utilizado, mas todos possuem a mesma característica química. O volume de água, a agitação e a temperatura de hidratação são as principais variáveis que afetam o produto de hidratação da cal. Dependendo destas variáveis o produto formado pode ter um aspecto de um pó seco micro pulverizado denominado de cal hidratada e pode ter um aspecto de solução sólido-líquida denominada leite de cal que terá uma viscosidade variada de acordo com o processo utilizado. A suspensão de hidróxido de cálcio pode ser obtida pela diluição da cal hidratada em água ou pela adição de água em excesso diretamente a cal virgem (BUTTERS e MCLEOD, 2002).

O processo para produção de cal hidratada é o processo mais simples e rústico necessitando apenas da adição estequiométrica de água a cal virgem com um misturador em um determinado recipiente (PARREIRA, 2010).

Logo abaixo, fluxograma do processo de hidratação da cal virgem na Figura 7 e Figura 8 é uma imagem do tanque de hidratação.

Figura 7 - Fluxograma do processo de produção da cal hidratada



Fonte: PRÓPRIA (2021).

Figura 8 - Tanque de hidratação



Fonte: PRÓPRIA (2021).

3.6 Requisitos e exigências da ABNT para a cal virgem e cal hidratada

De acordo com a ABNT NBR 6453 (2003) a cal virgem é um produto obtido pela calcinação de carbonatos de cálcio e/ou magnésio, constituído essencialmente de uma mistura de óxido de cálcio e óxido de magnésio, ou ainda de uma mistura de óxido de cálcio, óxido de magnésio e hidróxido de cálcio. Deve ser denominada conforme as exigências químicas indicadas na Tabela 2 e exigências físicas indicadas na Tabela 3 e pelas seguintes siglas:

- Cal virgem especial: CV-E;
- Cal virgem comum: CV-C;
- Cal virgem em pedra: CV-P.

Tabela 2 - Exigências químicas

Compostos		CV-E	CV-C	CV-P
Anidrido carbônico (CO₂)	Fábrica	≤ 6,0%	≤ 12,0%	≤ 12,0%
	Depósito ou obra	≤ 8,0%	≤ 15,0%	≤ 15,0%
Óxidos totais na base não volátil (CaO_{total} + MgO_{total})		≥ 90,0%	≥ 88,0%	≥ 88,0%
Água combinada	Fábrica	≤ 3,0%	≤ 3,5%	≤ 3,0%
	Depósito ou obra	≤ 3,6%	≤ 4,0%	≤ 3,6%

Fonte: ABNT NBR 6453 (2003).

Tabela 3 - Exigências físicas

Compostos		CV-E	CV-C	CV-P
Finura (% retida acumulada)	Peneira 1,00 mm	≤ 2,0	≤ 5,0	≥ 85,0
	Peneira 0,30 mm	≤ 15,0	≤ 30,0	-

Fonte: ABNT NBR 6453 (2003).

Já para a cal hidratada a normativa ABNT NBR 7175 (2003) define a cal hidratada como pó obtido pela hidratação da cal virgem, constituído, essencialmente de uma mistura de hidróxido de cálcio e hidróxido de magnésio, ou ainda, de uma mistura de hidróxido de cálcio, hidróxido de magnésio e óxido de magnésio.

Com a cal hidratada devendo ser denominada conforme as exigências químicas indicadas na Tabela 4 e exigências físicas indicadas na Tabela 5, e pelas seguintes siglas:

- Cal hidratada: CH-I;
- Cal hidratada: CH-II;
- Cal hidratada: CH-III.

Tabela 4 - Exigências químicas

Compostos		Limites		
		CH-I	CH-II	CH-III
Anidrido carbônico (CO₂)	Na fábrica	≤ 5%	≤ 5%	≤ 13%
	No depósito	≤ 7%	≤ 7%	≤ 15%
Óxidos cálcio e magnésio não hidratado calculado (CaO + MgO)		≤ 10%	≤ 15%	≤ 15%
Óxido totais na base de não-voláteis (CaO_t + MgO_t)		≥ 90%	≥ 88%	≥ 88%

Fonte: ABNT NBR 7175 (2003).

