



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO

CAMPUS MOSSORÓ

CENTRO DE ENGENHARIAS - CE

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA E TECNOLOGIA - DET

CURSO DE ENGENHARIA QUÍMICA

WANDER LUIS BELMINO HOLANDA REGIS

ESTUDO DO PROCESSO DE MINERAÇÃO DO CALCÁRIO

Mossoró/RN

2019

WANDER LUIS BELMINO HOLANDA REGIS

ESTUDO DO PROCESSO DE MINERAÇÃO DO CALCÁRIO

Trabalho de Conclusão de Curso submetido à Coordenação do Curso Bacharelado em Engenharia Química da UFERSA – Universidade Federal Rural do Semi-Árido, como requisito parcial da obtenção da graduação no referido curso. Este trabalho foi realizado sob a orientação da Prof^a Dr^a Geraldine Angélica Silva da Nóbrega do Departamento de Engenharia e Tecnologia.

Mossoró/RN

2019

WANDER LUIS BELMINO HOLANDA REGIS

ESTUDO DO PROCESSO DE MINERAÇÃO DO CALCÁRIO

Trabalho de Conclusão de Curso submetido à Coordenação do Curso Bacharelado em Engenharia Química da UFERSA – Universidade Federal Rural do Semi-Árido, como requisito parcial da obtenção da graduação no referido curso. Este trabalho foi realizado sob a orientação da Profª Drª Geraldine Angélica Silva da Nóbrega do Departamento de Engenharia e Tecnologia.

APROVADO EM: 19/03/2019.



Profª. Drª. Geraldine Angélica Silva da Nóbrega

Presidente – UFERSA



Prof. Dr. Manoel Reginaldo Fernandes

Primeiro Membro – UFERSA



Prof. Dr. André Luis Novais Mota

Segundo Membro – UFERSA

AGRADECIMENTOS

Primeiramente gostaria de agradecer a Deus por ter me feito persistir no curso depois de todas dificuldades e por fim concluí-lo.

Agradecer aos meus pais, pois sem eles não seria possível eu conseguir alcançar esse êxito. Eu definitivamente sou muito grato por tudo que fizeram por mim, tomara que um dia eu possa conseguir recompensá-los.

Agradecer aos meus avós, por toda proteção e ajuda que me forneceram ao longo desses anos. Sei que mesmo eles não conseguindo presenciar o término de meu curso acredito que estão muito felizes com minha conquista e estão orando por mim como sempre fizeram.

Agradecer a minha namorada Milena Jeimissa, por todo seu apoio, paciência, carinho e amor. Agradecer também por toda ajuda que me forneceu para concluir esse trabalho.

Agradecer a minha orientadora Geraldine Angélica, por todo incentivo e ensinamentos passados como professora e orientadora.

Agradecer a todos os professores a quem tive o privilégio de ser aluno, obrigado por todo conhecimento transmitido ao longo desses anos.

Agradecer a todos os amigos que fiz neste curso, sejam eles na faculdade, sejam eles fora dela, não conseguiria mencionar, pois são muitos. Obrigado por toda paciência, ajuda e conhecimento, o curso ficou mais fácil e divertido com vocês ao meu lado.

“Quase todos os homens são capazes de suportar adversidades, mas se quiser pôr à prova o caráter de um homem, dê-lhe poder.”
(Abraham Lincoln).

RESUMO

A implantação de indústrias na região semiárida do Ceará sempre foi um desafio para os empresários. Tentando driblar essa situação escassa, buscaram explorar o que a região tinha de mais abundante, as diversas fontes de recursos minerais. Dentre estes está o calcário que é matéria-prima para diversos setores da indústria civil, agrícola, química, papelreira, plástica, siderúrgica dentre outras. A Minerado e Indústria Carbomil Química S.A., tendo sua Matriz na região da Chapada do Apodi, em Limoeiro do Norte, é uma das pioneiras nesse setor e tem como objetivo levar matéria-prima de qualidade para seus clientes, tais quais carbonatos de cálcio, óxidos de cálcio e hidróxidos de cálcio, produzidos a partir de tecnologias inovadoras e acompanhadas por um setor de qualidade de ponta, além de se preocupar com o meio-ambiente e dispor de medidas para abrandar possíveis danos que venham surgir ao mesmo. Logo, o seguinte trabalho, conduziu-se em acompanhar os setores presentes desta empresa, desde a extração do recurso mineral, passando pelo setor produtivo e chegando, por fim, ao setor de qualidade e logística.

Palavras-chave: Exploração, calcário, mineradora, matéria-prima, processo, inovação.

LISTA DE ABREVIACÕES

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

CPRM - Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais

DNPM - Departamento Nacional de Produção Mineral

ISO – *International Organization for Standardization*

MR – Moinho Raymond

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Mapa geológico do Estado do Ceará	11
Figura 2 - Representação de moinhos de rolos tipo Raymond	13
Figura 3 - Representação dos rolos do moinho tipo Raymond.....	13
Figura 4 - Configuração de moinhos de rolos tipo Raymond (circuito fechado).....	18
Figura 5 - Disposição dos fornos Carbomil.....	19
Figura 6 - Janela do forno.....	20
Figura 7 - Aparelho X-Rite.....	26
Figura 8 - Aparelho Sedigraph III (à esquerda) e o aparelho de ultrassom (à direita)	27

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Retenção da peneira para diferentes produtos carbonatos.....	17
Tabela 2 - Retenção da peneira para diferentes produtos óxidos	21
Tabela 3 - Retenção da peneira para diferentes produtos hidróxidos.....	22

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	10
2. REFERENCIAL TEÓRICO	11
3. A EMPRESA.....	15
3.1 PROCESSO PRODUTIVO	16
3.1.1 Setor de micronização	16
3.1.2 Setor dos fornos	18
3.1.3 Setor de hidratação.....	21
3.2 AMOSTRAGEM	22
3.3 ANÁLISES LABORATORIAIS	24
3.3.1 Análises físicas	24
3.3.1.1 Teste de peneira	25
3.3.1.2 Teste de cor	26
3.3.1.3 Distribuição granulométrica	26
3.3.2 Análises químicas.....	28
3.3.2.1 Análise de perda por calor (PPC)	29
3.3.2.2 Determinação de óxido de cálcio disponível (CaO_d).....	30
3.3.2.3 Determinação da sílica mais resíduo insolúvel ($\text{SiO}_2 + \text{RI}$).....	30
3.3.2.4 Determinação do óxido férrico (Fe_2O_3)	32
3.3.2.5 Determinação do óxido de alumínio (Al_2O_3).....	32
3.3.2.6 Determinação de óxido de cálcio total (CaO_t)	33
3.3.2.7 Determinação de óxido de magnésio (MgO)	34
3.4 DESPACHO DO PRODUTO FINAL	35
3.5 FLUXOGRAMA DE PROCESSO.....	36
3.5.1 Fluxograma para o produto Carbonato de Cálcio Microfluid 2620 GB	36
3.5.2 Fluxograma para o produto Óxido de Cálcio Britada 1”	37
3.5.3 Fluxograma para o produto Hidróxido de Cálcio	38
4. ATIVIDADES DESENVOLVIDAS.....	39
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	41
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	42

1. INTRODUÇÃO

O Brasil, considerado um país continental, possui diversas características diferentes de clima, solo e vegetação ao longo de sua extensão territorial. O Nordeste, por sua vez, é uma região brasileira onde encontramos as maiores adversidades quando se trata de clima. Predominantemente semiárido, onde os recursos hídricos são, na maioria das vezes, escassos, influenciando diretamente no solo em relação a sua fertilidade.

A implementação de indústrias nessa região do país sempre foi um desafio para os empresários, pois a maior parte destas são dependentes de recursos hídricos. Para contornar esta situação partiu-se a ideia de explorar o que aquela região tinha de mais próspero, os recursos minerais. Mais precisamente no Ceará, onde encontrariam o quadro estratigráfico em grande escala de reconhecimento uma vez que, em relação aos posicionamentos das unidades metamorfo-migmatíticas pré-cambrianas, juntamente com as magmáticas, representam cerca de 70% do território (VIDAL et al., 2005).

Na Chapada do Apodi é onde encontra-se grandes concentrações de tais recursos minerais e foi nessa região que visionários aproveitaram para implantar seus negócios. Esta área abrange a porção norte-oriental do Ceará, limitando-se com o Estado do Rio Grande do Norte. Este terreno é composto de calcário sedimentar que é aproveitado tanto para fabricação da cal, quanto para a rocha ornamental e de revestimento (VIDAL et al., 2005).

