



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA E TECNOLOGIA
CENTRO DE ENGENHARIAS
CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA QUÍMICA

ANA LORENA DE BRITO SOARES

**ACOMPANHAMENTO DO PROCESSO PRODUTIVO DO CARBONATO DE
CÁLCIO NA MINERAÇÃO OURO BRANCO – GOVERNADOR DIX-SEPT
ROSADO/RN**

MOSSORÓ/RN

2019

ANA LORENA DE BRITO SOARES

**ACOMPANHAMENTO DO PROCESSO PRODUTIVO DO CARBONATO DE
CÁLCIO NA MINERAÇÃO OURO BRANCO – GOVERNADOR DIX-SEPT
ROSADO/RN**

Relatório de Estágio Obrigatório apresentado à
Universidade Federal Rural do Semi-Árido
como requisito para obtenção do título de
Bacharela em Engenharia Química.

Orientador: Francisco Wilton Miranda da
Silva

MOSSORÓ/RN

2019

ANA LORENA DE BRITO SOARES

**ACOMPANHAMENTO DO PROCESSO PRODUTIVO DO CARBONATO DE
CÁLCIO NA MINERAÇÃO OURO BRANCO – GOVERNADOR DIX-SEPT
ROSADO/RN**

Relatório de Estágio Obrigatório apresentado a
Universidade Federal Rural do Semi-Árido
como requisito para obtenção do título de
Bacharela em Engenharia Química.

Defendida em: ____ / 03 / 2019.

BANCA EXAMINADORA

Francisco Wilton Miranda da Silva, Prof. Dr. (UFERSA)
Presidente

Alessandro Alisson de Lemos Araújo, Prof. Dr. (UFERSA)
Membro Examinador

Manoel Reginaldo Fernandes, Prof. Dr. (UFERSA)
Membro Examinador

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por ter me fornecido a força necessária para enfrentar essa batalha árdua.

Agradeço a minha família por sempre me apoiar em todas as minhas decisões e por serem tão compreensivos com minha constante ausência.

Agradeço ao meu primo Rafael e a sua esposa, Deceles, pelo acolhimento em sua casa durante esses 5 anos de graduação.

Agradeço a minha prima Fernanda e a minha professora de Química do Ensino Médio (E.E.E.P. Francisca Rocha Silva), Emília, por serem grande fonte de inspiração nesse caminho o qual escolhi trilhar.

Agradeço aos meus professores pelos ensinamentos passados, e em especial ao meu orientador e amigo, Wilton Miranda, por ter me acompanhado durante esses últimos anos da graduação. E ao professor Rafael Rios por ter incansavelmente procurado por estágios, não só para mim, mas também para os demais colegas de curso.

Agradeço a Wadih e aos demais sócios pela oportunidade de estágio na Mineração Ouro Branco, e também aos demais companheiros de trabalho pelo grande acolhimento na empresa.

Agradeço a Banca Examinadora pela disponibilidade.

Agradeço aos meus amigos da Família Reynaldo por sempre estarem ao meu lado e por me roubarem vários sorrisos sempre que precisei.

Agradeço aos amigos de vida e de curso por todos os momentos compartilhados.

Agradeço às companheiras de laboratório pelos conhecimentos, momentos e experiências compartilhadas.

Enfim, agradeço a todos que de alguma forma me auxiliaram nesse caminho tão difícil, mas também tão prazeroso. Obrigada a todos que sonharam junto comigo e que mesmo sem saberem, não me deixaram desistir.

It is impossible to live without failing at something, unless you live so cautiously that you might as well not have lived at all - in which case, you fail by default.

RESUMO

O carbonato de cálcio é um composto bastante abundante no Brasil. A região da Chapada do Apodi conta com uma grande extensão de calcário em todo seu território, sendo o RN o detentor da maior reserva no Brasil. Esse produto é encontrado no mercado em diferentes granulometrias, e é utilizado para as mais diferentes finalidades, desde a fabricação de cerâmicas ou vidros, até mesmo a utilização em ração animal. Mesmo com essa grande gama de aplicações, o processo produtivo do *Ground Calcium Carbonate* (GCC), não anda evoluindo, sendo muito pouco estudado, dessa forma, o presente trabalho tem como objetivo descrever seu processo de fabricação junto a Mineração Ouro Branco, a qual localiza-se no município de Governador Dix-Sept Rosado – RN. São descritas também, as principais análises laboratoriais realizadas pelo controle de qualidade da empresa, as quais são de fundamental importância para um produto final de alta qualidade e boa competitividade no mercado.

Palavras-chave: Carbonato de cálcio; processo; análises.

ABSTRACT

Calcium carbonate is a very abundant compound in Brazil. The region of Chapada do Apodi counts on a great extension of limestone in all its territory, being the RN the holder of the largest reserve in Brazil. This product is found in the market in different grades, and is used for the most different purposes, from the manufacture of ceramics or glasses, even the use in animal feed. Even with this wide range of applications, the production process of Ground Calcium Carbonate (GCC), is not evolving, being very little studied, so, the present work aims to describe its manufacturing process with Mineração Ouro Branco, which is located in the municipality of Governador Dix-Sept Rosado - RN. Also described are the main laboratory tests performed by the company's quality control, which are of fundamental importance for a final product of high quality and good competitiveness in the market.

Keywords: Calcium carbonate; process; tests.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Planta do moinho Verdão (MP 5057 3P) (Fonte: Mineração Ouro Branco LTDA, 2012)	22
Figura 2. Planta do moinho Verdés (MP 275 SP) (Fonte: Mineração Ouro Branco LTDA, 2012)	23
Figura 3. Planta do moinho ALFA 1 (Fonte: Mineração Ouro Branco LTDA, 2012)	23
Figura 4. Depósito de carbonato de cálcio bruto. (Fonte: Mineração Ouro Branco LTDA, 2012)	24
Figura 5. a) Britador do moinho verdés; b) Rejeito. (Fonte: Mineração Ouro Branco LTDA, 2012)	25
Figura 6. a) Esteira de transporte da pedra britada; b) Vista frontal do silo de armazenamento; c) Vista superior do silo de armazenamento cheio. (Fonte: Mineração Ouro Branco LTDA, 2012)	26
Figura 7. Moinho pendular. (Fonte: Mineração Ouro Branco LTDA, 2012)	27
Figura 8. a) Ciclone e boca de alimentação; b) Ventilador principal. (Fonte: Mineração Ouro Branco LTDA, 2012)	28
Figura 9. Mangas filtrantes; Gaiolas; Venturis; Chapa espelho.	29
Figura 10. a) Filtro de mangas com boca de descarga de material fino; b) Ventilador secundário ligado a chaminé. (Fonte: Mineração Ouro Branco LTDA, 2012)	29
Figura 11. Alimentação do moinho ALFA. (Fonte: Mineração Ouro Branco LTDA, 2012)..	30
Figura 12. a) Transporte da Rosca 1 ao recipiente de controle; b) Dosador de estearina. (Fonte: Mineração Ouro Branco LTDA, 2012)	31
Figura 13. Moinho de martelos (Fonte: Mineração Ouro Branco LTDA, 2012)	32
Figura 14. Martelos utilizados no moinho ALFA após grande desgaste (Fonte: Mineração Ouro Branco LTDA, 2012)	33
Figura 15. Equipamentos de separação do moinho ALFA; a) Ciclone; b) Filtro de mangas; c) boca de descarga. (Fonte: Mineração Ouro Branco LTDA, 2012)	34