Tabela 5 - Exigências físicas

Compostos		Limites		
		CH-I	CH-II	CH-III
Finura (% retida acumulada)	Peneira 1,00 mm	≤ 0,5%	≤ 0,5%	≤ 0,5%
	Peneira 0,30 mm	≤ 10%	≤ 15%	≤ 15%
Retenção de água		≤ 75%	≤ 75%	≤ 70%
Incorporação de areia		≥ 3,0	≥ 2,5	≥ 2,2
Estabilidade		Ausência de cavidades ou protuberâncias		
Plasticidade		≥ 110	≥ 110	≥ 110

Fonte: ABNT NBR 7175 (2003).

4 METODOLOGIA

4.1 Seleção das amostras para análise

Foram selecionadas algumas amostras das rochas de carbonato de cálcio para a realização dos ensaios. Foram realizados todos os procedimentos de acordo com a normativa ABNT NBR 6473 (2003) para determinação de perda ao fogo (PF), para a determinação de óxido de cálcio (CaO) total e para a determinação de óxido de magnésio (MgO).

Na Figura 9 estão algumas rochas calcárias do tipo cálcica, magnesiana e dolomita e uma rocha qualquer, foram retiradas pequenas amostras para o cálculo de óxidos totais das rochas cálcica e dolomita para comparação de dados de acordo com a normativa ABNT NBR 7175 (2003).

Figura 9 - Rochas de carbonato de cálcio e magnésio do tipo cálcica e dolomita



Fonte: PRÓPRIA (2021).

4.2 Análise físico-químicas

As análises físico-químicas realizadas foram feitas com o calcário “in natura” e posteriormente com o calcário já beneficiado na forma de óxido de cálcio e/ou magnésio. Essas análises são realizadas para controle da qualidade do produto final e para determinar previamente o tipo de aplicação do calcário que será dada ainda em forma de rocha. Para a classificação do calcário são necessários realizar apenas as análises de óxidos totais e a análise de perda ao fogo (PF) seguindo a normativa ABNT NBR 6473 (2003) onde se encontra todo o procedimento e equações para a determinação dos resultados finais e determinação de óxidos totais na base de não-voláteis seguindo a normativa ABNT 7175(2003) onde também se encontra todo o processo de análise, equações e tabela de classificação de exigências químicas e físicas.

4.3 Determinação de perda ao fogo (PF)

A determinação da perda ao fogo (PF) é utilizada para calcular a quantidade de dióxido de carbono (CO₂) liberada ao realizar o processo de calcinação do calcário “in natura” ou o carbonato de cálcio já moído. A análise da perda ao fogo é realizada de acordo com o procedimento da normativa ABNT NBR 6473 (2003), listado abaixo:

- Tomar aproximadamente 1 g (m_4) das amostras, em um cadinho de porcelana ou similar previamente tarado a (1000 ± 50) °C, durante 15 minutos (m_5).
- Calcinar a amostra a (1000 ± 50) °C, durante um tempo de 45 a 60 minutos.
- Esfriar o cadinho com a amostra em dessecador e determinar a massa (m_6).
- Resultado: a perda ao fogo (PF) é calculada com aproximação de 0,1% pela equação:

$$PF = \frac{(m_5 - m_6)}{m_4} \times 100 \quad (6)$$

onde:

- PF é a perda ao fogo, em porcentagem;
- m_5 é a massa do cadinho com a amostra antes de calcinação, em gramas;
- m_6 é a massa do cadinho com a amostra após a calcinação, em gramas;
- m_4 é a massa inicial da amostra, em gramas;

4.4 Determinação de óxido de cálcio total (CaO)

A determinação de óxido de cálcio total é uma das análises mais importantes, onde verifica-se a porcentagem do óxido no calcário para determinar a sua origem e classificação bem como a finalidade ideal para as rochas com maior concentração desse óxido.

A análise de óxidos de cálcio totais é realizada de acordo com o procedimento da normativa ABNT NBR 6473 (2003), listado abaixo:

- Pipetar 10 cm³ do filtrado obtido na determinação da sílica e transferir para um béquer de 250 cm³.
- Adicionar aproximadamente 100 cm³ de água e, sob agitação constante, adicionar 10 cm³ de solução de trietanolamina a 30%, para eliminar ação do ferro e do alumínio sobre o cálcio.
- Elevar o pH da solução para a faixa de 12,5 a 12,9 com auxílio de peagômetro, adicionando a solução de hidróxido de potássio a 20%, gota a gota.
- Adicionar o indicador azul de hidroxinaftol e titular com solução de EDTA-Na 0,025M. A virada para a coloração deve permanecer estável por

aproximadamente 30 segundos, anotar o volume gasto (V_3) em centímetros cúbicos.