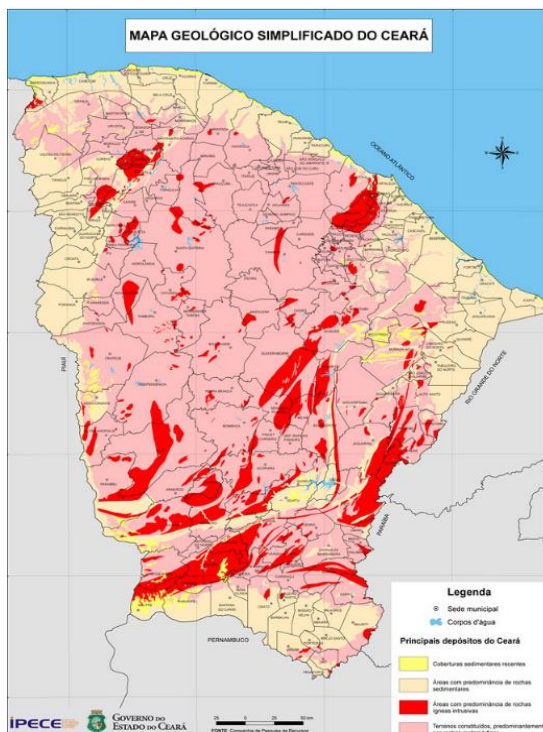
A Mineradora e Indústria Carbomil Química S/A foi uma das empresas que se instalaram na região em meados dos anos 70. Tendo sua matriz no município de Limoeiro do Norte, Ceará, a Carbomil, além de trazer emprego para a região, tem como objetivo levar para seus clientes matéria-prima de alta qualidade. Nesta empresa podemos encontrar carbonatos de cálcio, óxidos de cálcio e hidróxidos de cálcio que serão distribuídos para inúmeros setores da indústria brasileira e internacional.

A partir dos conhecimentos alcançados ao decorrer do curso, o seguinte trabalho tem como objetivo acompanhar e participar, na medida do possível, do processo produtivo da empresa bem como o sistema de qualidade e logística da mesma. Podemos, assim, colocar em prática anos de conhecimento teórico adquiridos na faculdade.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

O processo de mineração no Ceará começou desde a época da colonização, assim como em outras regiões do Brasil. Devido à época, a quantidade de material retirado era muito pequena e a principal demanda estava direcionada para argilas, areias e cascalhos utilizados na construção civil. Até o século XIX, o desenvolvimento da mineração neste Estado ainda se mostrava lento, com aplicações de técnicas rudimentares e mão de obra desqualificada. Em meados dos anos 40, este setor foi sendo intensificado devido aos acontecimentos da Segunda Guerra Mundial. Outra grande contribuição para a mineração foi a criação de cursos de Geologia nas universidades do Ceará por volta dos anos 70. Mas foi em 1987 que o Governo do Estado decidiu promover iniciativas com o propósito de mudar o seu perfil econômico, reduzindo a participação das atividades que necessitassem de fatores climáticos e aumentando outras mais ligadas à mineração (VIDAL et al., 2005). O mapa geológico da Figura 1 nos revela o grande potencial mineralógico deste Estado.

Figura 1 - Mapa geológico do Estado do Ceará



Fonte: Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais - CPRM (2015)

A partir da Figura 1 observamos a predominância de terrenos constituídos de rochas metamórficas (região em cor rosa) e em segundo lugar áreas onde prevalece as rochas de

caráter sedimentar (região em cor bege). Dentre essas áreas podemos destacar a Chapada do Araripe, localizada ao Sul do Estado fazendo fronteira com Pernambuco; a Chapada da Ibiapaba, presente na porção ocidental do Ceará no limite com o Piauí; e a Chapada do Apodi, ficando ao norte-oriental em fronteira com o Rio Grande do Norte. São nessas áreas que se localizam inúmeras indústrias que aproveitam o calcário sedimentar para, entre outras finalidades, a produção da cal.

A maior parte do calcário sedimentar é de origem orgânica formada por intermédio do processo de construção dos esqueletos da vida marinha sendo essas estruturas compostas de carbonatos de cálcio quase puros. O calcário sedimentar da Chapada do Apodi possui características de cor, granulometria, concentração de cálcio e baixo teor de impurezas que contribuem para a fabricação de produtos de alta qualidade (SOBRAL, 1995). Este minério possui inúmeras utilidades, desde matéria-prima para a fabricação de cal e cimento, corretivos de solos ácidos, tintas, ingredientes na indústria de papel, plásticos, química, siderúrgica, de vidro; refratários e entre outras.

As rochas sedimentares mais comercializadas, em todo mundo, são a calcita, composta basicamente de carbonato de cálcio (CaCO_3) e o dolomito, formado, também, pelo carbonato de cálcio juntamente com carbonato de magnésio (MgCO_3), sendo a calcita aquela que apresenta maior valor econômico em comparação às demais (SAMPAIO et al., 2009).

O Brasil é atualmente um dos maiores produtores de calcário no mundo sendo sua produção em torno de cem milhões de toneladas de calcário bruto e beneficiado, possuindo um crescimento de aproximadamente vinte por cento nos últimos cinco anos (DNPM, 2014). Porém o calcário, salvo suas formas beneficiadas mais sofisticadas, apresenta baixo valor agregado resultado de uma estreita relação entre a demanda e a produção. Para contornar esta situação, as indústrias tendem a intensificar na fabricação de produtos provenientes do calcário, tais como carbonatos de cálcio moído, óxido de cálcio e hidróxidos de cálcio de alta qualidade.

O carbonato de cálcio moído, também conhecido como carbonato de cálcio natural, possui uma granulometria ultrafina, inferior à $10\mu\text{m}$, dispondo de inúmeras aplicações nas indústrias de papel, plásticos, tintas, entre outras. Na maioria das indústrias o processamento se dá por via seca, a partir das etapas de britagem, classificação, moagem em moinho de rolos tipo Raymond ou em moinhos tubulares com bolas (SAMPAIO et al., 2009).

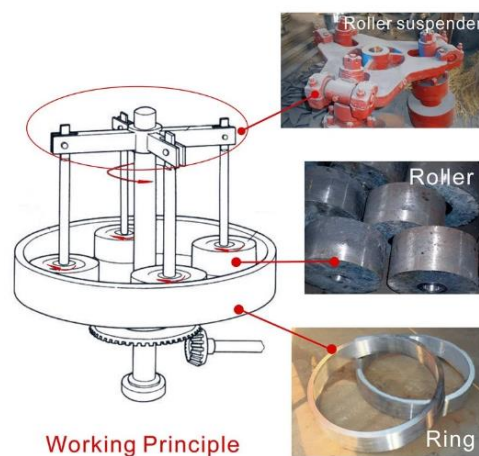
Moinhos de rolos tipo Raymond, representados na Figura 2, são utilizados na moagem fina de materiais com baixa a média resistência à fragmentação, tais como carvão, calcário, cal, argilas. Nesses moinhos, o material a ser moído é submetido às forças de fragmentação na fenda entre um rolo e um plano de moagem ou na fenda entre dois rolos (Figura 3). Uma característica desses moinhos de rolos de alta pressão é que a moagem é efetuada, predominantemente, por forças de pressão que são aplicadas a camadas de material (WELLENKAMP, 1999).

Figura 2 - Representação de moinhos de rolos tipo Raymond



Fonte: Alibaba (2019)

Figura 3 - Representação dos rolos do moinho tipo Raymond



Fonte: Alibaba (2019)

O óxido de cálcio, genericamente conhecida como cal, é um produto derivado da calcinação do calcário. A mesma acontece quando adiciona-se calor ao calcário e este é transformado em óxido de cálcio. Em geral, a calcinação ocorre em temperatura próxima àquela de fusão do material, no caso do calcário, na faixa de 900 a 1.000°C (SAMPAIO et al., 2009). Esse tipo de produto é bastante utilizado na construção civil e na preparação dos processos de pintura. É empregado também na indústria cerâmica, metalúrgica e siderúrgica.

A cal hidratada, como é conhecido o hidróxido de cálcio, é simplesmente o óxido de cálcio que passa por um sistema de hidratação. Nesse processo o óxido reage com a água produzindo o hidróxido de cálcio através de uma reação exotérmica (SAMPAIO et al., 2009). Há diversas utilidades para a cal hidratada, sendo as principais direcionadas a indústria civil e a agropecuária, tanto para aditivos de correção do pH do solo quanto para o setor de carcinicultura.

3. A EMPRESA

A Minerado e Indústria Carbomil Química S.A. é uma empresa do ramo de mineração do calcário com sua matriz no município de Limoeiro do Norte, Ceará. Fundada em 1960 por Luciano Héber Quinderé e seus irmãos, em primeiro momento, a denominaram de Quinderé Mineração e Indústria S.A. Foi implantada com o objetivo de explorar as diversas fontes de recursos minerais no estado do Ceará, principalmente na região da Chapada do Apodi, como opção para o desenvolvimento no setor mineral, já que o estado localizado no semiárido ainda tinha oportunidades econômicas escassas. Em 1973, sob a presidência de D. Maria de Lourdes da Silveira Quinderé, passa a denominação de Carbomil S.A. Mineração e Indústria (CARBOMIL, 2019).

A matriz Carbomil, onde foi realizado o estágio, se concentra na fabricação de produtos que possuem como matéria-prima o calcário calcítico, tais quais carbonatos, óxidos e hidróxidos de cálcio. A empresa é certificada pela ISO 9001:2008. Em relação a sua infraestrutura a empresa detém de uma organizada e adequada estrutura desde a extração do calcário até o despacho do produto final. Neste espaço industrial podemos encontrar:

- Estacionamento para motocicletas, automóveis, ônibus e caminhões.
- Guarita/recepção.
- Banheiro/vestuário.
- Central de energia.
- Central de ar-comprimido.
- Área verde.
- Área de assistência médica.
- Setor administrativo.
- Setor de TI.
- Laboratório químico.
- Refeitório.
- Setor de segurança.
- Setor de serviços-gerais.
- Almoxarifado.
- Setor mecânico.

