



UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA  
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA  
QUÍMICA INDUSTRIAL

**CLASSIFICAÇÃO DO CALCÁRIO DA REGIÃO DO CARIRI ORIENTAL  
PARAIBANO USADO NA PRODUÇÃO DE CARBONATO DE CÁLCIO**

**ROMÁRIO DIAS MOURA**

CAMPINA GRANDE – PB  
2014

**ROMÁRIO DIAS MOURA**

*Trabalho de Conclusão de Curso  
(TCC) apresentado como exigência  
para obtenção do Título de  
Graduação em Química Industrial  
da Universidade Estadual da  
Paraíba – UEPB.*

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Márcia Ramos Luiz

CAMPINA GRANDE – PB  
2014

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

M929c Moura, Romário Dias.

Classificação do calcário da região do cariri oriental paraibano usado na produção de carbonato de cálcio [manuscrito] / Romário Dias Moura. - 2014.

57 p. : il. color.

Digitado.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Química Industrial) - Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Ciências e Tecnologia, 2014.

"Orientação: Profa. Dra. Márcia Ramos Luiz, Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental".

1. Extração Mineral. 2. Carbonato de cálcio. 3. Calcário. I. Título.

21. ed. CDD 338.2

ROMÁRIO DIAS MOURA

CLASSIFICAÇÃO DO CALCÁRIO DA REGIÃO DO CARIRI ORIENTAL  
PARAIBANO USADO NA PRODUÇÃO DE CARBONATO DE CÁLCIO

*Trabalho de Conclusão de Curso  
(TCC) apresentado como exigência  
para obtenção do Título de  
Graduação em Química Industrial da  
Universidade Estadual da Paraíba –  
UEPB.*

APRESENTADO EM: 30 / Março / 2014

NOTA: 10,0 (Dez)

BANCA EXAMINADORA

Márcia Ramos Luiz

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Márcia Ramos Luiz  
(Orientadora – DESA / UEPB)

Lígia

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Lígia Maria Ribeiro Lima  
(Examinadora – DESA / UEPB)

Wanda Izabel M. de Lima Marsiglia

Prof<sup>a</sup>. Msc. Wanda Izabel M. de L. Marsiglia  
(Examinadora – DQ / UEPB)

Campina Grande – PB

2014

## DEDICATÓRIA

A minha mãe Ivanilda Dias Moura que sempre me deu apoio de forma incondicional em todos os momentos de dificuldades e que nunca desacreditou da minha capacidade e determinação para a obtenção deste Título.

## **AGRADECIMENTOS**

“Em ti me refugio, SENHOR, que eu não seja confundido para sempre. Liberta-me, defende-me pela tua justiça, atende-me e salva-me. Sê para mim uma rocha de defesa, uma fortaleza para a minha salvação, porque és meu rochedo e meu refúgio. Meu Deus, salva-me da mão do ímpio, do poder do malvado e do opressor. És tu, senhor, a minha esperança, és minha confiança, SENHOR, desde a minha juventude. Sobre ti me apoiei desde o seio materno, desde o colo de minha mãe és minha proteção; em ti está sempre o meu louvor. Muitos se espantavam ao ver-me: mas tu és o meu abrigo seguro. De teu louvor está cheia a minha boca, de tua glória, o dia todo”. (Salmos 71; 1:9). Ao término deste trabalho agradeço a Deus por sempre ter me dado força, determinação e discernimento durante toda árdua caminhada para a realização deste estudo.

A minha mãe que mesmo não tendo um alto grau de instrução, foi doutora em compreensão, carinho e acolhimento sempre que necessitei.

Aos meus irmãos que de forma incondicional torceram por mim e me encorajaram a lutar para tornar esse estudo uma realidade.

A minha ilustre professora Márcia Ramos Luiz, que tive a honra de fazer parte da primeira turma que ela ministrou na UEPB, que com muita paciência e sabedoria contribuiu em todos os aspectos para o aprimoramento e conclusão deste trabalho.

A empresa de mineração e a todos que dela fazem parte, por ter cedido às amostras e permitido que todas as análises fossem feitas em seu laboratório.

Aos meus amigos e colegas de curso Amanda Agostinho, Charlysson Patrício e Jéssica Alves, pelo companheirismo e presença em todos os momentos que deles precisei.

A Virgem Maria Mãe de Jesus e aos meus pais e irmãos de EJC, por terem sido luzes no meu caminho, me orientando espiritualmente na realização desse estudo.

Enfim, agradeço a todos, que de alguma forma contribuíram para a concretização deste trabalho.

*Obrigado!*

*“Apesar dos nossos defeitos, precisamos enxergar que somos pérolas únicas no teatro da vida e entender que não existem pessoas de sucesso e pessoas fracassadas. O que existem são pessoas que lutam pelos seus sonhos ou desistem deles.”*

*Augusto Cury*

*“Determinação, coragem e autoconfiança são fatores decisivos para o sucesso. Se estivermos possuídos por uma inabalável determinação, conseguiremos superá-los. Independentemente das circunstâncias, devemos ser sempre humildes, recatados e despidos de orgulho.”*

*Dalai Lama*

*"O sucesso nasce do querer, da determinação e persistência em se chegar a um objetivo. Mesmo não atingindo o alvo, quem busca e vence obstáculos, no mínimo fará coisas admiráveis".*