- e) Resultado: o teor de cálcio total (CaO) é calculado com aproximação de 0,1% pela equação:

$$CaO_t = \frac{V_3 \times F \times 25 \times 100 \times 1,4019349}{1.000 \times m_7} \quad (7)$$

onde:

CaO_t é o óxido de cálcio total, em porcentagem;

25 é a razão entre o volume do balão volumétrico (250 cm^3) e o volume da alíquota tomada para o ensaio (10 cm^3);

100 é o valor para transformação em porcentual;

1,4019349 é o equivalente de CaO_t por centímetros cúbicos de solução de EDTA-Na (0,025M), em miligramas;

1.000 é o valor para transformação de miligramas para gramas de acordo com a massa da amostra;

V_3 é o volume gasto de EDTA-Na na titulação, em centímetros cúbicos;

F é o fator da solução de EDTA-Na;

m_7 é a massa inicial da amostra usada na determinação da sílica + RI em gramas.

4.5 Determinação de óxido de magnésio total (MgO)

A determinação de óxido de magnésio total está associada aos resultados da análise de determinação de óxido de cálcio total com a finalidade de determinar o tipo de calcário que se está trabalhando podendo verificar a finalidade ideal para o uso desses tipos de rochas com concentração desse óxido elevada.

A análise de óxidos de magnésio totais é realizada de acordo com o procedimento da normativa ABNT NBR 6473 (2003), listado abaixo:

- Pipetar 10 cm^3 do filtrado obtido na determinação da sílica mais resíduo insolúvel e transferir para um béquer de 250 cm^3 .
- Adicionar aproximadamente 100 cm^3 de água e, sob agitação constante, adicionar 10 cm^3 de solução de trietanolamina a 30%.
- Elevar o pH da solução para a faixa de 10,1 a 10,5 com auxílio de peagômetro, adicionando hidróxido de potássio a 20%, gota a gota.
- Adicionar à solução o mesmo volume de EDTA consumido na titulação do cálcio (V_3).
- Adicionar o indicador preto de eriocromo T e titular lentamente com solução de EDTA-Na 0,025M. A virada para a coloração deve permanecer estável por aproximadamente 30 segundos, anotar o volume gasto (V_4) em centímetros cúbicos.
- Resultado: o teor de magnésio total (MgO) é calculado com aproximação de 0,1% pela equação:

$$MgO_t = \frac{V_5 \times F \times 25 \times 100 \times 1,0076099}{1.000 \times m_7} \quad (8)$$

onde:

MgO_t é o óxido de magnésio total, em porcentagem;

25 é a razão entre o volume do balão volumétrico (250 cm^3) e o volume da alíquota tomada para o ensaio (10 cm^3);

100 é o valor para transformação em porcentual;

1,0076099 é o equivalente de MgO_t por centímetros cúbicos de solução de EDTA-Na (0,025M), em miligramas;

1.000 é o valor para transformação de miligramas para gramas de acordo com a massa da amostra;

$$V_5 \text{ é } V_4 - V_3$$

F é o fator da solução de EDTA-Na;

V_3 é o volume gasto de EDTA-Na na titulação do cálcio, em centímetros cúbicos;

V_4 é o volume gasto de EDTA-Na na titulação do magnésio, em centímetros cúbicos;

m_7 é a massa inicial da amostra usada na determinação da sílica + RI em gramas.

4.6 Determinação de óxidos totais na base de não-voláteis % ($CaO_{total} + MgO_{total}$)

Na normativa ABNT NBR 7175(2003) se encontra a classificação para três tipos de cal hidratadas de acordo com o teor de óxidos totais na base de não-voláteis diferenciando-as quanto a este teor de acordo com a Tabela 4, esse teor indica a pureza da matéria empregada na produção. Esta classificação é utilizada para cal hidratada destinada a construção civil.

O teor de óxidos totais na base de não-voláteis % ($CaO_{total} + MgO_{total}$) deve ser calculado como segue:

$$\%(CaO_{total} + MgO_{total})_{\text{base de não-voláteis}} = \frac{\%(CaO_t + MgO_t) \times 100}{100 - \%PF} \quad (9)$$

onde:

CaO_t é o óxido de cálcio total, em porcentagem;

MgO_t é o óxido de cálcio total, em porcentagem;

%PF é a perda ao fogo, em porcentagem.