- Setor de abastecimento (combustível).
- Mina de calcário.
- Estoque de calcário.
- Setor de lenha para os fornos.
- Setor dos fornos.
- Setor de hidratação.
- Setor de micronização.
- Área de estocagem e despacho.
- Área de rejeitos.

3.1 PROCESSO PRODUTIVO

A Carbomil trabalha com três tipos diferentes de produtos, como já mencionados anteriormente. Cada um destes é fabricado em setores diferentes, porém todas as análises, tanto físicas quanto químicas, são realizadas no laboratório químico. A princípio, será discutido sobre o material produzido em cada setor, posteriormente, será abordado o processo de coleta e obtenção de amostra e por fim quais análises são realizadas no laboratório e como se dá o processo de despacho do produto final.

3.1.1 Setor de micronização

É nesse setor da empresa onde são fabricados os produtos carbonatos, ou seja, aqueles onde só acontece o processo de moagem, são os chamados carbonatos de cálcio natural. Tais produtos necessitam ter uma granulometria extremamente fina e para tanto são utilizados moinhos de rolos tipo Raymond. Neste setor, podemos encontrar ao todo 12 desses moinhos que, de acordo com sua rotação, em RPM (rotação por minuto), transformam o calcário em um pó fino e uma das maneiras de diferenciá-lo é de acordo com o tamanho de seus grãos. A retenção permitida de alguns desses produtos está disposta na Tabela 1.

Tabela 1 - Retenção da peneira para diferentes produtos carbonatos

Nome do Produto	Retenção na Peneira (Mesh)		
	325	400	500
Carbonato de Cálcio Microfluid 2620 GB	-	≤ 0,02%	-
Carbonato de Cálcio Microfluid 2620 MB	-	-	≤ 0,05%
Carbonato de Cálcio Microfluid 2620 MB Médio	-	≤ 0,01%	-
Carbonato de Cálcio Microfluid 2620 CMT	≤ 0,5%	-	-
Carbonato de Cálcio Natural C – 500 P	≤ 0,5%	-	-

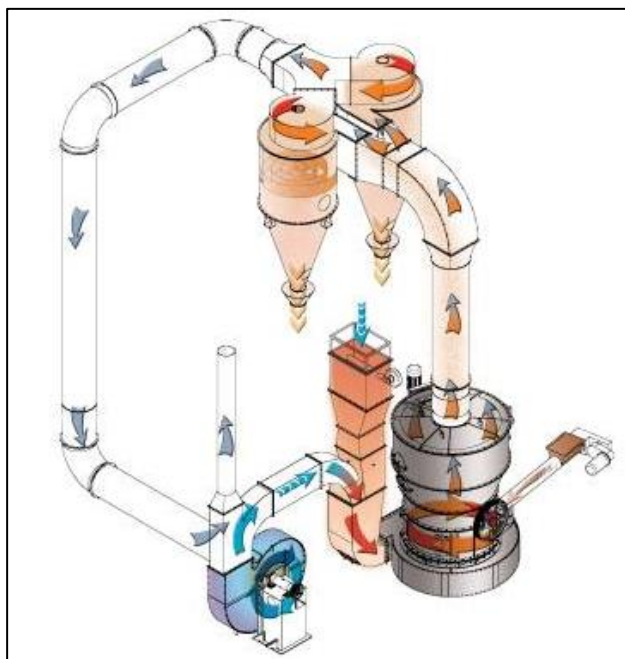
Fonte: Carbomil (2019)

Em se tratando do processo, tudo começa com a escolha do calcário na mina, uma vez que, a rocha direcionada ao setor de micronização, não é a mesma que irá passar pelo processo de calcinação nos fornos. Este calcário, nomeado pela empresa como Claro B, possui um maior valor de mercado e sua utilização para produção de óxidos e hidróxidos traria prejuízos à indústria. Feito a coleta do calcário na mina, o mesmo é direcionado, por intermédio de caminhões, para um britador mandíbula onde essa rocha é triturada, atingindo uma granulometria, determinada por peneiras vibratórias. Após esse processo o rocha é estocada em um monte denominado de pilha pulmão de calcário Claro B.

Dá pilha pulmão o calcário é conduzido, por meio de correias transportadoras, até um silo. Abaixo deste, encontra-se outro britador mandíbula que triturar a rocha de modo que ela fique com um diâmetro inferior à 1 polegada. Diâmetros maiores acarretarão no mal funcionamento dos moinhos, logo, esta parte deve ser constantemente supervisionada. Com o tamanho certo, o calcário é conduzido até pré-silos que alimentarão os 12 moinhos de rolos tipo Raymond presentes naquele setor.

A alimentação dos moinhos é feita de forma contínua e uniforme na câmara de moagem. Depois de moído, o material é transportado na parte superior do moinho por meio de ar, que circula graças a um ventilador. O processo de separação sólido-ar ocorre no ciclone coletor de abatimento. Ele está localizado entre o moinho pendular e o ventilador, ligados por uma série de tubulações. Este sistema é conhecido como ciclo fechado (MANFREDINI et al., 2019). A Figura 4 nos mostra a configuração deste processo. O que não é aproveitado, por possuir uma maior granulometria, é conduzido a filtros de manga.

Figura 4 - Configuração de moinhos de rolos tipo Raymond (circuito fechado)



Fonte: Manfredini (2019)

Do ciclone o produto é conduzido por roscas transportadoras até a ensacadora. Nesse momento, dependendo do produto, ou ele é estocado em sacos de 20 kg empilhados em paletes contendo 50 sacos, ou ele é distribuído em bags de aproximadamente 1350 kg. Tais produtos serão conduzidos para o setor de estoque da empresa.

3.1.2 Setor dos fornos

A Carbomil dispõe, neste setor, de 4 fornos, sendo um deles muito antigo e por esse motivo está desativado. Dos restantes, só há dois em pleno funcionamento, estando o outro em reforma. A disposição dos fornos pode ser visualizada na Figura 5.

Figura 5 - Disposição dos fornos Carbomil



Fonte: Vasconcelos (2008)

O mesmo processo de britagem e separação que ocorre com a rocha que é direcionada ao setor de micronização acontece com a rocha que é conduzida ao forno. Porém este calcário é diferente do Claro B, pois possui um menor valor agregado. Após a separação da rocha de tamanho ideal, esta é estocada em uma pilha pulmão de calcário para forno. O calcário então passa novamente por outra peneira vibratória e é conduzido por correias transportadoras até os fornos.

No processo de alimentação dos fornos, um carrinho acoplado em cada forno, é preenchido de calcário e então, o Operador de Forno, da cabine de comando, o ergue até o topo e despeja todo o conteúdo nele presente. A quantidade de calcário contida em cada forno é controlada por “janelas”, segundo a Figura 6, presentes em cada um deles. São nessas aberturas que o Auxiliar de Forno, além de controlar a quantidade, supervisiona o processo de calcinação do calcário. Ao passo que acontece essa queima, o forno é abastecido com lenha que funciona como combustível para as chamas. O calcário fica em contato direto com o fogo e o Auxiliar precisa manter a atenção, para que ele não queime. É necessária também a atenção na pressão interna dos fornos. Para a descarga do calcário calcinado, ou seja, do óxido de cálcio, a temperatura externa é medida com um auxílio de um pirômetro óptico. Atingindo determinada temperatura, o Operador aciona as quatro descargas, uma por vez.

Figura 6 - Janela do forno



Fonte: Vasconcelos (2008)

O óxido de cálcio descarregado de cada forno, através de correias transportadoras, é direcionado a um britador mandíbula onde é triturado e com auxílio de uma peneira vibratória consegue-se atingir um diâmetro menor que 2 polegadas, ao qual esse material é nomeado de cal virgem britada 2'', comumente chamado de britada 2''. Um vagonete conduz esse material até 3 enormes silos da empresa, o silo 1, o silo 2 e o silo 4. O silo 4 serve para armazenamento da britada 2'' para comercialização a granel, uma vez que determinadas empresas compram este material em grande quantidade.

Abaixo do silo 2 encontra-se um moinho martelo que transforma a britada 2'' em pó. Esse material é levado por roscas transportadoras até um elevador de canecas que o pulveriza até o silo 3. É nele onde estoca-se, principalmente, o óxido de cálcio micropulverizado. Tal produto pode ser então ensacado, do próprio silo, tanto em sacos de 25 kg empilhados em paletes contendo 40 sacos, quanto armazenado em bags de aproximadamente 1350 kg. Tais produtos serão levados para o setor de estoque da empresa.