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Principais aplicações da Cal Virgem EV-8 produzida pela MOB	19
Tabela 2. Principais aplicações da Cal Hidratada CALLEV CH-1 produzida pela MOB.....	20
Tabela 3. Relação de abertura de peneiras utilizadas em ensaio de finura.	36

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
Al_2O_3	Óxido de alumínio
CaCO_3	Carbonato de Cálcio
CaO	Óxido de Cálcio
EDTA	Etilenodiaminotetracético
GCC	Ground Calcium Carbonate
HCl	Ácido Clorídrico
HNO_3	Ácido Nítrico
KCl	Cloreto de Potássio
KOH	Hidróxido de Potássio
MgCO_3	Carbonato de Magnésio
MgO	Óxido de Magnésio
MOB	Mineração Ouro Branco
NBR	Norma Brasileira
NH_4O	Hidróxido de Amônio
P	Fósforo
PCC	Precipitated Calcium Carbonate
pH	Potencial Hidrogeniônico
RI	Resíduos Insolúveis
R_2O_3	Óxidos Compostos
S	Sulfato
SiO_2	Óxido de Silício

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	14
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	15
2.1. CARBONATO DE CÁLCIO.....	15
2.1.1. Carbonato de Cálcio Natural.....	15
2.1.2. Carbonato de Cálcio Precipitado.....	15
2.1.3. Mineralogia.....	15
2.1.4. Impurezas.....	16
2.2. MERCADO.....	16
2.3. MINERAÇÃO OURO BRANCO.....	17
2.4. PRODUTOS COMERCIALIZADOS PELA MOB.....	18
2.4.1. Cal.....	18
2.4.2. Carbonato de Cálcio Natural - CRETALÉV.....	21
3. PROCESSO PRODUTIVO DO CARBONATO DE CÁLCIO.....	22
4. CONTROLE DE QUALIDADE.....	35
4.1. ENSAIO DE FINURA DO CARBONATO DE CÁLCIO (NBR 9289).....	35
4.2. ENSAIOS DE DETERMINAÇÃO DO CaO, MgO, CaCO ₃ e MgCO ₃	36
4.3. ENSAIO DE SILICA + RI (SiO ₂ +RI) (NBR 6473).....	38
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	39
REFERÊNCIAS.....	40

1. INTRODUÇÃO

O carbonato de cálcio (CaCO_3) é o principal componente encontrado em rochas calcárias, as quais geralmente possuem pureza acima de 98%. Em seu estado puro é sólido, se apresenta em forma de pó fino cristalino, de cor branca, inodoro, de propriedades alcalinas, de densidade de $2,65 \text{ g/cm}^3$, estável, não inflamável, não corrosivo e atóxico. Esse composto apresenta diversas propriedades: fácil dispersão; superfície hidrofílica; alto valor de alvura; poder elevado de reforçador, quando utilizado como carga; baixos índices de dureza e abrasão; baixa viscosidade a alto cisalhamento, boa opacidade, carga reforçante, agente de fluidez, anti-umectante, anti-empedrente, e agente de dispersão de sólidos.

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).

O carbonato de cálcio comercial se apresenta em dois tipos, o Carbonato de Cálcio Precipitado e o Carbonato de Cálcio Natural, sendo estes ainda separados de acordo com suas granulometrias e aplicações: calcário calcítico fino pode ser usado como traço em ração animal; C106 utilizado também como traço, mas em massa asfáltica; C44, C25N e C25R para produção de compostos de PVC.

Devido sua ampla aplicação, o carbonato de cálcio possui um grande mercado no Brasil, o que tende a crescer nos próximos anos. Segundo projeções feitas por Silva (2009) até 2030 haverá um aumento de aproximadamente 50% a 125% acima da produção de 2009, além do aumento de investimentos e mão-de-obra qualificada.

A Mineração Ouro Branco, empresa onde foi desenvolvido este trabalho, tem como finalidade a produção e comercialização de derivados de calcário, no caso Cal e Carbonato de Cálcio, com utilização prevista para diversos fins, para isso conta com uma planta moderna e com um criterioso controle de qualidade.

Sendo assim, o presente trabalho tem o objetivo descrever detalhadamente todas as etapas do processo de produção do carbonato de cálcio natural, assim como identificar os pontos fracos e fortes da planta de GCC, para então se propor melhorias.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. CARBONATO DE CÁLCIO

O carbonato de cálcio (CaCO_3) é um mineral com características alcalinas, com alta temperatura de fusão, não inflamável, pouco solúvel em água (exceto a que contenha gás carbônico), não corrosivo, além de ser atóxico. Este composto é matéria-prima fundamental para diversos produtos, entre eles o cimento, aço e vidro. No meio industrial existem duas origens para esse composto, o natural, moído a partir do carbonato de cálcio natural (GCC); e o precipitado (PCC).

2.1.1. Carbonato de Cálcio Natural

O carbonato de cálcio natural é formado essencialmente por calcita (CaCO_3), apresenta uma distribuição granulométrica mais grossa do que o carbonato de cálcio precipitado. Algumas de suas propriedades são apresentadas a seguir: fácil dispersão; superfície hidrofílica; alto valor de alvura; poder elevado de reforçador, quando utilizado como carga; baixos índices de dureza e abrasão; baixa viscosidade a alto cisalhamento, e boa opacidade.