5 RESULTADOS E DISCURSÕES

5.1 Classificação do calcário mina da amostra 1

As rochas calcárias provenientes da mina onde foi retirada a amostra 1 possui uma coloração amarelada, mas alto grau de pureza de óxidos de cálcio e/ou magnésio, resultando numa ótima cal virgem ou cal hidratada após o seu beneficiamento tendo o produto final considerado como de alta qualidade.

Na Tabela 6 os resultados das análises da amostra da rocha de calcário proveniente desta mina.

Tabela 6 - Resultados da análise química amostra 1

Calcário mina da amostra 1	
Análise	Teor da amostra (%)
Óxido total de cálcio (CaO_t)	70,55
Óxido total de magnésio (MgO_t)	1,98
Perda ao fogo (PF)	25,92
Óxidos totais não-voláteis ($CaO_t + MgO_t$)	97,9076

Fonte: PRÓPRIA (2021).

5.2 Classificação do calcário mina da amostra 2

As rochas calcárias proveniente da mina onde foi retirada a amostra 2 possui uma alvura bastante elevada, verificando que mesmo não possuía alto grau de pureza de óxido de cálcio e/ou magnésio pode ser aproveitada para o processo de beneficiamento do carbonato de cálcio onde o produto final deste processo são destinados muitas vezes para a produção de tintas.

Na Tabela 7 os resultados das análises da amostra da rocha de calcário proveniente desta mina.

Tabela 7 - Resultados da análise química amostra 2

Calcário mina da amostra 2	
Análise	Teor da amostra (%)
Óxido total de cálcio (CaO) _t	46,53
Óxido total de magnésio (MgO) _t	23,73
Perda ao fogo (PF)	22,36
Óxidos totais não-voláteis (CaO _t + MgO _t)	90,50

Fonte: PRÓPRIA (2021).

5.3 Comparação dos resultados das análises e classificação

No estado da Paraíba, local da retirada da amostra 2, verifica-se que há predominância do calcário dolomita se comparado à calcíca, a dolomita possui um valor de comercialização menor pela sua pureza de óxidos de cálcio, porém isto não implica em dizer que sua extração e comercialização não seja viável economicamente.

Com base nos valores de óxidos totais não-voláteis, podemos classificar as amostras de acordo com as exigências químicas presente na Tabela 2 e Tabela 4, chegando ao resultado final que a cal proveniente do processamento das rochas da mina da amostra 2 e da mina da amostra 1 obtém-se uma cal de excelente qualidade. Com base nos resultados obtidos podemos classificar a cal proveniente da mina da amostra 2 como um calcário do tipo dolomita, classificada como CV-E (cal virgem especial) e CH-I (cal hidratada do tipo I) mesmo possuindo valores de óxidos totais não-voláteis, resultado de 90.50 %, ainda assim se encontra dentro dos parâmetros desejados pela normativa brasileira.

A cal proveniente da mina da amostra 1 obteve valores excelentes de óxidos totais não-voláteis, um valor de 97.9076 %, indicado que menos de 3% do material final é composto por óxidos não hidratados. Essa mesma cal também é classificada como CV-E e CH-I e como um calcário do tipo calcíca.

6 CONCLUSÃO

Com os resultados apresentados verifica-se que ao utilizar previamente os processos de análise química informados na normativa ABNT NBR 6473 (2003) obtém-se informações da composição de óxidos daquele calcário onde estas são utilizadas para averiguar a viabilidade econômica da compra da matéria prima dessas minas, pois fatores logísticos e preço por tonelada do material também devem ser levado em consideração. Vale ressaltar que rochas de calcário dolomitas são utilizadas nos mesmos processos industriais onde são empregados o uso das rochas de calcário calcita, mesmo o calcário dolomita possuindo uma concentração de óxidos de magnésio maior ele não é recomendado para o uso de aditivo alimentar de animais,

mas é comumente utilizado na indústria de tijolos refratários e corretivos de solos. Com os resultados obtidos das amostras, os dois tipos de calcário produzem uma cal virgem e uma cal hidratada de alto padrão indicando que os dois tipos de matéria prima são bastante viáveis para o processo de beneficiamento do carbonato de cálcio.

REFERÊNCIAS

ABNT NBR 6453/2003 – **Cal virgem para construção civil – Requisitos**. Disponível em: <http://abnt.org.br/>. Acesso em: 20 de abril de 2021.

ABNT NBR 6473 – **Cal virgem e cal hidratada – Análise química**. Disponível em: <http://abnt.org.br/>. Acesso em: 20 de abril de 2021.