Já o silo 1 alimenta dois moinhos martelos que moem a cal virgem britada 2'' para cal virgem britada 1'', material de diâmetro menor que 1 polegada. Existem dois caminhos ao qual essa britada 1'' poderá ser conduzida. No primeiro deles, a britada 1'' é levada por correias até um pequeno silo, onde lá fica armazenada para ser comercializada como produto a granel, de maneira semelhante ao que acontece no silo 4. O segundo caminho, este material é conduzido por correias transportadoras até um pré-silos. São eles que alimentarão 4 moinhos de rolo tipo Raymond presentes naquele setor.

Três desses moinhos, MR-18, MR-19 e MR-20, moerão, de forma semelhante aos moinhos do setor de micronização, a britada 1” para a produção, em especial, do Aditivo Dessecante Secmil, comumente chamado de Secmil 500. Vale salientar que cada produto necessita de uma rotação de moinho diferente, de acordo com a granulometria desejada. A retenção da peneira aprovada dos produtos fabricados neste setor está disposto na Tabela 2.

Tabela 2 - Retenção da peneira para diferentes produtos óxidos

Nome do Produto	Retenção na Peneira (Mesh)			
	325	400	500	635
Aditivo Dessecante Secmil 325	≤ 0,50%	-	-	-
Aditivo Dessecante Secmil 500	-	-	≤ 0,50%	-
Aditivo Dessecante Secmil 635	-	-	-	≤ 0,50%
Óxido de Cálcio Micronizado OCM	-	≤ 0,05%	≤ 0,50%	-
Óxido de Cálcio Super – Micronizado OCSM	-	-	≤ 0,01%	≤ 0,50%

Fonte: Carbomil (2019)

O Secmil 500, que tem maior produção na empresa, é então direcionado a ensacadora por roscas transportadoras e por fim é ensacado em sacos de 25 kg empilhados em paletes contendo 40 sacos. Tal produto é direcionado para o setor de estoque da empresa. Por fim a britada 1”, moída em outro moinho, o MR-17, é destinada para ser a origem da cal hidratada, ou seja, esse material será conduzido por roscas transportadoras até o setor de hidratação, que será discutido no próximo tópico.

3.1.3 Setor de hidratação

O setor de hidratação é onde se produz o hidróxido de cálcio, também chamado de cal hidratada. O processo ocorre da seguinte maneira: o óxido de cálcio moído, chega por roscas transportadoras ao setor de hidratação e é pulverizado por um elevador de canecas até um silo. Este servirá de alimentação para o hidratador. A cal virgem é então hidratada e novamente pulverizada por um outro elevador de canecas até outro silo. Este possui uma ensacadora onde o produto é ensacado em sacos de 20 kg empilhados em paletes contendo 50 sacos. Tal

produto é conduzido para o setor de estoque da empresa. Nessa parte da empresa são produzidos 3 diferentes tipos de cal hidratada e a rotação do moinho de rolos, o MR-17, é crucial para a definição de qual produto será fabricado. A retenção da peneira aceita dos hidróxidos produzidos neste setor pode ser visualizada na Tabela 3.

Tabela 3 - Retenção da peneira para diferentes produtos hidróxidos

Nome do Produto	Retenção na Peneira (Mesh)		
	100	325	400
Cal Hidratada CH-I	-	$\leq 1,5\%$	-
Cal Hidratada CH-II	$\leq 1,5\%$	-	-
Hidróxido de Cálcio	$\leq 2,2\%$	-	-

Fonte: Carbomil (2019)

É bom lembrarmos que não é só a granulometria que difere os produtos fabricados em cada setor, existem outras características tanto física quanto química que determinam cada produto e é no laboratório químico que serão feitas todas as análises. Porém, antes, é necessário conhecer como acontece o processo de coleta da amostra e sua devida preparação.

3.2 AMOSTRAGEM

Antes de discutir sobre a coleta da amostra do produto acabado é importante comentar sobre a amostragem do material que dá origem aos produtos, pois é necessário saber se este sairá de acordo com as especificações desejadas. Para as origens dos produtos carbonatos, óxidos e hidróxidos são feitas coletas de amostra em 3 horários do dia, que coincidem com os turnos da empresa. Tais amostras serão levadas ao laboratório onde passarão por análise e, se estiver tudo nos conformes, o produto pode então começar a ser fabricado e posteriormente ensacado.

Para exemplificar, será abordado o processo de coleta da amostra dos fornos. Em determinado horário do dia, o Auxiliar de Laboratório retira, de cada forno que estiver operando, uma amostra proveniente de suas descargas. Essa amostra é levada ao laboratório onde, em primeiro momento, é quebrada em partes menores por esse funcionário e depois é

quarteada duas vezes. Após esse processo, o óxido de cálcio é triturado em um pequeno britador mandíbula e depois moído em um pequeno moinho ali presentes. O pó então é passado numa peneira de 100 mesh e o que fica retido é almofarizado sendo depois colocado novamente na mesma peneira até passar por completo. Uma pequena amostra é retirada e então conduzida ao laboratório para testes químicos. Tal amostragem é necessária para manter o controle do processo, saber se é necessário parar para fazer uma limpeza ou realizar alguma manutenção, pois a rocha calcinada que sai dos fornos é a origem para todos os produtos óxidos e hidróxidos da indústria.

O processo para o produto acabado depende da maneira em que ele é comercializado, se é em bags, sacaria ou a granel. Quando o produto é vendido a granel, seja ele cal virgem britada 1” ou 2”, a coleta da amostra acontece antes de se começar a carregar o caminhão. Retira-se então um balde de aproximadamente 10 kg do produto e em seguida este é levado ao laboratório para análises. O procedimento de preparação da amostra é semelhante ao dos fornos.

Bags industriais são grandes bolsas que comportam produtos com pesos superiores a 1 tonelada. Um bag fabricado na Carbomil possui aproximadamente 1350 kg e é mais utilizado para comercializar produtos carbonatos. Geralmente, enche-se cerca de 20 bags, para cada lote, de determinado produto. Para tal lote, cerca de meio quilo de amostra é retirada de cada bag e levada ao laboratório. O Auxiliar então recebe essas amostras e retira 100 g de cada uma, dispondo-as em novas amostras, agora misturadas, dos bags de 1 a 5, 6 a 10, 11 a 15 e 16 a 20, que passarão posteriormente por análises.

Para a sacaria, como próprio nome já diz, o produto é colocado em sacos e empilhado em paletes contendo 50 sacos, para produtos de 20 kg; e 40 sacos, para produtos de 25 kg. É necessário então que cada paleta possua 1 tonelada. Para os carbonatos, são produzidos lotes de 1 a 18 ou 1 a 20 paletes. Para os óxidos, em especial o Secmil 500, são produzidos lotes de 1 a 22 paletes. Para os hidróxidos são fabricados lotes de 1 a 26 paletes. Tanto para os carbonatos quanto para os hidróxidos o processo de retirada e mistura em novas amostras dos paletes é feita semelhante aos dos bags.

O Secmil 500 é um produto fabricado em grande escala pela empresa, logo seu controle deverá ser constante. Ao final de cada paleta produzido, o Operador deste setor leva uma amostra de meio quilo ao laboratório para que possa ser realizada análises físicas e

químicas deste material. O lote deverá conter 22 paletes e por fim as amostras são misturadas e dispostas de 1 a 5, 6 a 10, 11 a 15, 16 a 22. O rigor no processo de retirada da amostra e formação da amostra é crucial para a aprovação do produto final, uma vez que qualquer erro pode acarretar na reprovação daquele produto e no descarte do mesmo. Após todos esses processos serão feitas análises laboratoriais, discutidas no próximo tópico.

3.3 ANÁLISES LABORATORIAIS

A última etapa do processo industrial antes do despacho do produto final acontece no Laboratório Químico. É neste setor onde o produto poderá ser aprovado ou reprovado. Tal resultado é obtido a partir de análises físicas e químicas realizadas pelos auxiliares, assistentes e analistas do laboratório.

3.3.1 Análises físicas

Para as análises físicas serão necessários os seguintes equipamentos e materiais:

- Ácido bórico;
- agitador magnético;
- água destilada;
- balança de precisão;
- balança;
- equipamentos, utensílios e acessórios comuns aos laboratórios de química;
- estufa de secagem;
- etanol;
- hexametafostato de sódio;
- medidor de distribuição – SEDIGRAPH III;
- medidor e gerenciador de cores - X-Rite;

- peneiras de diferentes aberturas;
- prensa hidráulica;
- ultrassom.

3.3.1.1 Teste de peneira

Ao receber a amostra no laboratório, o Auxiliar faz a mistura, como discutida no tópico anterior, e então realiza um teste de peneira. São utilizadas, comumente, peneiras de 100, 325, 400 e 500 mesh. Cada produto possui sua peneira específica e um percentual de retenção. Caso o valor dê acima do permitido o Auxiliar comunica ao setor do produto que ele está “grosso”, fazendo com que eles procurem o erro e o consertem. O produto não é automaticamente reprovado pois é feita uma média dos resultados, dos bags ou paletes, daquele lote que está sendo fabricado. O teste é realizado da seguinte maneira:

- Ao receber as amostras de determinado lote, dos bags 1 ao 5, por exemplo, são retirados 100 g de cada amostra de bag e misturados, obtendo assim uma nova amostra misturada de 1 a 5.
- Retira-se dessa amostra (1 a 5) 100 g e adiciona-se certa quantidade de etanol, se o produto for um carbonato ou um óxido; e certa quantidade de água, se o produto for um hidróxido. Com auxílio de um pincel mistura-se bem até ficar homogêneo.
- O líquido obtido é despejado em uma peneira, escolhida a partir do produto em específico, e com pincel esfrega-se o material até ele passar o máximo possível. Nesse processo utiliza-se água corrente para ajudar na passagem do material pela peneira.
- A peneira com o produto nela retido é levada a uma estufa secadora. Depois de alguns minutos, a peneira é retirada e o retido nela é pesado em uma balança de precisão.