2.1.2. Carbonato de Cálcio Precipitado

O carbonato de cálcio precipitado é um composto sintético o qual passa por um processo de precipitação química, cujo método mais utilizado é a carbonatação, o qual consiste na calcinação da rocha calcária, posteriormente passa pela hidratação do óxido de cálcio, formando o hidróxido de cálcio e por fim, esse último reage com o dióxido de carbono, resultando na precipitação do carbonato de cálcio. Algumas de suas propriedades são apresentadas a seguir: carga reforçante, agente de fluidez, anti-umectante, anti-empedrente, e agente de dispersão de sólidos.

2.1.3. Mineralogia

As principais rochas carbonatadas são encontradas na natureza em três formas cristalinas: Aragonita (ortorrômbica); Calcita (romboédrica/trigonal), a mais estável; e Vaterita (hexagonal), a menos estável e consequentemente a mais escassa.

O calcário, o qual tem como composição basicamente a calcita (CaCO_3); e o dolomito, composto basicamente por dolomita ($\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$); são de longe as rochas carbonatadas mais comercializadas em todo o mundo. Tendo o calcário ainda um maior valor econômico, podendo ser justificado pela sua composição mais pura (SAMPAIO; ALMEIDA, 2005).

2.1.4. Impurezas

As impurezas dos calcários são variáveis que devem ser examinadas com bastante cautela, essas podem variar muito, então um cuidado extra deve ser tomado antes de se fazer a utilização desse minério.

Segundo Sampaio e Almeida (2005) as impurezas podem acompanhar o processo de deposição do CaCO_3 ou até mesmo ocorrer em estágios posteriores à essa deposição, e ainda podem ser fatores limitantes ao aproveitamento econômico dos calcários, essencialmente, quando utilizados para fins nobres. A impureza mais perceptível em modo geral é a argila, essa pode conter muitos outros minerais em sua composição, fazendo com que o produto ao qual o carbonato de cálcio será destinado se torne ineficaz para suas devidas utilizações.

Devido esse problema, se deve ter um rigoroso controle de qualidade, pois o calcário deve obedecer aos requisitos impostos por cada um ramo industrial, por exemplo:

Metalúrgico - $\text{SiO}_2 < 2\%$; $\text{Al}_2\text{O}_3 < 1\%$; $\text{S} < 0,03\%$; e $\text{P} < 0,02\%$;

Químico - $\text{SiO}_2 < 2\%$ e $\text{Al}_2\text{O}_3 < 1\%$.

2.2. MERCADO

É notório o grande potencial produtivo de calcário no Brasil, abrangendo a maior parte de seus estados. Entre os anos de 2004 e 2009 teve um percentual de crescimento de aproximadamente 22%, atingindo um total estimado de 107 milhões de toneladas, em 2008, e um valor de mais de US\$1,35 bilhão, em 2007 (SILVA, 2009).

Ainda segundo Silva (2009) projeções foram feitas a fim de prever o comportamento desse mercado até o ano de 2030, seus resultados podem ser vistos a seguir:

- Aumento na demanda e produção do calcário no Brasil, para entre 158 (Cenário Frágil) e 236 (Cenário Inovador) milhões de toneladas, portanto um incremento de 50% a 125% acima da produção em 2009;
- Total de investimentos nas minas e nas usinas entre R\$553 milhões (Cenário Frágil) e R\$807 milhões (Cenário Inovador);
- Aumento da mão de obra empregada, dos quase doze mil empregados em 2009, para algo entre 22 mil (Cenário Frágil) a 33 mil (Cenário Inovador) trabalhadores, com pouco mais da metade ocupada nas minas;
- Maior qualificação da mão-de-obra, já que a maior parte atualmente não possui alto nível de escolaridade.

Segundo o DNPM (2010) em 2009, das reservas minerais existentes no Brasil, foram medidas 53.006.699.327 t, indicadas 28.482.202.327 t, inferidas 20.470.021.485 t e identificado potencial lavrável em 25.369.280.183 t. Nesse mesmo ano a produção bruta chegou a 109.566.579 t, onde 101.140.345 t passaram por beneficiamento. A empresa com mais participação no mercado era a Companhia Siderúrgica Nacional, a qual continha 2,61% de participação no mercado.

2.3. MINERAÇÃO OURO BRANCO

A Mineração Ouro Branco foi fundada em 1985 no município de Governador Dix-Sept Rosano/RN. Essa empresa tem como finalidade a produção e comercialização de derivados de calcário, com utilização prevista para diversos fins, para isso conta com uma planta moderna e com um criterioso controle de qualidade. Seu laboratório possui estrutura para realizar os principais ensaios em sua principal matéria-prima (CaCO_3) e em seus produtos acabados (MINERAÇÃO OURO BRANCO LTDA, 2012). O único ensaio que não é realizado no próprio laboratório da empresa é o de determinação do tamanho da partícula, o qual necessita de um equipamento que a empresa ainda não possui, sendo então realizado em parceria com universidades. A planta mais recente é a de beneficiamento do calcário para comercialização de Carbonato de Cálcio, o qual é visto pela empresa como um investimento bastante promissor, uma vez que se obtém uma maior lucratividade em relação aos demais produtos ofertados pela empresa.

2.4. PRODUTOS COMERCIALIZADOS PELA MOB

2.4.1. Cal

A Cal, ou óxido de cálcio (CaO), é um sólido branco obtido pela decomposição térmica do calcário. É uma base forte na indústria, capaz de resolver problemas em que se necessite neutralizar, precipitar e também proteger o meio ambiente. É amplamente utilizada, tanto na composição de cimento e argamassas como em pinturas, nas indústrias farmacêuticas, entre muitas outras aplicações. A MOB conta com 2 tipos principais de Cal, os quais serão apresentados a seguir.

2.4.1.1. Cal Virgem EV-8

A Cal Virgem é uma das substâncias com maior importância na indústria, obtida através da decomposição térmica do calcário, no processo de calcinação. Produzida a partir das melhores rochas carbonáticas, a Cal Virgem EV-8 possui alto teor de pureza e elevada reatividade, com capacidade de atender a diversas faixas granulométricas (MINERAÇÃO OURO BRANCO LTDA, 2012). A análise química desse produto deve atender aos seguintes requisitos:

- Perda ao fogo < 5%
- CaO disponível > 85%
- MgO < 2%
- $\text{SiO}_2 + \text{RI}$ < 2%
- R_2O_3 < 0,70%

Suas principais aplicações estão demonstradas na tabela 01.