*José de Alencar*

## RESUMO

O calcário é a principal matéria prima na produção de carbonato de cálcio que consiste no processo de moagem de rochas calcárias e de outras operações unitárias após sua extração. No estado da Paraíba, em especial na região do cariri oriental, existem grandes reservas desse mineral e mão-de-obra de baixo custo, o que já tem despertado certo interesse de alguns setores industriais como o do beneficiamento de calcário e o da indústria cimenteira. No entanto, é fundamental a realização de estudos para classificar o calcário existente na região, tendo em vista que a sua aplicação para determinados fins é estabelecida de acordo com sua classificação, que é realizada através de análises físico-químicas como: umidade, pH, perda ao fogo, teores de óxido de cálcio e magnésio totais, entre outros. A granulometria do calcário moído varia conforme sua aplicabilidade nos mais diversos setores industriais, que usam o carbonato de cálcio como matéria prima ou como elemento de carga em seus produtos com intuito de reduzir custos no produto final. O carbonato de cálcio é classificado de acordo com o tipo de rocha que o originou e isso é verificado através de análises que determinam a sua composição. Para se determinar o tipo de calcário ou de carbonato de cálcio, são realizadas análises físico-químicas, que possibilitam a sua classificação antes ou depois da moagem, sendo o principal parâmetro para a sua diferenciação, os teores totais de óxidos de cálcio e de magnésio presentes na rocha "in natura" ou na mesma já moída. As amostras analisadas foram coletadas e cedidas por uma empresa da cidade de Campina Grande-PB que possui duas minas de extração de calcário na região do cariri oriental da Paraíba, sendo uma na cidade de Boa Vista e outra em Caraúbas. Todas as análises foram realizadas no laboratório da empresa que possui todos os recursos necessários para a realização deste estudo. Os resultados mostram a existência de diferentes tipos de calcários em uma mesma microrregião, pois as amostras coletadas da mina de Boa Vista apresentam características que permitem classificá-las como rochas calcíticas pelo fato da mesma apresentar altos teores de óxido de cálcio cerca de 52% e pequenas quantidades de óxido de magnésio, aproximadamente 1,3%. Esse material pode ser utilizado na produção da cal virgem e cal hidratada, ou ainda como carga na produção de tintas e de alguns polímeros e também como complemento na ração de animais como fonte de cálcio. As amostras oriundas da mina de Caraúbas têm em sua composição teores de óxido de cálcio e de magnésio relativamente mais próximos um dos outros, 32% e 20% respectivamente, essa proximidade não é um fator de classificação, demonstra apenas que essa rocha possui quantidades consideráveis de outros compostos em relação ao óxido de cálcio. No entanto, o calcário da mina de Caraúbas deve ser classificado como dolomítico por apresentar teores de óxido de magnésio acima de 12%, o que o torna viável para ser aplicado no processo de calagem, correção de pH de solos, industrias de tintas, produtos cerâmicos, entre outros.

**PALAVRAS-CHAVES:** carbonato de cálcio, calcário e classificação.



## ABSTRACT

Limestone is the main raw material in the production of calcium carbonate which is the grinding of limestone and other unit operations after its extraction process. In the state of Paraíba, especially in the eastern cariri region there are large reserves of mineral and labor -intensive low cost, which has already attracted some interest from some industrial sectors such as the processing of limestone and cement industry. However, it is critical to conduct studies to classify the existing limestone in the region in view of its application to particular purposes is established according to their classification, which is done through physical- chemical analysis such as moisture, pH, loss on ignition levels of total calcium and magnesium oxide, among others. The particle size of ground limestone varies according to its applicability in various industrial sectors, which use calcium carbonate as raw material or as a load element in their products in order to reduce costs in the final product. Calcium carbonate is classified according to the type of rock that originated it and that is verified through analyzes that determines its composition. To determine the type of limestone or calcium carbonate, physicochemical analysis, which enable its classification before or after grinding, the main parameter for differentiation, the total concentration of oxides of calcium and magnesium are held present in the rock "in nature" or on the same ground already. The samples were collected and disposed of by a company of Campina Grande - PB has two mines for extraction of limestone in the eastern cariri Paraíba region, one in the city of Boa Vista and another in Caraúbas. All analyzes were performed on the company that has all the features needed for this study lab. The results show the existence of different types of limestone in the same micro-region, as samples collected from Boa Vista mine have characteristics that allow to classify them as calcite rocks because of that experience high levels of calcium oxide and about 52 % small amounts of magnesium oxide, about 1.3 %. This material can be used in the production of quicklime and hydrated lime, or as filler in paints and some polymers and as a supplement in animal feed as a source of calcium. The samples from the mine Caraúbas have in their composition levels of calcium oxide and magnesium relatively close to each other, 32 % and 20 % respectively, this proximity is not a ranking factor, only shows that this rock has considerable amounts compounds other than calcium oxide. However, the limestone mine Caraúbas should be classified as dolomitic to present levels of magnesium oxide above 12 %, which makes it feasible to be applied in the process of liming, soil pH correction, industries of paints, ceramics, among others.

**KEYWORDS:** calcium carbonate, limestone and classification.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Produção Nacional de Calcário (2002 a 2007).....	24
Figura 2: Fluxograma da Produção do Carbonato de Cálcio.....	26
Figura 3: Paredão de Calcário Localizado na Cidade de Botuverá - Sc.....	27
Figura 4: Britador de Mandíbulas. ....	28
Figura 5: Peneira Vibratória.....	28
Figura 6: Moinho Vertical com Pêndulos.....	29
Figura 7: Peneira Malha # 14 (n° 16). ....	32
Figura 8: Sequência de Peneiras. ....	32
Figura 9: Equipamento para Análise Granulométrica por Via úmida de Sólidos Finos. .....	34
Figura 10: PHmetro.....	38
Figura 11: Gráfico de Determinação dos Teores Totais de Óxido de Cálcio e de Magnésio Presente no Calcário da Mina de Boa Vista - PB. ....	45
Figura 12: Gráfico da Determinação dos Teores Totais de Óxido de Cálcio e Magnésio Presente no Calcário da Cidade de Caraúbas - PB.....	49
Figura 13: Resultado Gráfico Comparativo das Análises entre as Minas de Boa Vista e Caraúbas.....	52

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Classificação do Calcário de Acordo com os Teores de Óxido de Cálcio e de Magnésio.....	16
Tabela 2: Características Físicas dos Calcários dos Tipos Calcíticos, Dolomíticos e Magnesianos.....	17
Tabela 3: Produção Nacional de Calcário (2002 a 2007).....	24
Tabela 4: Ficha de Segurança de Produto Químico para o Carbonato de Cálcio. ....	26
Tabela 5: Resultado da Análise Granulométrica das Amostras. ....	43
Tabela 6: Determinação dos Teores Totais de Óxido de Cálcio e de Magnésio Presente no Calcário da Mina de Boa Vista - PB.....	44
Tabela 7: Determinação da Sílica mais Resíduos Insolúveis, Umidade e pH das Amostras da Mina de Boa Vista - PB. ....	46
Tabela 8: Determinação da Perda ao Fogo, para as Amostras da Mina de Boa Vista - PB. ....	47
Tabela 9: Determinação dos Teores Totais de Óxido de Cálcio e de Magnésio Presente no Calcário da Mina de Caraúbas - PB.....	48
Tabela 10: Determinação da Sílica mais Resíduos Insolúveis, Umidade e pH das Amostras da Mina de Caraúbas - PB.....	49
Tabela 11: Determinação da Perda ao Fogo, para as Amostras da Mina de Caraúbas - PB. ....	50
Tabela 12: Resultado Comparativo das Análises entre as Minas de Boa vista e Caraúbas.....	52