3.3.1.2 Teste de cor

Terminado o teste de peneira, a amostra misturada (1 a 5) é conduzida para a realização do teste de cor. Com o auxílio de uma prensa hidráulica e ácido bórico, é produzida uma pastilha com a amostra em questão. O ácido bórico serve como base desta pastilha enquanto a amostra fica na parte superior. A prensa atua na compactação da pastilha, para que esta fique uniforme. Utilizando o aparelho X-Rite (Figura 7) e seu respectivo software no computador consegue-se determinar a cor dessa amostra. Cada um dos produtos da Carbomil estão cadastrados neste software e possuem uma faixa em que devem permanecer.

Figura 7 - Aparelho X-Rite



Fonte: Coralís (2011)

3.3.1.3 Distribuição granulométrica

A última análise física a se cumprir é a de distribuição granulométrica. Essa análise tem por objetivo mostrar o diâmetro das partículas e como elas estão distribuídas. O procedimento é dado pelos seguintes passos:

- Com a ajuda de uma balança, 1 g da amostra misturada (1 a 5) é retirada e colocada em um béquer de 100 ml.

- Adiciona-se 80 ml de hexametafostato de sódio ao béquer com a amostra. Uma pastilha magnética então homogeneiza a solução com o auxílio de um agitador magnético por cerca de 5 minutos.
- A solução então é levada a um aparelho de ultrassom (Figura 8), por 5 minutos, que atua nas partículas fazendo com que elas se separem.
- Passado esse tempo, a solução é colocada no aparelho Sedigraph III (Figura 8). Tal aparelho mostrará como as partículas estão distribuídas, imprimindo um relatório ao final do processo de análise bem como um gráfico de distribuição.
- Os dados coletados do relatório são os de distribuição de 50% (D_{50}) das partículas da amostra e de 98% (D_{98}) das partículas da amostra. Cada produto possui uma faixa de distribuição, tanto para 50% quanto para 98%.

Figura 8 - Aparelho Sedigraph III (à esquerda) e o aparelho de ultrassom (à direita)



Fonte: Eivind Støren (2014)

Essas análises físicas descritas anteriormente serão feitas também para as amostras misturadas dos bags de 6 a 10, 11 a 15 e 16 a 20 de cada lote fabricado. Sendo paletes, serão amostras misturadas dos paletes 1 a 5, 6 a 10, 11 a 15 e 16 a 18 (ou 1 a 5, 6 a 10, 11 a 15, 16 a 20, 21 a 26 se o lote for de hidróxido) de cada lote produzido. O Secmil 500, como mencionado no tópico de amostragem, é o produto mais fabricado pela empresa. O teste de peneira é realizado para cada amostra enviada ao laboratório, para manter sua granulometria nos eixos. Para os óxidos, não é necessário ensaio de cor e distribuição.

3.3.2 Análises químicas

As análises químicas realizadas em laboratório, preparação de reagentes e indicadores, seguem a NBR – 6473:2003 da ABNT. Após a coleta das amostras (*bags* ou paletes) e concluídas as análises físicas, o Analista mistura todas essas formando uma nova amostra misturada para aquele lote em questão. Como exemplo teríamos então: Lote 01 – Amostra Misturada Bags 1 a 20.

O procedimento de análise química irá acontecer a cada 5 lotes produzidos, ou seja, só será realizada essa análise no lote 01 e nos lotes seguintes terminados em 0 ou 5; lote 05, lote 10, lote 15, etc. Para o Secmil 500, porém, a cada amostra conduzida ao laboratório, além do teste de peneira, é feita análise de óxido de cálcio disponível (CaOd) e perda por calor (PPC) mencionadas nos tópicos a seguir. Os equipamentos e materiais para essas análises são:

- Agitador magnético;
- balança de precisão;
- buretas com resolução máxima de 0,05 ml;
- cadinho de platina;
- chapa elétrica;
- dessecador;
- desumidificador;
- equipamentos, utensílios e acessórios comuns aos laboratórios de química;
- forno-mufla para temperaturas de até 1200 °C;
- microbureta;
- pastilha magnética;
- peagômetro;
- pipetas volumétricas de 10 ml e 100 ml;
- termômetro.

A água utilizada é destilada e os reagentes são puros para análise. Como reagentes e soluções teremos:

- Ácido nítrico (HNO_3) com densidade aproximada de $d = 1,40 \text{ g/cm}^3$; 0,1 N e 2%;
- calcon;
- complexo de cobre;
- indicador negro-de-eriocromo-T.
- solução de acetato de amônio 1:1;
- solução de hidróxido de amônio, aproximadamente à 20%;
- solução de hidróxido de potássio (KOH) aproximadamente à 20%;
- solução de sal dissódico do ácido etilenodiaminotetracético (EDTA) a 0,025 M;
- solução de trietanolamina, aproximadamente à 30%;
- solução indicadora de ácido sulfossalicílico aproximadamente a 1,5%;
- solução indicadora de fenolftaleína a 1%;
- solução indicadora piridil 2-azo 1-naftol (PAN), aproximadamente a 0,1%;
- soluções de ácido clorídrico (HCL) 1:1 e 0,5 N.

3.3.2.1 Análise de perda por calor (PPC)

- Tomar aproximadamente 1 g da amostra (m_1), em um cadinho de platina previamente pesado (m_2).
- Calcinar a amostra a 1000°C em um forno-mufla durante 20 minutos.
- Esfriar o cadinho com a amostra em dessecador e determinar a massa (m_3).

A perda por calor (PPC) é calculada com aproximação de 0,1% pela Equação 1.

$$\text{PPC} = \frac{(m_2 - m_3)}{m_1} \times 100 \quad (1)$$

Sendo, a PPC é a perda por calor, em porcentagem; m_1 é a massa inicial da amostra, em gramas; m_2 é a massa do cadinho com a amostra antes da calcinação, em gramas; m_3 é a

massa do cadinho com a amostra após a calcinação, em gramas. Essa análise é realizada em exclusivo para produtos óxidos.

3.3.2.2 Determinação de óxido de cálcio disponível (CaO_d)

- Tomar aproximadamente 0,5 g de amostra (m_4) e transferir para um frasco de Erlenmeyer de 300 ml, adicionar cerca de 100 ml de água isenta de CO_2 (destilada e fervida).
- A seguir, colocar cinco gotas de solução indicadora de fenolftaleína a 1%, lavar a paredes do frasco com água isenta de CO_2 e titular, com auxílio de uma microbureta, com solução-padrão de ácido clorídrico 0,5 N sobre um agitador magnético, até a solução permanecer incolor.

O teor de cálcio disponível (CaO_d) é calculado com aproximação de 0,1% pela seguinte Equação 2.

$$\text{CaO}_d = \frac{0,01402 \times V_{\text{HCl}} \times F_{\text{HCl}}}{m_4} \times 100 \quad (2)$$

Sendo, CaO_d é o teor de óxido disponível, em porcentagem; V_{HCl} é o volume gasto de HCl, em milímetros; F_{HCl} é o fator de correção para o ácido clorídrico; 0,01402 é o equivalente em g de CaO/ml de ácido clorídrico 0,5 N; m_4 é a massa da amostra, em gramas. Essa análise é realizada somente para produtos óxidos.

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

- Pesar aproximadamente 0,7 g de amostra (m_5). Transferir para um béquer de 500 ml e umedecer com água.
- Adicionar 10 ml de ácido clorídrico 1:1 e revolver a amostra com um bastão de vidro para desfazer os grumos.
- Cobrir o béquer com um vidro de relógio e levar o conjunto a uma chapa elétrica. Após o desprendimento de fumos brancos, deixar até a atingir a fervura.

- Retirar o conjunto da chapa elétrica e deixar em repouso até atingir a temperatura ambiente.
- Lavar o vidro de relógio, utilizando água quente e adicionar novamente 10 ml de solução de ácido clorídrico 1:1.
- Aquecer o conjunto na chapa elétrica até ebulição, agitando a solução com o auxílio do bastão de vidro. Deixar ferver por 2 minutos.
- Retirar o béquer e filtrar a solução a quente em papel de filtração média, recolhendo o filtrado em um balão volumétrico de 500 ml que já contenha aproximadamente 10 gotas de ácido nítrico.
- Lavar o béquer com água quente até a remoção de toda a sílica e eliminação de cloretos
- Deixar esfriar o filtrado até a temperatura ambiente, aferir o balão com água destilada até a marca de 500 ml e homogeneizar. Reservar o filtrado para as determinações posteriores (CaO, MgO, Fe₂O₃ e Al₂O₃).
- Retirar o papel de filtro contendo o precipitado (sílica mais resíduo insolúvel), dobrar cuidadosamente e transferir para um cadinho de platina previamente pesado (m₆).
- Levar o conjunto ao bico de gás até carbonizar o papel sem inflamar e, em seguida, calcinar em forno-mufla a 1000 °C, durante 20 minutos.
- Deixar esfriar o cadinho em dessecador e determinar a massa (m₇).