Tabela 1. Principais aplicações da Cal Virgem EV-8 produzida pela MOB

CAL VIRGEM	RAMO INDUSTRIAL	APLICAÇÃO
	Siderurgia e Metalurgia	Carga de fabricação de aço nos fornos; Aglomerante; Regulador de pH em tratamento de águas servidas; Lubrificante para trefilagem de vergalhões de aço; Dessulfurante das gusas altos em enxofre; Refratários básicos de fornos de aço.
	Celulose e Papel	Regenerar a soda cáustica; Branquear as polpas de papel, junto com outros reagentes.
	Açúcar	Remoção dos compostos fosfáticos e dos compostos orgânicos; Clareamento do açúcar.
	Alumínio.	Regeneradora da soda (total de 100 kg/t de alumina);
	Tratamento de água	Correção do pH; Amolecimento; Esterilização; Coagulação do alume e dos sais metálicos; Remoção da sílica.
	Estabilização de solos	Aglomerante e cimentante (na proporção de 5 a 8% em volume da mistura solo-cal).
	Argamassas	Plastificante; Retentor de água; Incorporação de agregados (com ou sem aditivos, em geral nas proporções de 13 a 17% dos volumes).
	Fabricação de blocos construtivos	Agente aglomerante e cimentante (em geral, 5 a 7% do volume do bloco).
	Tratamentos de efluentes gasosos	Precipitação do SO _x dos gases resultantes da queima de combustíveis ricos em enxofre.
	Diversos	Refratários, cerâmica, carbonato de cálcio precipitado, graxas, tijolos sílico-cal, petróleo, couro, etanol, metalurgia do cobre, produtos farmacêuticos e alimentícios e biogás.

FONTE: Mineração Ouro Branco LTDA, 2012.

2.4.1.2. Cal Hidratada CALLEV CH-1

A Cal Hidratada CALLEV CH-I é obtida através da reação dos melhores óxidos de cálcio, tendo um controle de qualidade bastante presente em todo o processo produtivo, garantindo um produto puro, com alto teor, o que assegura a conformidade com a NBR 7175 da ABNT (MINERAÇÃO OURO BRANCO LTDA, 2012). As análises químicas e físicas devem seguir aos seguintes requisitos:

Análise Química

- Perda ao fogo < 23%
- Anidrido Carbono < 1,8%
- Anidrido sulfúrico < 0,5%
- Óxido de Cálcio Total > 70%
- Óxido de Magnésio < 0,7%
- CaO + MgO Não Hidratados < 3%
- Óxidos totais na Base Não Voláteis > 90%

Análise Física

- Retenção peneira 0,600mm < 0%
- Retenção peneira 0,075mm < 2%
- Densidade Aparente aprox. 0,45 g/cm³

Suas principais aplicações estão demonstradas na tabela 02.

Tabela 2. Principais aplicações da Cal Hidratada CALLEV CH-1 produzida pela MOB

CAL HIDRATADA CALLEV CH-1	RAMO INDUSTRIAL	APLICAÇÕES
	Estabilização de solos	Aglomerante e cimentante.
	Misturas asfálticas	Como neutralizador de acidez e reforçador de propriedades físicas.
	Fabricação de blocos construtivos	Aglomerante e cimentante.
	Argamassas	Elastificante; Retentor de água; Incorporação de

		agregados.
--	--	------------

FONTE: Mineração Ouro Branco LTDA, 2012.

2.4.2. Carbonato de Cálcio Natural - CRETALEV

O carbonato de cálcio entra no mercado como um produto muito promissor, mesmo a planta não estando funcionando a muito tempo percebe-se um grande acolhimento do mercado, e isso só tende a aumentar, uma vez que a MOB se preocupa em sempre buscar novos horizontes. A linha de Carbonatos de Cálcio Natural – CRETALEV é produzida a partir de uma criteriosa seleção dos melhores Carbonatos de formação Cretácea, caracterizados pela elevada pureza e baixa abrasividade, onde o controle de qualidade está presente desde a jazida até as etapas do processo de fabricação (MINERAÇÃO OURO BRANCO LTDA, 2012). A linha CRETALEV é formada por produtos de variadas distribuições granulométricas, tornando-a extremamente versátil, atendendo a diversas aplicações: Calcário calcítico fino para ração animal; C106 para utilização em massa asfáltica; C44, C25N e C25R para compostos de PVC, sendo estes dois últimos mais eficazes. As análises químicas devem seguir aos seguintes requisitos:

- CaCO_3 mín. 96%
- MgCO_3 máx. 1,5%
- Insolúveis em HCl máx. 0,7%
- SiO_2 máx. 0,3%
- R_2O_3 máx. 0,7%
- Umidade máx. 0,3%
- Densidade $0,9 \pm 0,1$

3. PROCESSO PRODUTIVO DO CARBONATO DE CÁLCIO NA MOB

Como foi visto anteriormente, a MOB tem uma cartela de produtos consideravelmente grande. Nesse tópico iremos abordar dois desses produtos, os que foram acompanhados mais de perto nesse período de estágio, C44 e C25 (Natural e Revestido).

A planta de produção de carbonato de cálcio conta hoje com três moinhos: VERDÃO, VERDÉS e ALFA. O VERDÃO é utilizado para produzir C106, mas geralmente se encontra em desuso, é utilizado mais para ensacamento e em casos de emergência (quando há paradas no VERDÉS). O VERDÉS é utilizado para produzir carbonato de cálcio com uma maior granulometria (Calcário calcítico para ração animal, C106 e C44). O ALFA é utilizado para produzir carbonato de cálcio com uma menor granulometria (C25N e C25R, além de um novo produto que está sendo pensado, o C15). Nas figuras a seguir é possível observar de forma simplificada as plantas desses moinhos.