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	13
<b>2. OBJETIVOS</b> .....	15
2.1. OBJETIVO GERAL .....	15
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	15
<b>3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	16
3.1. O CALCÁRIO .....	16
3.2. BENEFICIAMENTO DO CALCÁRIO.....	18
3.3. USO DO CARBONATO DE CÁLCIO NA PRODUÇÃO DA CAL.....	19
3.4. USO DO CARBONATO DE CÁLCIO NA PRODUÇÃO DE TINTAS.....	20
3.5. USO DO CARBONATO DE CÁLCIO NA ALIMENTAÇÃO ANIMAL .....	21
3.6. USO DO CARBONATO DE CÁLCIO NA AGRICULTURA .....	22
3.7. PRODUÇÃO DE CALCÁRIO NO BRASIL .....	23
3.8. CONTROLE DE QUALIDADE DE CARBONATO DE CÁLCIO.....	25
3.9. PROCESSO PRODUTIVO .....	25
3.9.1 Extração.....	27
3.9.2 Britagem e peneiramento.....	27
3.9.3 Moagem.....	29
<b>4. MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	30
4.1 COLETA E PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS .....	30
4.2 ANÁLISE GRANULOMÉTRICA .....	30
4.2.1 Análise granulométrica por via seca .....	31
4.2.2 Análise granulométrica por via úmida .....	33
4.3 ANÁLISE FÍSICO-QUÍMICA .....	35
4.3.1 Análise da umidade .....	36
4.3.2 Análise da perda ao fogo .....	37
4.3.3 Análise do pH .....	38

4.3.4	Determinação de sílica mais resíduo insolúvel (SiO <sub>2</sub> + R.I).....	38
4.3.5	Determinação de óxido de cálcio total (CaO) .....	40
4.3.6	Determinação de óxido de magnésio total (MgO).....	41
<b>5.</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	<b>43</b>
5.1	ANÁLISES GRANULOMÉTRICAS DAS AMOSTRAS .....	43
5.2	CLASSIFICAÇÃO DO CALCÁRIO DA MINA DE BOA VISTA - PB .....	44
5.3	CLASSIFICAÇÃO DO CALCÁRIO DA MINA DE CARAÚBAS - PB .....	47
5.4	COMPARAÇÕES DOS RESULTADOS DAS ANÁLISES .....	51
<b>6.</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	<b>53</b>
<b>7.</b>	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>54</b>
<b>8.</b>	<b>ANEXOS</b> .....	<b>56</b>
	ANEXO 01: MAPA DE RECURSOS MINERAIS DO CARIRI ORIENTAL DO ESTADO DA PARAÍBA.....	56

## 1. INTRODUÇÃO

O cariri oriental paraibano é uma das regiões mais áridas e secas do Brasil. Apresenta um solo composto em sua maior parte por rochas sedimentares que se formaram a partir da precipitação de materiais gerados por microrganismos vivos como corais, crustáceos, ou pela evaporação de soluções minerais com a água do mar que ao se evaporar deposita grandes quantidades de diferentes minerais que também dão origem a vários tipos de rochas sedimentares.

Os calcários são as rochas sedimentares carbonatadas mais conhecidas e comuns que existem. Elas são compostas principalmente de carbonato de cálcio e de magnésio, podendo conter ainda pequenas quantidades de outros minerais como: ferro, alumínio, silicatos, argilas. É encontrado extensivamente em todos os continentes e é extraído de pedreiras, de depósitos que variam em idade, desde o Pré-Cambriano até o Holoceno e representa aproximadamente 15% de todas as rochas sedimentares existentes na crosta terrestre (SAMPAIO e ALMEIDA, 2009). Essas rochas são classificadas de acordo com a sua composição química, mais precisamente, em função dos teores totais de óxido de cálcio e óxido de magnésio, determinados através de titulações complexométricas. Muitos íons metálicos formam complexos estáveis, a formação destes complexos serve como base para a titulação complexométrica de uma variedade de íons metálicos (BACCAN, 2001). O cálcio e o magnésio pertencem à família dos metais terrosos, e quando se encontram em solução na sua forma iônica ( $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$ ) formam complexos na presença de um agente complexante como o ácido etilenodiaminotetraacético (EDTA).

A classificação dos calcários é de grande importância, principalmente para a indústria de beneficiamento, pois, antes de ser dada qualquer finalidade a rocha, é necessário que se determine o tipo de calcário com que se está trabalhando, para que garantir que ele seja aplicado de forma correta e impedir que resultados indesejados sejam obtidos.

A indústria de beneficiamento de calcário tem grande relevância no mercado mundial, pois não há nenhuma outra rocha com uma variedade de uso tão ampla quanto esse mineral. É impossível passar um dia sem ter contato com algum produto ou estrutura que apresente em sua composição o carbonato de cálcio, principal componente presente nos calcários, tendo em vista que ele é utilizado

desde a construção civil para elaboração de concretos, decoração de fachadas de prédio e de jardins.

A produção de carbonato de cálcio trata-se de um processo relativamente simples se comparado a outros segmentos industriais, é constituído de quatro operações unitárias: desmonte das rochas, britagem, peneiramento e moagem.

O calcário na forma de rocha, ou seja, antes de ser moído, é usado principalmente na fabricação de cales através do processo de calcinação, que possibilita a obtenção da cal virgem, usada na metalurgia como aglomerante, ou ainda na produção da cal hidratada após a adição de água, usada principalmente na construção civil.

Após o processo de moagem, ele é aplicado na indústria cimenteira, contribuindo com cerca de 80% da composição do cimento. Além disso, tem importante atuação no barateamento de inúmeros produtos como: tintas, polímeros, ração animal, papel, vidro, cerâmica e até no tratamento de água. Tais produtos chegam a ter uma redução de até 30% do seu preço final, em função do uso do carbonato de cálcio como material de carga.

As tendências tecnológicas no processamento do calcário para fins industriais têm focado na otimização dos processos, especialmente na caracterização das rochas utilizadas, na moagem e classificação do produto. Os principais avanços ocorreram nos projetos dos circuitos, nos equipamentos de moagem e na classificação ultrafina do material moído. Houve um rápido avanço na área de informática e os equipamentos analíticos passaram a oferecer maior precisão e baixo custo na medição do tamanho de partículas, reologia, alvura e outras propriedades físicas.