O teor de sílica mais resíduo insolúvel (SiO₂ + RI) é calculado com aproximação de 0,01% pela Equação 3.

$$(\text{SiO}_2 + \text{RI}) = \frac{(m_7 - m_6)}{m_5} \times 100 \quad (3)$$

Sendo, (SiO₂ + RI) é o óxido de silício mais o resíduo insolúvel, em porcentagem; m₇ é a massa do cadinho com o resíduo calcinado, em gramas; m₆ é a massa do cadinho, em gramas; m₅ é a massa inicial da amostra, em gramas.

3.3.2.4 Determinação do óxido férrico (Fe_2O_3)

- Pipetar 100 ml do filtrado obtido na separação da sílica mais o resíduo insolúvel e transferir para um béquer de 500 ml.
- Adicionar ao filtrado 100 ml de água.
- Sob agitação constante, adicionar solução de acetato de amônio 1:1, gota a gota até ajustar o pH em 2,0 a 2,5 com auxílio de um peagômetro.
- Adicionar 15 gotas da solução indicadora para o ferro (ácido sulfossalicílico) e titular muito lentamente (uma gota em aproximadamente 20 segundos), a temperatura ambiente, com EDTA 0,025 M. A viragem é de vermelho para totalmente incolor. Anotar o volume gasto (V_1), em milímetros.

O teor de óxido férrico (Fe_2O_3) é calculado com aproximação de 0,01% de acordo com a Equação 4.

$$\text{Fe}_2\text{O}_3 = \frac{V_1 \times F \times 5 \times 100 \times 1,9961524}{1000 \times m_5} \quad (4)$$

Sendo, Fe_2O_3 é o óxido de ferro, em porcentagem; 5 é a razão entre o volume do balão volumétrico (500 ml) e o volume da alíquota, tomada para o ensaio (100 ml); 100 é o valor para transformação em porcentual; 1,9961524 é o equivalente de Fe_2O_3 por milímetro de solução de EDTA-Na (0,025M), em miligramas; 1000 é o valor para transformação de miligrama para grama de acordo com a massa da amostra; V_1 é o volume gasto de EDTA na titulação, em milímetros; F é o fator da solução de EDTA; m_5 é a massa inicial da amostra usada na determinação da sílica mais resíduo insolúvel, em gramas.

3.3.2.5 Determinação do óxido de alumínio (Al_2O_3)

- Pipetar 100 ml do filtrado obtido na separação da sílica mais o resíduo insolúvel e transferir para um béquer de 500 ml.
- Adicionar ao filtrado 100 ml de água.

- Sob agitação constante, adicionar solução de acetato de amônio 1:1, gota a gota, até ajustar o pH para a faixa de 3,0 a 3,5, com auxílio do peagômetro.
- Adicionar aproximadamente 6 gotas de complexo de cobre e 10 gotas de solução indicadora para o alumínio (PAN).
- Aquecer a solução em chapa elétrica até 90 °C e logo em seguida titular lentamente, com EDTA 0,025 M, até atingir a viragem permanente do vermelho (rosa) para amarelo-ouro, após cerca de 30 segundos. Retornar à chapa elétrica para confirmação da viragem. Caso não tenha fixado a viragem continuar a titulação até a sua fixação. Anotar o volume gasto (V_2), em milímetros.

O teor de óxido de alumínio (Al_2O_3) é calculado com aproximação de 0,01% de acordo com a Equação 5.

$$Al_2O_3 = \frac{V_2 \times F \times 5 \times 100 \times 1,2745149}{1000 \times m_5} \quad (5)$$

Sendo, Al_2O_3 é o óxido de alumínio, em porcentagem; 5 é a razão entre o volume do balão volumétrico (500 ml) e o volume da alíquota, tomada para o ensaio (100 ml); 100 é o valor para transformação em porcentual; 1,2745149 é o equivalente de Al_2O_3 por milímetro de solução de EDTA-Na (0,025M), em miligramas; 1000 é o valor para transformação de miligrama para grama de acordo com a massa da amostra; V_2 é o volume gasto de EDTA na titulação, em milímetros; F é o fator da solução de EDTA; m_5 é a massa inicial da amostra usada na determinação da sílica mais resíduo insolúvel, em gramas.

3.3.2.6 Determinação de óxido de cálcio total (CaO_t)

- Pipetar 10 ml do filtrado obtido na separação da sílica mais o resíduo insolúvel e transferir para um béquer de 500 ml.
- Adicionar aproximadamente 100 ml de água e, sob agitação constante, adicionar 10 ml de solução de trietanolamina a 30%, para eliminar a ação do ferro e do alumínio sobre o cálcio.
- 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.

- Adicionar 3 gotas do indicador calcon e titular com solução de EDTA 0,025 M. A viragem ocorre do rosa-vinhoso para um azul límpido e deve ficar estável por aproximadamente 30 segundos. Anotar o volume gasto (V_3), em milímetros.

O teor do óxido de cálcio total (CaO_t), é calculado com aproximação de 0,1% pela Equação 6.

$$\text{CaO}_t = \frac{V_3 \times F \times 50 \times 100 \times 1,4019349}{1000 \times m_5} \quad (6)$$

Sendo, CaO_t é o óxido de cálcio total, em porcentagem; 50 é a razão entre o volume do balão volumétrico (500 ml) e o volume da alíquota, tomada para o ensaio (10 ml); 100 é o valor para transformação em percentual; 1,4019349 é o equivalente de CaO_t por milímetro de solução de EDTA-Na (0,025M), em miligramas; 1000 é o valor para transformação de miligrama para grama de acordo com a massa da amostra; V_3 é o volume gasto de EDTA na titulação, em milímetros; F é o fator da solução de EDTA; m_5 é a massa inicial da amostra usada na determinação da sílica mais resíduo insolúvel, em gramas.

3.3.2.7 Determinação de óxido de magnésio (MgO)

- Pipetar 10 ml do filtrado obtido na separação da sílica mais o resíduo insolúvel e transferir para um béquer de 500 ml.
- Adicionar aproximadamente 100 ml de água e, sob agitação constante, adicionar 10 ml de solução de trietanolamina a 30%.
- 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.
- Adicionar 3 gotas do indicador negro-de-eriocromo-T e continuar titulando lentamente com a solução de EDTA 0,025 M. A viragem ocorre do rosa-vinhoso para um azul límpido e deve permanecer estável em torno de 30 segundos. Deve-se anotar o volume gasto (V_4), em milímetros.

O teor do óxido de magnésio (MgO), é calculado com aproximação de 0,1% pela Equação 7.

$$\text{MgO} = \frac{(V_4 - V_3) \times F \times 50 \times 100 \times 1,0076099}{1000 \times m_5} \quad (7)$$

Sendo, MgO é o óxido de magnésio, em porcentagem; 50 é a razão entre o volume do balão volumétrico (500 ml) e o volume da alíquota, tomada para o ensaio (10 ml); 100 é o valor para transformação em percentual; 1,0076099 é o equivalente de MgO por milímetro de solução de EDTA-Na (0,025M), em miligramas; 1000 é o valor para transformação de miligrama para grama de acordo com a massa da amostra; V_3 é o volume gasto de EDTA na titulação do cálcio, em milímetros; V_4 é o volume gasto de EDTA na titulação do magnésio, em milímetros; F é o fator da solução de EDTA; m_5 é a massa inicial da amostra usada na determinação da sílica mais resíduo insolúvel, em gramas.

Estas são as principais análises químicas realizadas no laboratório da Carbomil. Todas as fórmulas apresentadas constam em uma planilha online do excel. Ao fim de cada análise os valores são computados, mostrando o resultado e se está de acordo com os padrões da empresa. Devemos ressaltar que cada produto possui sua faixa de tolerância e sua aprovação ou reprovação depende deste valor.