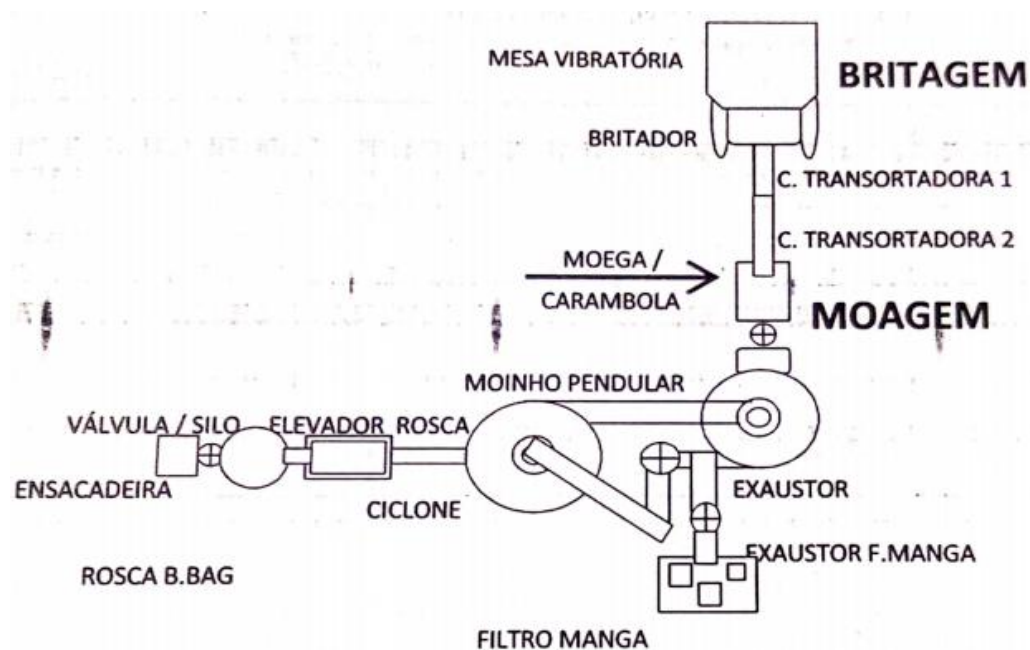


Figura 1. Planta do moinho VERDÃO (MP 5057 3P) (Fonte: Mineração Ouro Branco LTDA, 2012)

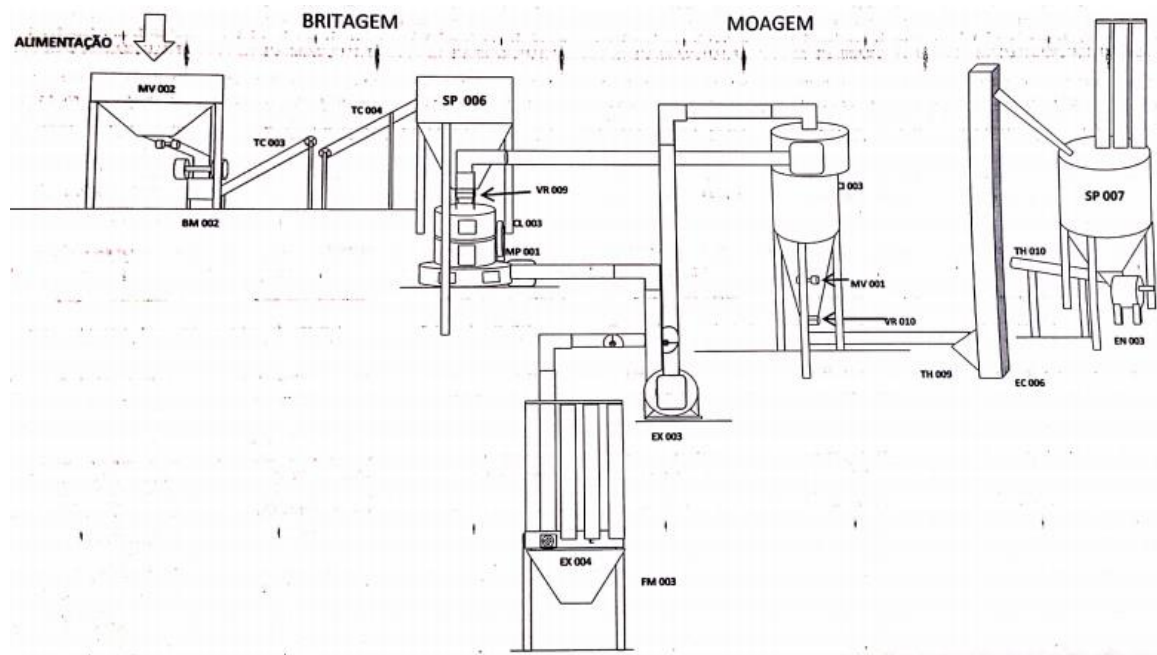


Figura 2. Planta do moinho VERDÉS (MP 275 SP) (Fonte: Mineração Ouro Branco LTDA, 2012)

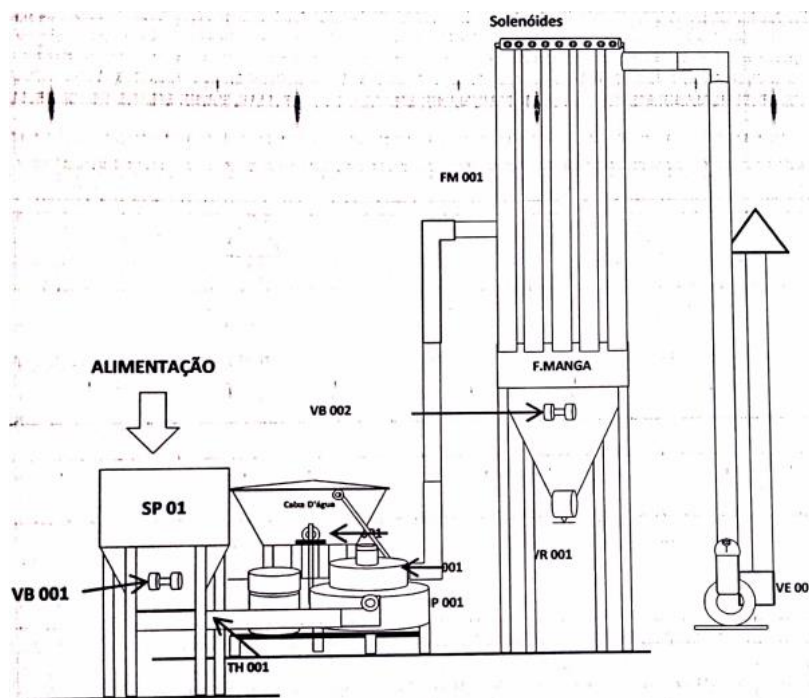


Figura 3. Planta do moinho ALFA 1 (Fonte: Mineração Ouro Branco LTDA, 2012)

O processo produtivo se inicia com a extração na reserva de calcário. A Chapada do Apodi, onde a empresa se localiza, é rica em Calcário Calcítico, matéria-prima para seus produtos. Por muito tempo utilizou-se de explosivos para a extração do minério, porém, além

de perder material, nota-se que a coloração do produto final se torna escura, devido principalmente aos impactos causados pelas explosões. Esses produtos que foram mais aprofundados necessitam de uma coloração mais clara, pois são requisitos fundamentais para suas aplicações, as quais necessitam de um alto grau de pureza. Diante da exigência do mercado o mecanismo utilizado na extração pela terceirizada que presta esse serviço para a mineração foi totalmente modificado, utilizando-se então de desmonte mecânico, posteriormente passa por um processo de limpeza e classificação da pedra, o que faz com que se produza um material muito mais claro e limpo. A reserva de minério da empresa é localizada no próprio município, e depois de extraído este é levado para a mineração em caminhões do tipo caçambas, os quais depositam o material no espaço destinado a ele (ver figura 4).