ABNT NBR 7175 – **Cal hidratada para argamassas – Requisitos**. Disponível em: <http://abnt.org.br/>. Acesso em: 20 de abril de 2021.

BRASIL. MCTI. **Emissões de gases de efeito estufa nos processos industriais: Produtos minerais parte II**. Relatório de referência: Produção de cal, outros usos do calcário e dolomita, produção e uso de barrilha. 2º Inventário brasileiro de emissões e remoções antrópicas de gases de efeito estufa. Brasília, 2010. Disponível em: https://cetesb.sp.gov.br/inventario-gee-sp/wp-content/uploads/sites/34/2014/04/brasil_mcti_cal.pdf. Acesso em: 20 de maio 2021.

BRASIL. MME. **Agência Nacional De Mineração: Sumário Mineral 2017**. Brasília, v. 37, ISSN 0101-2053, p.72-77, 2019. Disponível em: https://www.gov.br/anm/pt-br/centrais-de-contenido/publicacoes/serie-estatisticas-e-economia-mineral/sumario-mineral/sumariomineral_2017. Acesso em: 20 de maio 2021.

BUTTERS, M. P.; MCLEOD, G. **Fine particle size lime slurries and their production**. Patente número WO 02/092701 A1, novembro de 2002. Disponível em: <https://patentimages.storage.googleapis.com/69/5c/4c/748abe58844baf/US20040129175A1.pdf>. Acesso em: 20 de maio 2021.

CARPIO, R. C. et al. Estado da arte do processo produtivo da cal na região centro oeste de Minas Gerais. **Revista ForScience: IFMG campus Formiga**, Formiga, v. 1, n. 1, p.49-60, jul./dez. 2013. DOI: <http://dx.doi.org/10.29069/forscience.2013v1n1.e49>. Disponível em: <http://www.forscience.ifmg.edu.br/forscience/index.php/forscience/article/download/49/45/273>. Acesso em: 30 de abril de 2021.

CINCOTTO, M. A. **Estudo da composição química da cal hidratada produzida no estado de São Paulo**. 1977. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) Faculdade de Engenharia Química – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1977.

GUIMARÃES, J. E. P. **A cal – Fundamentos e aplicações na Engenharia Civil**. 1998, 285 f. Associação Brasileira de Produtores de Cal (ABPC), 1ª Edição, São Paulo, 1998.

HILL, N.; MASON, K. **How to calculate the energy efficiency of your lime burning process. Practical Action, World Cement**. Practical Action, The Schumacher Centre for Technology and Development, Bourton on Dunsmore, UK 1997. Disponível em:

<https://www.ecosur.org/index.php/es/publicaciones-2/english-publications?download=53:how-to-calculate-the-energy-efficiency-of-your-lime-burning-process>. Acesso em: 20 de maio 2021.

INCAPER. **Calagem: Saiba como fazer e colha bons frutos**. 2007. Disponível em: <<https://biblioteca.incaper.es.gov.br/digital/bitstream/item/644/1/Calagem.pdf>> Acesso em: 20 de maio 2021.

JOHN, V. M. et al. **Economia de baixo carbono: avaliação de impactos de restrições e perspectivas tecnológicas**. Produção de cal. Relatório final Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade de Ribeirão Preto - Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, 2014.

Disponível em:

http://www.comexresponde.gov.br/portalmdic/arquivos/dwnl_1423738707.pdf.

Acessado em: 20 de maio 2021.

MOURA, R. D. **Classificação do calcário da região do cariri oriental paraibano usado na produção de carbonato de cálcio**. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Química Industrial) Centro de Ciências e Tecnologia – Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, 2014. Disponível em: <http://dspace.bc.uepb.edu.br/jspui/handle/123456789/3799>. Acesso em: 20 de maio 2021.

MOURA, R. D. et al. Classificação do calcário da região do cariri oriental paraibano usado na produção de carbonato de cálcio. **COBEQ 2014 – XX Congresso Brasileiro de Engenharia Química**. Florianópolis, 19 a 22 de outubro, 2014.

OCHOA, P. A. G. et al. **Cleaner production in a small lime factory by means of process control**. Journal of Cleaner Production, v. 18, n. 12, p. 1171-1176, apr. 2010. Disponível em: https://www.academia.edu/6369555/Cleaner_production_in_a_small_lime_factory_by_means_of_process_control. Acesso em: 30 de abril de 2021.

PARREIRA, P. M. **Projeto e operação de hidratadores industriais de cal virgem**.