Entretanto, na região do cariri oriental da Paraíba, ainda se faz uso de recursos poucos modernos de extração e de beneficiamento do calcário, isso pode ser observado pelo fato das maiorias das empresas instaladas na localidade, serem altamente dependentes da mão-de-obra local, que por sua vez é mal remunerada com pequenos salários e altas jornadas de trabalho em condições na maioria das vezes, desapropriadas para a realização do processo.

## 2. OBJETIVOS

### 2.1. OBJETIVO GERAL

Classificar o calcário existente na região do cariri oriental paraibano usado para produção de carbonato de cálcio.

### 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar o teor de óxido de cálcio total.
- Determinar o teor de óxido de magnésio total.
- Determinar a presença de outros compostos como sílica e resíduos insolúveis.
- Determinar a perda ao fogo.
- Comparar os resultados obtidos entre as amostras de Boa Vista - PB e de Caraúbas - PB, para estabelecer possíveis semelhanças ou diferenças.



### 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1. O CALCÁRIO

Calcário deriva do latim *calcarium*, significando “o que contém cal”. São rochas que apresentam em sua composição química dominância do carbonato de cálcio, cuja origem, orgânica em prevalência, está associada às carapaças e esqueletos fósseis ou organismos vivos e por precipitação química (RODRIGUES e FONSECA, 2009). Existem vários tipos de calcários, sendo os mais comuns os calcíticos, os dolomíticos e os magnesianos. São classificados e diferenciados de acordo com os teores de óxido de cálcio e de magnésio que apresentam em sua composição, como descritos na Tabela 1.

**Tabela 1:** Classificação do Calcário de acordo com os Teores de Óxido de Cálcio e de Magnésio.

CLASSIFICAÇÃO DOS CALCÁRIOS		
TIPO	% DE ÓXIDO DE CÁLCIO (CaO)	% DE ÓXIDO DE MAGNÉSIO (MgO)
Calcítico	45 a 55	< 5
Magnesiano	31 a 32	5 a 12
Dolomítico	25 a 45	>12

Fonte: INCAPER (2007).

Essa classificação é de grande importância para a indústria, pois é a responsável por determinar a aplicação que será dada ao calcário. De um modo geral, essa diferenciação é a mais importante no que diz respeito ao processo de classificação e diferenciação dos calcários quanto a sua procedência geológica e posterior aplicação industrial. No entanto, alguns aspectos físicos como: cor, dureza, densidade e estrutura cristalina, também são de grande valia para alguns setores industriais que utilizam o calcário “in natura” ou moído no processo produtivo, ou ainda, como aditivo na composição de seus produtos.

A Tabela 2 estão descritas algumas propriedades físicas específicas para calcários do tipo calcíticos, dolomíticos e magnesianos, respectivamente.

**Tabela 2:** Características Físicas dos Calcários dos Tipos Calcíticos, Dolomíticos e Magnesianos.

<b>CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DOS CALCÁRIOS DOS TIPOS CALCÍTICOS, DOLOMÍTICOS E MAGNESIANOS</b>	
Calcário calcítico (CaCO <sub>3</sub> )	Componente mais comum nos calcários e mármore, bem como de outras rochas sedimentares e metamórficas. Ocorre no sistema cristalino hexagonal com boa clivagem romboédrica. Dureza: 3 (escala Mohs). Densidade: 2,72 g/cm <sup>3</sup> . Comumente ocorre na cor branca ou sem cor (hialino) e colorida, quando contém impurezas.
Calcário dolomítico CaCO <sub>3</sub> .MgCO <sub>3</sub>	Sua origem pode ter sido secundária, por meio da substituição do cálcio pelo magnésio. Sistema cristalino hexagonal, comumente em cristais romboédricos com faces curvadas. Dureza: 3,5 a 4,0 (escala Mohs). Densidade: 2,87 g/cm <sup>3</sup> . Comumente ocorre nas cores brancas e róseas.
Calcário magnésiano (MgCO <sub>3</sub> )	Sistema hexagonal. Usualmente ocorre na forma granular ou massa terrosa. As cores mais comuns variam desde o branco ao amarelo; podem apresentar-se em outras cores quando ocorrem impurezas.

Fonte: SAMPAIO e ALMEIDA (2009).

O território do Cariri Oriental encontra-se na porção centro-sul do Estado, em direção ao entalhamento do rio Paraíba, essa região é composta por quatorze municípios que juntos possuem uma população de 80.851 mil habitantes que ocupam uma área de 8.214 Km<sup>2</sup> (IBGE, 2007). Os solos dessa região são em geral, rasos e pedregosos, com espessura inferior a 50 cm, possuem uma estreita camada de material terroso sobre a rocha, ocorrendo mais frequentemente, em áreas de relevo acidentado. São classificados como solos com grande potencial para aproveitamento hidro agrícola, embora necessite de um manejo eficiente devido sua tendência à salinização e à solidificação (PLANO TERRITORIAL DE DESENVOLVIMENTO RURAL SUSTENTÁVEL, 2010).

O Cariri Oriental paraibano possui uma diversidade de minérios que possibilita a instalação de diferentes empreendimentos em seu território. Sua exploração se feita de forma sustentável, pode garantir a geração de emprego e renda e uma melhoria na qualidade de vida para milhares de pessoas. No entanto, a extração desses recursos, vem sendo explorada atualmente de maneira desordenada e com pouca fiscalização, o que já tem provocado sérios problemas de ordem socioambiental, que ao longo do tempo deve comprometer a qualidade de vida da população e a degradação dos ecossistemas da região.

Na realidade, os recursos minerais existentes na região, são explorados através de empresas estrangeiras, instaladas ao longo dos anos, que de certo modo, aproveitam-se da carência e da falta de oportunidades dos moradores da região para usá-los como mão-de-obra de baixo custo no processo de extração do calcário. A maior parte dos empreendimentos, instalados no território visam apenas à reprodução do capital, consideram os recursos existentes nesse espaço como bens infinitos, não se preocupam com o meio ambiente e tão pouco com o bem estar social (PLANO TERRITORIAL DE DESENVOLVIMENTO RURAL SUSTENTÁVEL - 2010).

No mapeamento da região do cariri oriental da Paraíba feito pelo governo federal é possível observar a predominância do calcário e da bentonita como os principais minerais existentes na região, esse mapa encontra-se no anexo 01.