Figura 4. Depósito de carbonato de cálcio bruto. (Fonte: Mineração Ouro Branco LTDA, 2012)

Em seguida se inicia o processamento do material. Este é alimentado na bandeja da britagem por meio de um trator enchedeira. O britador utilizado é do tipo “de mandíbulas” (ver figura 5, a). Este é um equipamento que deve ser minunciosamente controlado, pois não pode ter suas mandíbulas muito abertas nem muito fechadas, pois se abertas demais o material vai passar muito grosso e ao passar pela mesa vibratória não irá seguir e acabará voltando para o britador, ou seja, irá gastar mais energia fazendo o mesmo processo novamente, além de poder deixar o material muito fino, gerando muita poeira, consequentemente acaba

perdendo muito material, o que ocorre também quando as mandíbulas se encontram muito fechadas (ver figura 5,b).



Figura 5. a) Britador do moinho VERDÉS; b) Rejeito. (Fonte: Mineração Ouro Branco LTDA, 2012)

A pedra britada é carregada por meio de uma esteira transportadora (ver figura 6, a) até o silo de armazenamento (ver figura 6, b), o qual deve ser mantido sempre cheio (ver figura 6, c), pois a alimentação do moinho não pode parar, não podendo trabalhar com o nível do silo baixo nem seco.



Figura 6. a) Esteira de transporte da pedra britada; b) Vista frontal do silo de armazenamento; c) Vista superior do silo de armazenamento cheio. (Fonte: Mineração Ouro Branco LTDA, 2012)

Do silo, a pedra é levada ao moinho por meio de uma esteira menor, composta por uma calha vibratória. O moinho utilizado é do tipo pendular (ver figura 7), o qual funciona da seguinte forma: recebe o material por meio de um alimentador-obturador, caindo no fundo do moinho, sendo então recolhido por pás que, girando junto ao eixo central vertical o joga entre os roletes fixados nos pêndulos e o aro de moagem fixo na base. Ao girar junto ao eixo vertical, a força centrífuga dá a pressão necessária aos roletes de cada pêndulo para amassar o material, pressionando-o contra o aro fixo. Os roletes giram livres no eixo de cada um deles. Um volume de ar entra no moinho através de aberturas tangenciais na base, abaixo do aro de moagem, arrastando as partículas finas à parte superior, onde está o classificador, o qual tem por finalidade separar o material moído, deixando que passe apenas o que tem a finura desejada, os demais voltam para a base do moinho com a finalidade de passar novamente pelo processo de moagem.



Figura 7. Moinho pendular. (Fonte: Mineração Ouro Branco LTDA, 2012)

Após passar pelo moinho, o material é encaminhado pela corrente de ar ao ciclone (ver figura 8, a). Dentro desse equipamento, o material é separado da corrente de ar sob a ação de uma força centrífuga, que varia de 5 a 2500 vezes o peso do material, assim permitindo a captura de partículas muito pequenas, depois disso a força centrífuga do vórtex do ciclone, envia as partículas sólidas para o fundo do ciclone, onde escorregam e são recolhidas em bag's por meio das válvulas rotativas montadas nas bocas de descarga (ver figura 8, a). Já o ar, retorna ao sistema por meio do ventilador principal (ver figura 8, b), o qual o injeta novamente na base do moinho. Do material recolhido nesse processo deve-se retirar amostras entre o enchimento do bag, essas amostras são enviadas ao laboratório para as análises necessárias, se seus resultados estiverem conforme o planejado, o produto segue para o armazenamento ou expedição, caso contrário o produto será descartado.



Figura 8. a) Ciclone e boca de alimentação; b) Ventilador principal. (Fonte: Mineração Ouro Branco LTDA, 2012)

Há ainda um excesso de ar que deve ser retirado do sistema, esse é extraído por meio do ventilador secundário que através do filtro de mangas limpa o excesso de ar e o separa do material (mais fino que o requerido na produção) (ver figura 10, a). O filtro de manga é composto por mangas filtrantes de feltro agulhado (ver figura 9, a), através das quais ocorre a separação do ar e do pó, já que o ar atravessa o elemento filtrante e as partículas sólidas ficam retidas em sua parede externa. Essas mangas são sustentadas por armações metálicas, também conhecidas como gaiolas (ver figura 9,b), que contam com a parte inferior fechada e a superior aberta, sendo essa parte encaixada nos venturis (ver figura 9,c), tubos responsáveis pela conversão da energia da velocidade do ar comprimido injetado em energia de pressão, fazendo assim com que corra ar através da manga filtrante e, devido à magnitude do seu “sopro”, transmite uma onda de choque à manga, promovendo assim sua limpeza e desalojando o material impregnado. Esse sistema é distribuído por meio de uma chapa espelho.



Figura 9. Mangas filtrantes; Gaiolas; Venturis; Chapa espelho.

O material que é jogado pelo filtro de manga, é retirado do sistema da mesma forma que no ciclone, e o ar é expulso à atmosfera por meio de uma chaminé (ver figura 10, b).



Figura 10. a) Filtro de mangas com boca de descarga de material fino; b) Ventilador secundário ligado a chaminé. (Fonte: Mineração Ouro Branco LTDA, 2012)

Ao final desse processo temos então como produto acabado o carbonato de cálcio com uma granulometria mais grossa, necessitando assim de processos posteriores para adquirir produtos mais finos.

O moinho ALFA é a grande aposta da empresa, pois este traz uma maior lucratividade em relação aos demais. Sua alimentação (ver figura 11) no momento é feita através dos bag's (sacolões) de C44 produzidos no moinho VERDÉS (processo descrito

anteriormente), porém, há planos (já em execução) de fazer uma ligação direta entre esses moinhos. Haverá um elevador que irá transportar o material produzido no VERDÉS para um silo, este por sua vez irá alimentar os ALFA's (mais um moinho em processo de fabricação).