Dissertação (Pós-Graduação em Engenharia Química) Faculdade de Engenharia Química – Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia, 2010. Disponível em:

<https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/15207>. Acesso em: 31 de maio 2021.

QUALLICAL. **Cal Hidratada e Cal virgem**. 2014. Disponível em:

<https://docplayer.com.br/2119890-Cal-hidratada-e-cal-virgem.html>. Acesso em: 20 de maio 2021.

SAMPAIO, J. A.; ALMEIDA, S. L. M. **Calcário e Dolomito. In: Rochas e minerais industriais, uso e especificações**. Ed.: LUZ, A. B. e LINS, F. A. F., 2ª edição, CETEM/MCT, Rio de Janeiro, p. 363-387, 2008. Disponível em:

<http://mineralis.cetem.gov.br/bitstream/cetem/522/1/Rochas%20Min.Ind.2a%20edicao%20%28Adao%20e%20F.Lins%29.pdf>. Acesso em: 30 de abril de 2021.

SGORLON, J. G. **Apostila Industrial da Cal**. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. 2012.

SILVA, J. O. **Desenvolvimento de estudos para elaboração do plano duodecenal (2010-2030) de geologia, mineração e transformação mineral.** Relatório de consultoria: Produto RT 72 Perfil da cal. Projeto Estal: J. Mendo Consultoria. Ministério de Minas e Energia - MME, setembro de 2009.

Disponível em: https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/secretarias/geologia-mineracao-e-transformacao-mineral/relatorios-de-apoio-ao-pnm-2030-projeto-estal-1/a-transformacao-mineral-no-brasil/documentos/relatorio-ndeg72_-perfil-do-cal.doc/view. Acessado em: 20 de maio 2021.

SOARES, B. D. **Estudo da produção de óxido de cálcio por calcinação do calcário: caracterização dos sólidos, decomposição térmica e otimização paramétrica.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Faculdade de Engenharia Química, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2007. Disponível em:

<https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/15127>. Acesso em: 27 de abril de 2021.

SOUTO, E. C. S. **Estudo de condições operacionais para obtenção de carbonato de cálcio precipitado.** 2008, 98f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Faculdade de Engenharia Química, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2008. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/15107>. Acesso em: 27 de abril de 2021.

AGRADECIMENTOS

A Deus por me proporcionar saúde, força e paciência para superar as adversidades da vida.

Ao meu pai por toda ajuda e conselhos, por toda a sua cobrança que sempre me encorajaram a buscar o melhor de mim para te mostrar o filho que você tem, te amo muito pai!

A minha esposa por sempre me encorajar e me mostrar o quanto era necessário realizar esse sonho e ir em busca do melhor para a nossa vida. Te agradeço muito por me ajudar a chegar neste momento em minha vida, te amo!

A minha mãe, por sempre cobrar e se preocupar comigo, por todo o cuidado que a senhora tem com seu filho e todo o auxílio que a senhora me deu para eu poder chegar até aqui, muito obrigado de todo o meu coração, eu também te amo muito.

A minha avó por sempre me incentivar e lembrar de tudo que passei para chegar neste momento, por me fazer acreditar em mim, obrigado e isso também é graças a senhora!

As minhas tias, tia Josabete, tia Verônica e tia Josilene, que juntas com minha esposa, minha mãe e minha avó são as mulheres da minha vida. Quero deixar registrado aqui o meu pedido de desculpas se em algum momento eu desapontei vocês e que em todo o momento realizando esse trabalho de conclusão de curso sempre pensei em vocês, a finalização disso é graças a vocês, também é um pouco da minha demonstração de gratidão e amor por vocês.

Agradeço ao químico Edson por toda ajuda, sempre me perguntar como estava indo esse trabalho, a Elenice que sempre me ajudou bastante, ao pessoal da empresa de mineração que me ajudaram com as análises e amostras para este trabalho.

A minha ilustre orientadora e professora Pablícia Oliveira, por me ajudar com este trabalho com toda a sua paciência e sabedoria mesmo com todas as adversidades do momento, mas graças a senhora eu cheguei à conclusão deste trabalho.

E aos meus amigos de coração, Fellype Diorgennes amigo do curso de Química Industrial que sempre se dispôs a me ajudar com este trabalho e com todo o momento de nossa vida acadêmica, ao meu amigo José Ítalo que sempre me apoiou e se importou comigo, muito obrigado a vocês.

Muito obrigado a todos!