3.4 DESPACHO DO PRODUTO FINAL

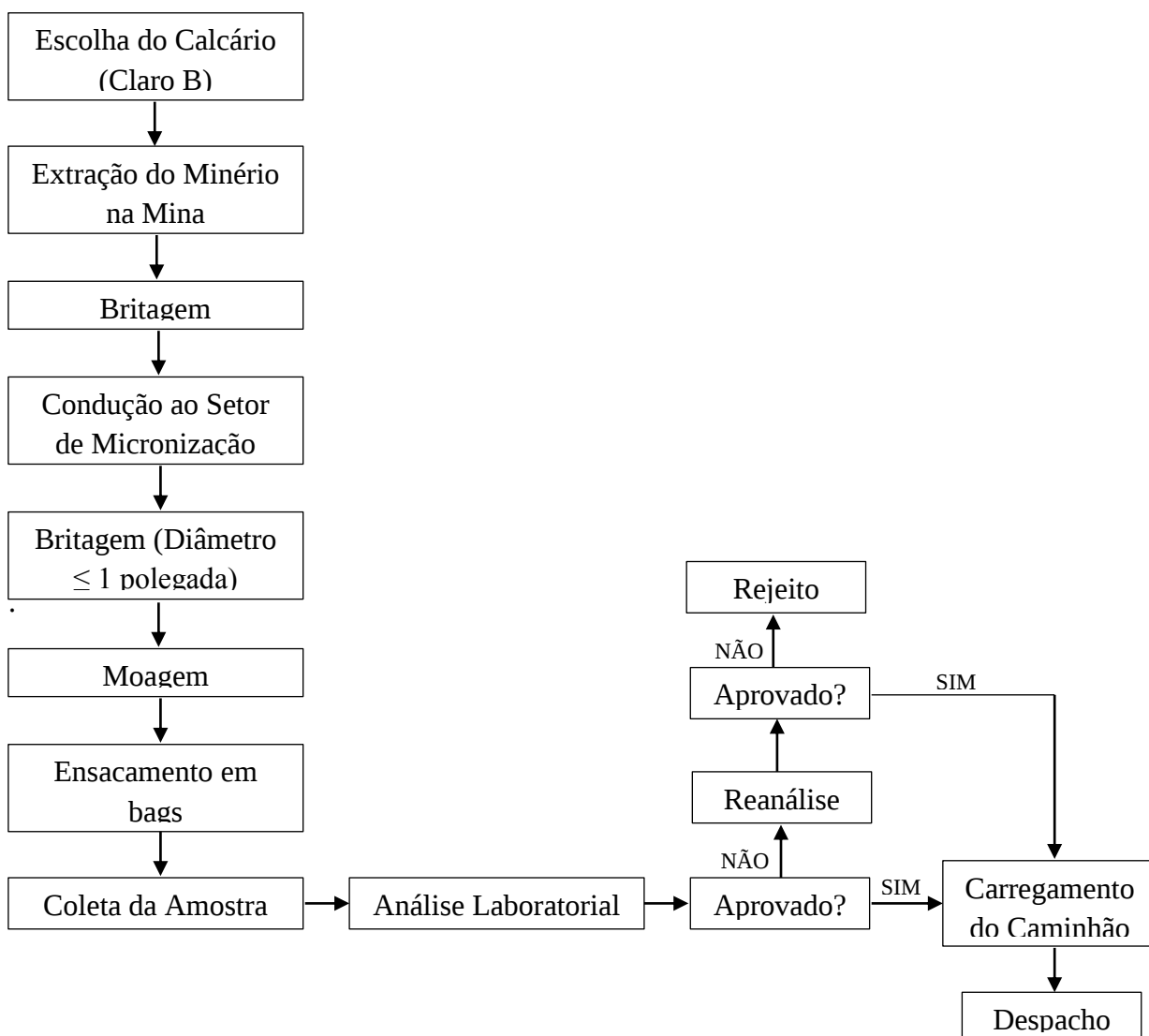
A última etapa do processo industrial é o despacho do produto final. Feita todas as análises físicas e químicas, se o produto for aprovado, o mesmo seguirá para o setor de estoque da empresa. Caso o produto seja reprovado, é feita uma reanálise. Persistindo o resultado de reprovação, se não houver alguma maneira de aproveitá-lo, este é conduzido ao setor de resíduos.

A Carbomil não trabalha com a entrega de seus produtos. São os clientes, que por necessidade, enviam caminhões para busca-los. Uma vez na empresa o cliente faz seu pedido na recepção (guarita). O pedido é então levado ao laboratório onde tem-se o controle de estoque. Tendo o produto no estoque, o Analista assina o recibo e direciona o lote aprovado para ser carregado no caminhão. No mesmo momento é criado um certificado digital para o cliente com todas as especificações daquele produto que está sendo oferecido, enviando-o em seguida por e-mail.

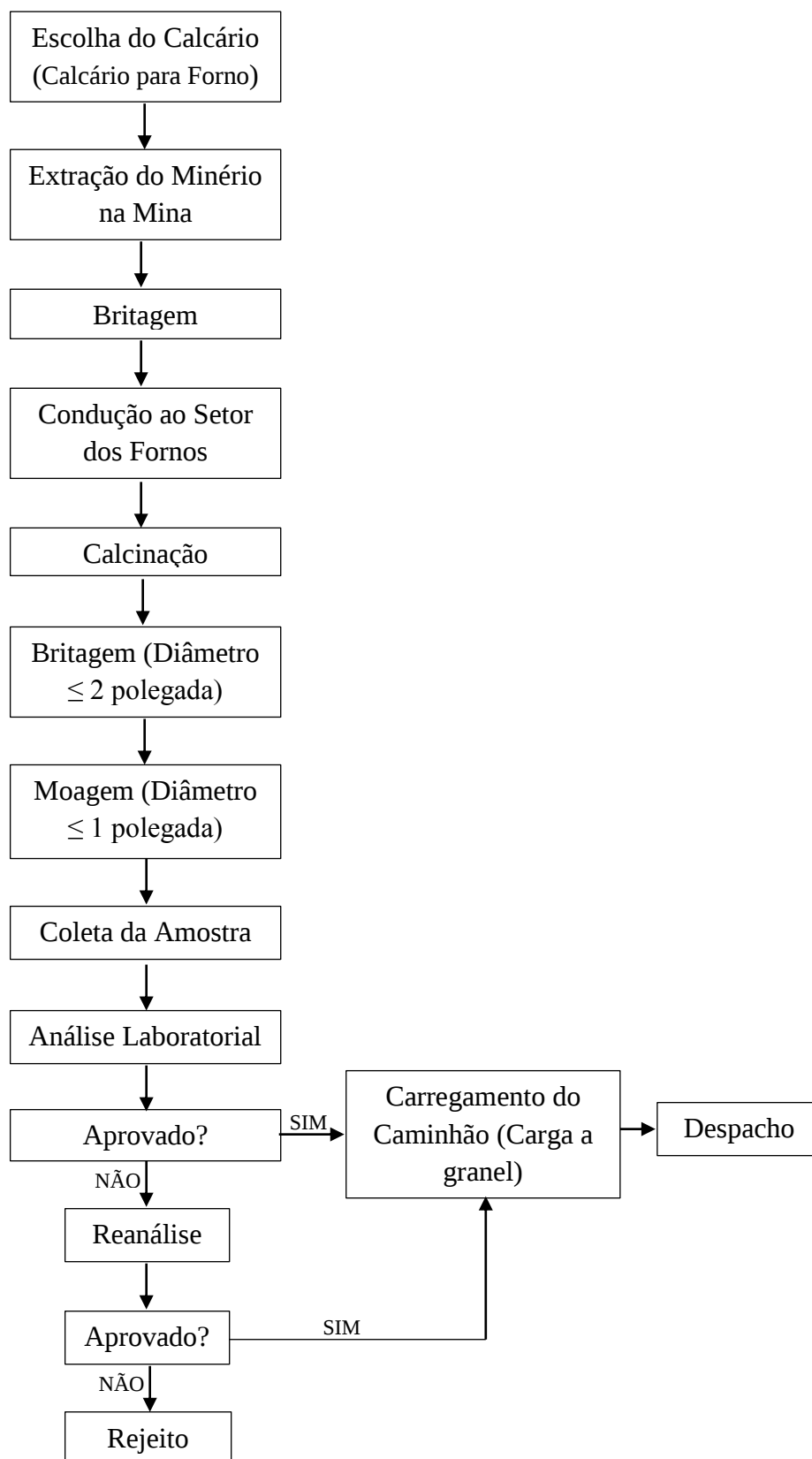
3.5 FLUXOGRAMA DE PROCESSO

Em base de todas informações apresentadas nos tópicos anteriores consegue-se então montar a estrutura do fluxograma do processo. Para melhor entendimento, será apresentado um fluxograma de um produto específico de cada setor, de um carbonato, de um óxido e de um hidróxido, o que é comumente mais produzido. A parte de estoque será mantida ausente considerando que o produto será despachado logo após a sua fabricação.