Figura 11. Alimentação do moinho ALFA. (Fonte: Mineração Ouro Branco LTDA, 2012)

A rosca 1 (R1) transporta o material para um pequeno silo (ver figura 12) o qual é responsável pelo controle da quantidade de material que está sendo transportado para o moinho e dependendo do material a ser produzido é responsável também pela mistura prévia dos reagentes. Quando se trabalha com o C25R, necessita-se realizar a mistura do carbonato de cálcio ao ácido esteárico, o qual melhora significativamente as propriedades do composto, melhorando principalmente sua fluidez. É notória a diferença em se trabalhar com C25N e C25R, enquanto o primeiro tem um aspecto mais duro, rígido, o segundo já é mais maleável. É aconselhável ao processo que nesse equipamento seja instalado um controlador de nível que ligue o silo à R1, pois a medida que seu nível aumentasse, a velocidade em que essa rosca transportaria o material cairia, e vice versa.



Figura 12. a) Transporte da Rosca 1 ao recipiente de controle; b) Dosador de estearina. (Fonte: Mineração Ouro Branco LTDA, 2012)

A rosca 2 (R2) é responsável por levar o material até o moinho, sua velocidade de rotação está controlada, ligada diretamente à amperagem do moinho, ou seja, quanto maior for a amperagem, menos material irá passar e vice versa. Um cuidado especial que se deve ter com o moinho, está ligado ao fato de não o sobrecarregar, também de não o deixar trabalhar vazio, o que pode ser feito analisando sua amperagem, onde o ideal é que esteja entre 50 e 70 A. Se o moinho está com a amperagem muito baixa, implica dizer que está entrando pouco material, ou seja, ele não está trabalhando com sua total eficiência; se o moinho se encontra com a amperagem muito alta, implica dizer que está entrando muito material e o moinho tem que trabalhar com mais força para chegar à granulometria desejada.

O moinho utilizado nessa etapa do processo é o de martelos (ver figura 13), este contém 8 martelos de metal posicionados em um disco do mesmo material. Seu princípio de funcionamento é igual ao moinho pendular, o qual foi visto anteriormente.



Figura 13. Moinho de martelos (Fonte: Mineração Ouro Branco LTDA, 2012)

É observado um desgaste muito rápido do equipamento, devido a necessidade de adquirir um produto mais fino. Pode-se perceber que em contato com o ácido esteárico houve um desgaste mais acentuado do equipamento, pode-se observar isso com a figura 14, onde nota-se a grande deterioração dos martelos. É de tamanha importância que todas as partes retiráveis do moinho sejam temperadas, pois isto transmite ao material uma maior durabilidade, uma vez que a têmpera adiciona ao metal maior dureza e resistência.



Figura 14. Martelos utilizados no moinho ALFA após grande desgaste (Fonte: Mineração Ouro Branco LTDA, 2012)

Assim como no moinho VERDÉS, após o moinho o material passa pelo ciclone (figura 15.a), porém o seu material irá direto ao filtro de mangas (figura 15.b) para posteriormente ir para a boca de descarga (figura 15.c), finalizando assim o processo. Durante o enchimento do bag são recolhidas amostras e levadas ao setor de qualidade para verificar se o produto está ou não dentro dos conformes, caso esteja, armazena ou prepara para expedição, se não, o produto é descartado.



Figura 15. Equipamentos de separação do moinho ALFA; a) Ciclone; b) Filtro de mangas; c) boca de descarga.
(Fonte: Mineração Ouro Branco LTDA, 2012)

4. CONTROLE DE QUALIDADE

É notório em todos os setores da empresa a busca pela maior qualidade do produto e serviço prestado. Pelo seu grande potencial econômico, nota-se um cuidado especial com a unidade de GCC, estando a equipe de controle de qualidade sempre atenta às alterações no perfil dos resultados. Os principais ensaios feitos são o de finura, determinação do CaO_t , MgO , CaCO_3 e MgCO_3 , ensaios de umidade e identificação de tamanho de partícula (feito em parceria com a UFCG). A seguir serão abordados os ensaios realizados com maior frequência.

4.1. ENSAIO DE FINURA DO CARBONATO DE CÁLCIO (NBR 9289)

Para a realização deste ensaio são pesados 50g de Carbonato de Cálcio e esta massa é transferida para a peneira específica de cada produto (ver tabela 3). O material é umedecido com uma pequena quantidade de água, sempre evitando respingos, posteriormente é lavado utilizando um jato de água com pressão controlada girando a peneira de forma que a água alcance toda a sua superfície, até que não passe mais material pelas peneiras. Deve-se ter uma atenção maior quando se trata do C25R pois a estearina dificulta a passagem do material pela peneira. O material retido nas peneiras é então transferido para recipientes resistentes a exposição ao calor, estes são levados à estufa para a secagem a uma temperatura entre 100°C e 120°C. O material seco é então pesado, seu resultado é calculado com a percentagem do resíduo seco retido em relação à sua massa original, segundo a expressão:

$$F_N = \frac{R_N \cdot 100}{M} \quad (1)$$

Onde,

N = Malha da peneira;

F_N = Finura da peneira nº N , em percentagem;

R_N = Resíduo seco da peneira nº N em gramas;

M = Massa da amostra inicial, em gramas.

Tabela 3. Relação de abertura de peneiras utilizadas em ensaio de finura.

PRODUTO	MALHA (Tyler/Mesh)	ABERTURA (µm)
C25N	500	25
C25R	500	25
C44	325	45
C106	140	106
CALCÁRIO CALCÍTICO FINO PARA RAÇÃO ANIMAL	30	595

4.2. ENSAIOS DE DETERMINAÇÃO DO CaO_t , MgO , CaCO_3 e MgCO_3

Para esse ensaio deve-se pesar aproximadamente 0,7g da amostra de carbonato de cálcio em um pedaço de papel e transferir para um béquer de 250 ml e umedecer com água destilada fervida, posteriormente adiciona-se aos poucos 40 ml de HCl 1:1 e adiciona-se 5 gotas de HNO_3 , tampando o becker com um vidro de relógio no final. Esse recipiente é então levado a chapa aquecedora a 250°C , deixando acontecer o desprendimento de fumos brancos da amostra. Em seguida retira-se da chapa e deixa esfriar até a temperatura ambiente e então a solução é filtrada em papel de filtro. Esse papel é resguardado para os ensaios de Sílica+RI. O filtrado é transferido para um balão de 500 ml e seu volume é ajustado utilizando água destilada. Retira-se então 10 mL do filtrado e adiciona-se a um erlenmeyer de 250 ml, adiciona-se 10 mL de trietanolamina 20 % e posteriormente deve-se elevar o pH da solução com KOH a 20% para a faixa de 12,5 a 13 com auxílio de pHmetro ou fita de medir pH (utilizada pela empresa). Como indicador usa-se o Calcon, o qual torna a solução que antes era transparente em lilás. Titula-se então a solução com EDTA a 0,025M até a viragem para um azul límpido. O volume gasto é observado e com isso pode-se calcular o teor de CaO total.

$$\% \text{CaO}_t = \frac{7,01 \cdot F_{\text{EDTA}} \cdot V_1}{M} \quad (2)$$

Onde,

V_1 = Volume de EDTA gasto na titulação em ml do CaO_t ;

F_{EDTA} = Fator de correção da solução de EDTA;

M = Massa inicial da amostra usada na determinação de CaO_t .