### 3.2. BENEFICIAMENTO DO CALCÁRIO

O processo de beneficiamento de calcário é constituído basicamente de quatro operações unitárias: desmonte das rochas com o uso de explosivos, britagem e peneiramento feitos respectivamente através de britadores de mandíbula e de peneiras com aberturas específicas e moagem realizada por moinhos geralmente de rolos ou de pêndulos. Esse processo é feito visando o seu aproveitamento, nos mais diversos ramos das indústrias que fazem uso deste mineral como matéria prima. É importante ressaltar que o calcário já é o carbonato de cálcio propriamente dito, pois este é o principal componente desse mineral, a diferença entre os dois é dada especialmente pelo tamanho de suas partículas ainda quando rocha e após o seu beneficiamento onde se apresenta na forma de pó.

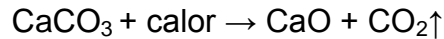
O processo de extração e beneficiamento da rocha calcária tem como objetivo produzir e comercializar calcário, visando atender à demanda existente desta matéria prima nas indústrias de transformação especialmente para produção da cal, do cimento e de tintas, que são os segmentos que fazem uso da maior parte do calcário beneficiado atualmente. A maior parte das minas de calcário, em todo o mundo, são lavras a céu aberto, principalmente por motivos de custos mais reduzidos. Elas são comumente chamadas de pedreiras, apesar de que, por razões técnicas, ambientais ou de escala de produção, algumas utilizam a lavra subterrânea.

As principais etapas da lavra de calcário a céu aberto incluem: remoção do capeamento, perfuração, desmonte por explosivos e transporte até a usina de processamento. A remoção do capeamento é o elemento-chave no custo da lavra a céu aberto. Para cada operação ou situação, há uma razão estéril/minério economicamente viável. A escala de produção é responsável pela viabilidade econômica de várias minas, especialmente tendo em vista os produtos serem de valor agregado relativamente baixo. A seleção dos equipamentos varia com a particularidade de cada operação, capacidade de produção, tamanho e forma do depósito, distância de transporte, estimativa da vida útil da mina, localização em relação aos centros urbanos e fatores socioeconômicos (SAMPAIO e ALMEIDA, 2009).

### 3.3. USO DO CARBONATO DE CÁLCIO NA PRODUÇÃO DA CAL

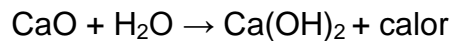
A cal é produzida através de um processo conhecido como calcinação, que consiste na decomposição térmica do calcário do tipo calcítico ( $\text{CaCO}_3$ ), mediante a liberação de gás carbônico ( $\text{CO}_2$ ), produzindo óxido de cálcio ( $\text{CaO}$ ), conhecida comercialmente como cal virgem. Para essa reação ocorrer à temperatura do forno deve ser de, no mínimo,  $850\text{ }^\circ\text{C}$ , mas a eficiência total da calcinação se dá à temperatura no intervalo de  $900$  a  $1000\text{ }^\circ\text{C}$ . Essa temperatura é garantida pela queima de um combustível, que pode ser: lenha, óleo combustível, gás natural, carvão e material reciclado.

A reação abaixo mostra a decomposição térmica da calcita.



O óxido de cálcio (cal virgem) é o primeiro produto dessa reação. No entanto, pode-se ainda através da reação de hidratação produzir o hidróxido de cálcio conhecido como cal hidratada, usada na construção civil e na pintura de superfícies.

O óxido de cálcio adicionando água realiza a reação de hidratação.



O calcário utilizado na produção da cal é preferencialmente a calcita. Essa escolha é feita levando-se em conta três características básicas desta rocha:

- Apresentar teores de óxido de cálcio acima de 50%, o que garante um maior rendimento na produção da cal.
- A calcita é fisicamente menos resistente a choques mecânicos (moagem) e é mais sensível ao calor, proporcionando menor gasto com energia, nos processos de calcinação e moagem.
- Apresentar menor perda ao fogo. O que significa que a rocha apresenta em sua composição menor quantidade de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) e maiores teores de óxido de cálcio.

### 3.4. USO DO CARBONATO DE CÁLCIO NA PRODUÇÃO DE TINTAS

A tinta é uma preparação, sendo uma mistura de vários insumos na sua produção. A combinação dos elementos sólidos e voláteis define as propriedades de resistência e de aspecto como brilho e textura, bem como o tipo de aplicação e custo do produto final. De modo geral, a tinta pode ser considerada como uma mistura estável de uma parte sólida (que forma a película aderente à superfície a ser pintada) em um componente volátil (água ou solventes orgânicos). Uma terceira parte denominada de aditivo, embora representando uma pequena percentagem da composição, é responsável pela obtenção de propriedades importantes tanto nas tintas como em revestimentos (CETESB, 2006).

O uso do carbonato de cálcio na fabricação de tintas está associado ao preço da mesma, como produto final, pois o carbonato é utilizado como material de carga, o que garante um maior rendimento e uma economia de outros constituintes mais caros presentes na formulação das tintas.

As cargas são minerais industriais com características adequadas de brancura e granulometria, sendo as propriedades físicas e químicas também importantes para as indústrias produtoras. As cargas além de baratarem uma tinta ainda colaboram na melhoria de certas propriedades tais como: cobertura e resistência às intempéries.

As principais características que o carbonato de cálcio deve apresentar para ser utilizado como carga na produção de tintas, são:

- **Cor:** o carbonato deve apresentar na maioria dos casos, um alto grau de alvura, principalmente quando se deseja produzir tintas de cores mais claras. Um carbonato que apresente baixo grau de alvura aumenta os gastos com pigmentos que é um dos componentes mais caros presentes nas tintas.

- **Granulometria:** o tamanho das partículas do carbonato garante uma maior homogeneidade no produto e uma melhor cobertura das superfícies durante a aplicação das tintas. Geralmente para a produção de tintas é utilizada a malha # 325 que apresenta partículas de 0,045mm de diâmetro, mas essa escolha varia de acordo com o tipo de tinta que se deseja produzir.

### 3.5. USO DO CARBONATO DE CÁLCIO NA ALIMENTAÇÃO ANIMAL

Na alimentação animal, o carbonato de cálcio é um aditivo na composição do bolo alimentar de aves e mamíferos. É adicionado na ração com a finalidade de fornecer cálcio, importante elemento no desenvolvimento na estrutura óssea dos animais, garantindo um crescimento mais rápido da criação e reduzindo o tempo de abate.

A escolha do tipo de calcário que será utilizado para a produção do aditivo é feita baseada nas análises físico-químicas, que determinam o teor de cálcio e magnésio presentes na rocha.