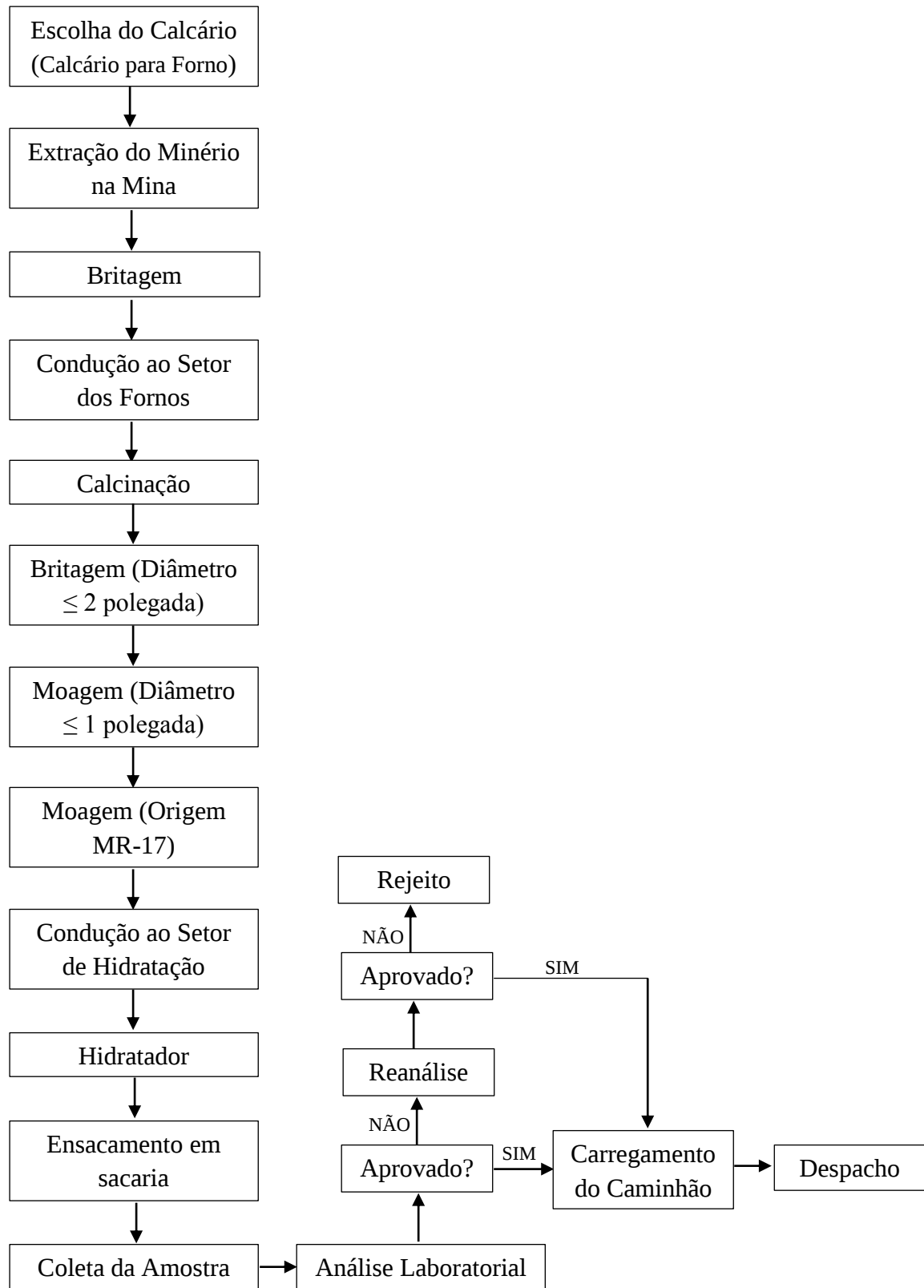
3.5.1 Fluxograma para o produto Carbonato de Cálcio Microfluid 2620 GB



3.5.2 Fluxograma para o produto Óxido de Cálcio Britada 1”



3.5.3 Fluxograma para o produto Hidróxido de Cálcio



4. ATIVIDADES DESENVOLVIDAS

Foram realizadas atividades nos quatro principais setores da empresa, o setor de micronização, o setor dos fornos, o setor de hidratação e no laboratório químico. Na Micronização, acompanhou-se o processo desde o recebimento do calcário até o estoque do produto acabado. Explicações detalhadas sobre o acionamento de equipamentos daquele setor e a forma que eles funcionam foram repassadas pelo Operador de Moinhos. Além disso, foi ensinado como supervisionar o bom funcionamento dos moinhos a partir de sua pressão interna. Houve a oportunidade de observar de perto o processo de manutenção e limpeza de alguns equipamentos do local. E por fim, foi acompanhado a maneira correta de coleta da amostra bem como o processo de ensacar o produto final.

No setor dos fornos, acompanhou-se o processo de obtenção, calcinação e moagem do produto. No forno em questão, informações sobre qual o momento exato de descarga da rocha calcinada, possíveis intemperes (a rocha venha a ficar queimada ou crua), controle da pressão e da temperatura dos fornos foram ensinadas pelo Operador de Fornos. Ademais, foi ensinado qual o momento exato de abastecer o forno com a lenha. Já na moagem desse óxido de cálcio, também, como na micronização, mostrou-se como supervisionar o funcionamento correto dos moinhos através de sua pressão interna. Como o setor fica próximo ao estoque, ocorreu a oportunidade de acompanhar a carga de caminhões, tanto a granel quanto em bags ou sacaria. Na Hidratação, onde acontece a adição da água ao óxido de cálcio, aprendeu-se como controlar os níveis de água dentro do hidratador.

O laboratório foi o setor onde teve o maior acompanhamento, participação e tempo no período de estágio. Foi ensinado todo o processo de análise de cada produto fabricado na empresa. Dentre as atividades atribuídas, instruções de como obter uma amostra de material de alta granulometria, tais quais feitas para análise de forno, britada 1” e britada 2”, foram repassadas pelo Auxiliar de Laboratório além do mesmo mostrar o modo correto de mistura de amostras e como armazená-las. Permitiu-se acompanhar a maneira correta de peneiramento, qual peneira usar, como identificar grãos ou outros materiais contaminantes como borracha, solda e madeira.

Foram atribuídas tarefas de fabricação de pastilhas para a análise de cor no X-Rite, com a explicação da maneira que este aparelho funciona e, também, como as partículas estão

dispersas nos mais diversos produtos da empresa, utilizando o aparelho Sedigraph III. Vários processos de titulação foram realizados nas análises químicas de óxido de cálcio disponível (CaO_d), óxido de cálcio total (CaO_t), óxido de ferro (Fe_2O_3), óxido de alumínio (Al_2O_3) e óxido de magnésio (MgO).

Acompanhou-se também sobre como os dados das diversas análises realizadas no laboratório são armazenados em planilha de excel, que consta todas as fórmulas dessas análises, sejam elas físicas ou químicas. Por fim, mostrou-se como acontece o despacho do produto final e a produção do certificado digital que contém todas as informações das análises feitas para cada produto. Cabe ressaltar o comprometimento à segurança do profissional, onde foram passadas instruções de segurança, fornecimento e utilização de EPIs.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A Carbomil possui uma grande equipe de funcionários que desempenham muito bem os seus papéis aos quais são direcionados. O uso de EPIs por estes foi verificado, o que mostra como a empresa se atenta com o bem-estar do funcionário. Além disso, por ser uma empresa que possui fornos a lenha, sempre está preocupada em buscar madeira de reflorestamento, além de possuir uma área verde para reduzir eventuais impactos de flora e de fauna. Fica como incentivo à empresa o melhoramento do sistema de instrumentação e controle, o que provocaria imediato aumento de produção e diminuição nas perdas.

O estágio na empresa Carbomil consagrou aquilo que aprendemos em anos de curso. A teoria em si é muito importante, mas não é o bastante. A possibilidade de acompanhar de perto diversas operações unitárias, processos de transformações químicas, procedimentos de análises e ainda a manutenção do controle de uma indústria de grande porte foi garantida nessas horas prestadas. As relações interpessoais proporcionadas no ambiente industrial nos revelam quão grande é a sua importância.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALIBABA. **Moinhos de rolos tipo Raymond**. Disponível em:

<<https://portuguese.alibaba.com/product-detail/high-quality-raymond-grinding-mill-with-reasonable-price-60638269187.html>>. Acesso em: 07 fev. 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6473**: Cal virgem e cal hidratada - Análise química. Rio de Janeiro: Lime, 2003. 31 p

CARBOMIL. **A Minerado e Indústria Carbomil Química S.A.** Disponível em:

<<http://www.carbomil.com.br/sobre-nos/>>. Acesso em: 08 fev. 2019.

DNPM - Departamento Nacional de Produção Mineral. Sumário Mineral 2014, pg. 42 a 44.

MANFREDINI; SCHIANCHI. **Moinho Pendulares Molomax**. Disponível em:

<<http://www.manfredinieschianchi.com/301-01-4PO-moinhos-pendular.htm>>. Acesso em: 08 fev. 2019.

SAMPAIO, J. A., Almeida, S. L. M., 2009. Calcário e Dolomito – Capítulo 16, in Rochas & Minerais Industriais: Usos e Especificações, Ed. Adão Benvindo da Luz e Fernando A. Freitas Lins.

SOBRAL, Francisca Eliene. **Procedimento Alternativo de Preparação de Carbonato de Cálcio Precipitado de Elevada Pureza**. 1995. 73 f. Monografia (Especialização) - Curso de Química, Departamento de Química, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza - Ceará, 1995.

VIDAL, Francisco W.H. (Org.) et al. Rochas e minerais industriais do estado do Ceará. Fortaleza: CETEM/UECE/DNPM/FUNCAP/SENAI, 2005. 174 p.

WELLENKAMP, Franz-Josef. Moagens fina e ultrafina de minerais industriais: uma revisão. Rio de Janeiro: CETEM, 1999. (Série Tecnologia Mineral, 75).