A partir do valor calculado na equação 2 se torna possível determinar o percentual de CaCO_3 no material utilizando a equação 3.

$$\% \text{CaCO}_3 = \% \text{CaO}_t \cdot 1,7847 \quad (3)$$

Onde,

1,7847 = Equivalente em gramas do CaCO_3 para o CaO .

O processo de determinação do MgO se assemelha ao do CaCO_3 . Retira-se 10 ml do filtrado e o transfere para um erlenmeyer de 250 ml, adiciona-se 10 ml de trietanolamina à 20 %. Deve-se elevar o pH da solução com NH_4OH a 1:1 para a faixa de 10,5 a 11 com o auxílio de pHmetro ou fita de medir pH (método utilizado pela empresa). O indicador utilizado para essa titulação é o Negro Eriocromo, adquirindo uma coloração lilás. Realiza-se então a titulação com EDTA a 0,025M até a viragem para um azul límpido. O volume é observado e pode-se então determinar o teor de MgO do material pela equação 4.

$$\% \text{MgO} = \frac{5,04 \cdot F_{\text{EDTA}} \cdot (V_2 - V_1)}{M} \quad (4)$$

Onde,

V_2 = Volume de EDTA gasto na titulação do MgO em ml.

A partir do valor calculado na equação 4 se torna possível determinar o percentual de MgCO_3 no material utilizando a equação 5.

$$\%MgCO_3 = \%MgO \cdot 2,0920 \quad (5)$$

Onde,

2,0920 = Equivalente em gramas do $MgCO_3$ para o MgO .

4.3. ENSAIO DE SILICA + RI (SiO_2 +RI) (NBR 6473)

Após a filtração descrita no item anterior o papel contendo a precipitação é retirado e dobrado cuidadosamente e transferido para um cadinho de porcelana previamente tarado. Esse material é levado ao forno Mufla a $1000^\circ C$ durante 1h. Após esse período o cadinho é retirado e deve esfriar em um dessecador para posteriormente ser determinada sua massa.

$$SiO_2 + RI = (M_3 - M_2) \cdot \frac{100}{M_1} \quad (6)$$

Onde,

M_1 = Massa inicial da amostra em grama;

M_2 = Massa do cadinho com amostra após a calcinação em grama;

M_3 = Massa do cadinho com amostra antes da calcinação em grama;

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Durante o período de estágio na MOB, ao acompanhar o processo de fabricação do GCC, foi possível observar que este se trata de um mecanismo simples, mas que traz a empresa uma boa lucratividade. Pode-se perceber que há pontos que devem ser reparados para que haja um melhor desempenho no processo. Sugestões são então feitas, visando uma melhoria no funcionamento da planta.

Um ponto observado se diz respeito à manutenção dos equipamentos, observou-se que ocorrem muitos problemas com o moinho VERDÉS, principalmente ligados aos filtros de mangas e à perda de pressão dos equipamentos. Sugere-se então que haja a vistoria periódica do moinho, podendo assim antecipar possíveis problemas que venham a acontecer. O mesmo se diz do moinho ALFA, como este tem um enorme desgaste de seus martelos, necessita-se de um acompanhamento mais intenso. Além do acompanhamento periódico deve-se estar atento a modificações na amperagem do moinho, indício esse de problemas em seu interior.

No que se diz respeito ao laboratório, sugere-se que haja a troca da forma de medição de pH, que até o momento está sendo por meio de fitas de medir pH, as quais, além de não medirem com exatidão se desgastam com muita rapidez, não demonstrando eficiência nas análises e necessitando fazer compras regulares. É aconselhável que seja adquirido um pHmetro, o qual, além de fazer a medição exata na faixa em que é configurado, não é descartável, tendo gastos apenas com a manutenção da solução de KCl, utilizada para cobrir o eletrodo.

Espera-se então que, com a implementação dessas sugestões observe-se melhorias no processo produtivo da empresa, assim como na eficiência do controle de qualidade.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9289**: Cal hidratada para argamassas - Determinação da finura. Rio de Janeiro: Moderna, 1998.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10790**: Determinação de óxido de cálcio, hidróxido de cálcio e substâncias reativas ao HCl. Rio de Janeiro: Moderna, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7175**: Cal Hidratada para argamassas - requisitos. Rio de Janeiro: Moderna, 2003.

MINERAÇÃO OURO BRANCO LTDA (Governador Dix-sept Rosado). **Mineração Ouro Branco**. 2012. Disponível em: <<http://www.mineracaoourobranco.com.br/index.html>>. Acesso em: 13 nov. 2018.

SAMPAIO, João Alves; ALMEIDA, Salvador Luiz Matos de. Calcário e Dolomito. In: LUZ, Adão Benvindo da; LINS, Fernando Antonio Freitas (Ed.). **Rochas & Minerais Industriais**: Usos e Especificações. 2. ed. Rio de Janeiro: Cetem/mct, 2005. Cap. 15. p. 327-350.

SILVA, José Otávio da. Ministério de Minas e Energia – MME: Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral-SGM. **J Mendo Consultoria**, ago. 2009. Disponível em:

<http://www.mme.gov.br/documents/1138775/1256650/P27_RT38_Perfil_do_Calcxrio.pdf/461b5021-2a80-4b1c-9c90-5ebfc243fb50>. Acesso em: 20 fev. 2019.

Departamento Nacional de Produção Mineral. **Anual Mineral Brasileiro**. Brasília, 2010. Disponível em: <<http://www.anm.gov.br/dnpm/publicacoes/serie-estatisticas-e-economia-mineral/anuario-mineral/anuario-mineral-brasileiro/anuario-mineral-brasileiro-2010>>. Acesso em: 15 fev. 2019.