A calcita ( $\text{CaCO}_3$ ) é utilizada nesse caso por apresentar menores teores de magnésio em sua composição, pois grandes quantidades de magnésio pode provocar diarreias nos animais, com perda de peso e até a morte da criação.

O consumo de carbonato de cálcio é sazonal, mesmo assim, há uma taxa média de  $\text{CaCO}_3$  na alimentação de animais. Para o gado de corte, demanda-se de 1,1 a 1,2% em peso de  $\text{CaCO}_3$ , na composição do bolo alimentar e para o frango de corte, essa demanda cresce para 3% de  $\text{CaCO}_3$ , segundo o Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento (MAPA). A granulometria do carbonato de cálcio também varia de acordo com a criação, para aves, são utilizadas as malhas # 12 e # 14 que apresentam partículas de 1,70 e 1,40 mm respectivamente, o que facilita na hora da alimentação.

### 3.6. USO DO CARBONATO DE CÁLCIO NA AGRICULTURA

O calcário moído e seus produtos, cal virgem e hidratada, são aplicados no solo para corrigir a acidez e promover o crescimento das plantas. Recomendam-se a sua aplicação alguns meses antes do plantio. O cálcio, ao reagir com hidrogênio em excesso, diminui a concentração dos íons hidrogênio, elevando o pH do solo (SAMPAIO e ALMEIDA, 2009).

Em relação à época e o modo de aplicação, é importante considerar que por se tratar de um material de baixa solubilidade e de reação lenta, o carbonato deve ser aplicado pelo menos dois ou três meses antes do plantio. Na definição do período entre a aplicação e o plantio deve ser considerada a presença de umidade no solo, de modo que esta seja suficiente para que ocorram as devidas reações entre o solo e o carbonato aplicado, pois sem a presença de água o carbonato não reage. O produto deve ser uniformemente distribuído sobre toda a superfície do solo e incorporado até uma profundidade de vinte centímetros (INCAPER, 2007).

Para a finalidade de correção do pH do solo, usa-se tanto o calcário calcítico quanto o dolomítico para a produção de carbonato, isso por que, qualquer uma dessas rochas apresenta praticamente a mesma eficiência. No entanto, antes de decidir qual tipo de carbonato será aplicado, deve-se primeiro determinar a quantidade de cálcio e magnésio presentes no terreno, pois o tipo de calcário a ser

utilizado depende dos teores de cálcio e magnésio existentes no solo, isso deve ser verificado para evitar que haja a deposição em excesso de um desses minerais.

Quanto à granulometria do carbonato utilizado para fins agrícola, recomenda-se que seja utilizada a malha # 60, que possui partículas com diâmetro de 0,25 mm. Por se tratar de um material que se apresenta na forma de pequenos grãos, possibilitará que ele permaneça por mais tempo no solo propiciando uma velocidade de reação satisfatória, não reagindo de forma rápida de tal maneira que seja necessário uma nova aplicação antes do próximo plantio e nem reagindo de forma tão lenta de modo a impossibilitar a completa correção da acidez do solo.

No que diz respeito à quantidade de carbonato a ser aplicado, deve-se levar em conta os seguintes parâmetros:

- Nível de acidez do solo.
- Tipo de cultura.
- Textura do solo (arenoso ou argiloso).
- Teor de cálcio e magnésio do solo.
- Qualidade e procedência do carbonato.

### 3.7. PRODUÇÃO DE CALCÁRIO NO BRASIL

Segundo o Anuário Mineral Brasileiro de 2006, a produção de calcário não beneficiado se dá em quase todos os estados brasileiros. Os maiores produtores são Minas Gerais, com 22,3% de participação na produção nacional; Distrito Federal, com 20,4%; Sergipe, com 13,4%; e Ceará, com 11,0%, a Paraíba aparece na décima primeira posição com uma produção de 1.403 milhões de toneladas o que corresponde a 3,2% da produção nacional. Juntos esses estados perfazem pouco mais de dois terços da produção brasileira, que em 2005 atingiu cerca de 21.9 milhões de toneladas (MME, 2009).

A produção de calcário beneficiado também se dá em praticamente todos os estados brasileiros. A produção beneficiada está concentrada em três estados: Minas Gerais, com 34,6% de participação na produção nacional; São Paulo com 13,6%; e Paraná com 12,6%. Juntos, esses estados perfazem mais de 60% da produção brasileira, que em 2005 atingiu cerca de 66.3 milhões de toneladas, incluindo a produção de calcita e conchas calcárias (DNPM, 2006).



Na Tabela 3 está descrita a produção brasileira de calcário em milhões de toneladas entre os anos de 2002 e 2007, elaborada através dos dados do Ministério de Minas e Energia (MME) e do Ministério de Ciência e Tecnologia (MCT).

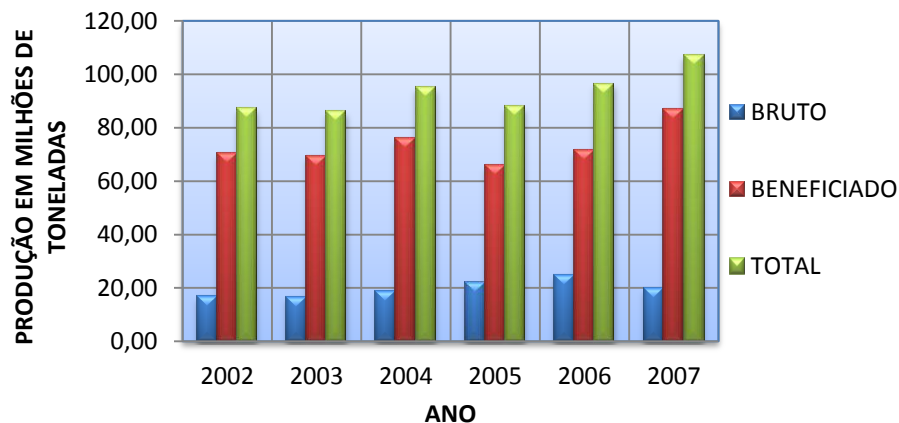
**Tabela 3:** Produção Nacional de Calcário (2002 a 2007).

DESCRIÇÃO	2002	2003	2004	2005	2006	2007
BRUTO	16.938	16.722	18.799	21.933	24.906	19.657
BENEFICIADO	70.373	69.415	76.122	66.312	71.555	87.370
TOTAL	86.137	86.137	94.921	88.245	96.460	107.023

Fonte: SILVA (2009).

Os dados destacados na Tabela 3 estão expressos graficamente na Figura 1, estabelecendo a relação da produção de calcário em milhões de toneladas no período de 2002 a 2007.

**Figura 1:** Produção Nacional de Calcário (2002 a 2007).



Fonte: SILVA (2009).

Considerando o potencial que o Brasil tem para extrair e beneficiar calcário, os dados mostrados na Figura 1 expressam um crescimento ainda pequeno para o setor, o que leva a crer que pouco tem sido feito para melhorar o processo produtivo e tornar o Brasil um dos maiores produtores mundo.

### 3.8. CONTROLE DE QUALIDADE DE CARBONATO DE CÁLCIO

O controle de qualidade na produção de carbonato de cálcio é feito em laboratório, geralmente da própria empresa de beneficiamento, e é realizado de acordo com a norma brasileira (NBR 6473:2003) da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). Essa norma prescreve os métodos para as determinações de umidade, perda ao fogo, sílica mais resíduos insolúveis, óxido de cálcio, óxido de magnésio. É importante salientar que a NBR 6473:2003 foi elaborada para análises de cales, podendo ser aplicada também para calcário, já que as determinações são as mesmas.

No laboratório de controle de qualidade, analisa-se a finura, para verificar o nível de trituração do calcário, a determinação da perda ao fogo, para estabelecer o controle da calcinação, os teores de óxido de cálcio e de magnésio, para se determinar o tipo de calcário e sua posterior aplicação, a umidade e a sílica mais os resíduos insolúveis, para verificar a pureza do minério.

Além disso, é feita a análise granulométrica que classifica o carbonato de cálcio de acordo com suas especificações de tamanho de partículas, análise da superfície específica, que possibilita a identificação da uniformidade com que o calcário está sendo moído, e por fim a cor que é feita para verificar o grau de alvura do carbonato produzido e comparado com os padrões dos clientes da empresa.

### 3.9. PROCESSO PRODUTIVO

A produção de carbonato de cálcio trata-se de um processo relativamente simples que consiste unicamente na redução granulométrica de rochas calcárias que podem ser calcíticas, dolomíticas ou magnesianas, conforme mostrado na Tabela 1, de modo a se obter um material trabalhável que apresente características químicas e físicas com forma e tamanho, que possibilite o seu uso e aplicação nos mais diversos segmentos industriais.

A Tabela 4 está descrita a ficha de segurança de produto químico (FISPQ) para o carbonato de cálcio com as características, as medidas e os cuidados que devem ser tomados ao se manusear o produto.

**Tabela 4:** Ficha de Segurança de Produto Químico para o Carbonato de Cálcio.

<b>NOME DO PRODUTO:</b> Carbonato de cálcio	
<b>ASPECTO:</b> Pó branco	
<b>FOGO:</b> Não inflamável / Não explosivo	
<b>SAUDE:</b> Não prejudicial à saúde	
<b>MEIO AMBIENTE:</b> Não é poluente	
<b>EM CASO DE ACIDENTE</b>	
<b>SE ISTO OCORRER:</b>	<b>FAÇA ISTO:</b>
VAZAMENTO	Use EPI'S: máscara para a boca e nariz, luva, óculos e avental. O pó deve ser recolhido através de aspiração ou varredura (não há necessidade de medidas especiais).
FOGO	Não inflamável. Caso ocorra incêndio na embalagem usar água.
POLUIÇÃO	Não poluente
ENVOLVIMENTO DE PESSOAS	Inalação/ingestão: em grande quantidade procurar, o atendimento médico.
	Contato com os olhos: lavar com bastante água, pois o produto pode causar irritação por abrasão.
	Contato com a pele: lavar com água e sabão.
INFORMAÇÕES AO MÉDICO	Informar o estado da vítima, no caso de ingestão/inalação (em grande quantidade).

Fonte: DOLOMIL (2013).

O carbonato de cálcio é obtido através de quatro processos básicos aplicados ao calcário, também conhecidos como operações unitárias de processamento, são elas: extração, britagem, peneiramento e moagem. Na Figura 2 mostra o fluxograma do processo produtivo do carbonato de cálcio.

**Figura 2:** Fluxograma da Produção do Carbonato de Cálcio.

Fonte: PRÓPRIA (2014).

### 3.9.1 Extração

O calcário é encontrado em paredões rochosos. Nas minas a sua extração é feita com a utilização de dinamites, onde a compra e a detonação desses explosivos é devidamente fiscalizada e acompanhada pelo exército brasileiro, com o intuito de impedir o uso indevido desse material. A Figura 3 está ilustrada uma jazida de extração de calcário, onde é possível visualizar a formação dos paredões rochosos que serão desmontados. O desmonte das rochas é considerado a primeira etapa da extração e o transporte das rochas desmontadas que é feita por caminhões até o local do beneficiamento, trata-se da segunda etapa do processo de extração do calcário.

**Figura 3:** Paredão de Calcário Localizado na Cidade de Botuverá - Sc.



Fonte: CALCÁRIO BOTUVERÁ - Mineração Rio do Ouro Ltda. (2014).

Após o processo de desmanche dos paredões, o calcário é recolhido com o auxílio de escavadeiras e transportado por caminhões e caçambas até o local onde será feita a britagem e peneiramento das rochas.

### 3.9.2 Britagem e peneiramento

A operação unitária definida como britagem é um processo de redução granulométrica das rochas e é auxiliada por outra, denominada peneiramento. Essas etapas têm como atribuição primordial garantir que o calcário assuma tamanho e forma definidas para que possa seguir para a etapa de moagem.

As rochas extraídas das minas possuem pesos e tamanhos diferentes. Para mudar esse cenário, essas rochas são colocadas em britadores que fazem uso de força mecânica sobre a rocha, provocando uma redução do seu tamanho original.

**Figura 4:** Britador de Mandíbulas.



Fonte: MANFREDINI e SCHIANCHI (2014).

Após este processo, ela segue por uma esteira e é despejada sobre uma sequencia de peneiras (Figura 5) que tem a função de classificar as rochas, de acordo com a granulometria adequada para a moagem, além disso, promovem a retirada de outros minerais, como: argila e areia, que se depositaram nas superfícies das rochas durante sua extração e transporte.

**Figura 5:** Peneira Vibratória.



Fonte: BRASTORNO (2013).

Nas Figuras 4 e 5 estão destacados, um britador de mandíbula responsável pela quebra das rochas e uma peneira vibratória que é acoplada a esteira de saída do britador, para promover a separação das frações de finos e grossos e retirar outros materiais.

### 3.9.3 Moagem

Após a passagem pelos britadores e pelas as peneiras, ou seja, segunda etapa do processo de produção do carbonato de cálcio, o calcário segue para a terceira fase do beneficiamento que é a moagem que promove ainda mais a redução das partículas em equipamentos denominados de moinhos, que difere do processo de britagem, por atribuir ao calcário maior uniformidade em relação aos tamanhos das partículas.

Existem vários tipos de moinhos, os mais comuns são: de martelos, de bolas, centrífugos e pendulares.

Quando a finalidade é produzir carbonato de cálcio na forma de grãos faz-se uso dos moinhos de martelos, que garante tamanhos de partículas maiores; nesse caso é necessário o uso de uma peneira vibratória, que vai garantir a uniformidade das partículas.

Para a produção de carbonato de cálcio de granulometria mais fina, pode-se utilizar moinho vertical com pêndulos, onde cada moinho possui em sua estrutura interna três pêndulos, com rolos em suas extremidades que pressiona o calcário contra as paredes do moinho através de movimentos giratórios. A Figura 6 pode-se observar um modelo de moinho vertical de pêndulos usado para a produção das malhas finas, que se inicia a partir da malha # 200 que possui partícula com 0,075 mm de diâmetro.

**Figura 6:** Moinho Vertical com Pêndulos.



Fonte: BRITADORES BRASIL (2014).

## 4. MATERIAIS E MÉTODOS

### 4.1 COLETA E PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS

A coleta das amostras foi realizada em três semanas diferentes durante o mês de novembro de 2013, em uma empresa de beneficiamento de calcário localizada na cidade de Campina Grande - PB, de modo que em cada semana fossem retiradas duas amostras diretamente dos caminhões sendo que uma amostra referente a um carregamento vindo da mina de Boa Vista – PB e a outra referente ao carregamento da mina de Caraúbas – PB.

As amostras das rochas calcárias coletadas foram devidamente limpas com o auxílio de escovas para retirar alguns minerais como areia e argila presentes na superfície do calcário, em seguida foram trituradas com a ajuda de um almofariz e um pistilo até se obter um pó (carbonato de cálcio) suficientemente fino.

Para garantir que o calcário foi devidamente pulverizado realizaram-se ensaios granulométricos com peneiras que classificam o carbonato de cálcio (amostra) como malha # 200 (partículas com 0,075 mm de diâmetro) que é a especificação mínima de tamanho que as partículas das amostras devem ter para uma satisfatória reação nos ensaios para determinação da composição química do calcário.

Todas as análises deste estudo foram realizadas em triplicatas no laboratório de controle de qualidade de uma indústria do município de Campina Grande – PB, pelo motivo da empresa ser capaz de viabilizar e oferecer as condições necessárias para a realização de análises físico-química exigida pela as NBR da ABNT.

### 4.2 ANÁLISE GRANULOMÉTRICA

A granulometria de sólidos em geral é um parâmetro muito utilizado na indústria, partindo-se do pressuposto que o tamanho das partículas influencia diretamente nas características finais dos produtos. Ao se realizar uma análise granulométrica, devem-se seguir todas as etapas do ensaio com muita atenção para evitar possíveis erros analíticos ou operacionais durante a sua execução.

No laboratório de controle de qualidade da empresa as análises granulométricas foram realizadas de duas formas: por via seca e por via úmida, que serão mostradas posteriormente. A definição do método foi feita de acordo com as malhas produzidas, ou seja, baseada na finura que o carbonato apresenta após o processo de moagem ou pulverização. Para facilitar a escolha do método que foi utilizado, dividiram-se as malha (#) em dois grupos:

- **Malhas grossas:** compostas por carbonato de cálcio que compreendem até a malha # 100, partícula de no máximo 0,15 mm de diâmetro. Nesse caso, o ensaio é realizado por via seca, pois o carbonato apresenta-se na forma de pequenos grãos.

- **Malhas finas:** composta por carbonato de cálcio com tamanho de partículas iguais ou menores que as da malha # 200 cerca de 0,075 mm de diâmetro. Nesse caso procede-se o ensaio por via úmida, pelo fato do carbonato se apresentar como um pó muito fino, o que impossibilita a sua passagem pela abertura da peneira.

É importante dizer que todas as análises realizadas neste estudo foram utilizadas pequenas quantidades de amostra, e por esse motivo para a classificação granulométrica da amostra, o método aplicado foi por via seca, mesmo se tratando de uma malha considerada fina. Essa escolha é aceitável para ensaios em laboratórios, por que como já foi dito, não necessita de grandes quantidades de carbonato de cálcio. No entanto, em escala industrial, esse método de peneiramento é totalmente desapropriado e inviável para peneiramento de partículas com diâmetros iguais ou menores que 0,075 mm, pelo fato da abertura da malha da peneira ser pequena e obstruir com muita facilidade.

#### 4.2.1 Análise granulométrica por via seca

A análise granulométrica por via seca é realizada com o uso de uma peneira relativa à especificação da malha que está sendo analisada, ou ainda, por uma sequência de peneiras, onde se verifica a porcentagem de finos e grossos que ficou retido em cada uma delas e no prato que é colocado no final desta sequência para recolher o material que conseguir passar por todas as peneiras, que será considerada a fração de finos presentes na amostra.



A Figura 7 mostra a imagem de uma peneira de malha # 14 acoplada a um prato para recolher a porcentagem de finos que passou pela peneira.

**Figura 7:** Peneira Malha # 14 (n° 16).



Fonte: PRÓPRIA (2014).

Nesse caso, todo material que conseguiu ultrapassar a peneira chegando até o prato é o material de interesse, por possuir especificação de tamanho de partícula que deve ter a malha # 14 (1,18 mm de diâmetro), enquanto que o material que ficou retido na peneira apresenta um diâmetro de partícula maior, porque não conseguiu chegar até o prato, sendo então considerada a fração de grossos presentes no produto. No caso da Figura 7, usou-se apenas uma peneira para a realização do ensaio, no entanto, quando é necessário o uso de uma sequencia de peneiras, estas devem ser colocadas sobre um vibrador mecânico, que facilita a execução do ensaio como mostrado na Figura 8.

**Figura 8:** Sequência de Peneiras.



Fonte: PRÓPRIA (2014).

Para a execução deste ensaio deve-se proceder da seguinte maneira:

- a) Em um recipiente pesar 100 g da amostra.

b) Organiza a sequência de peneiras, de modo que, devem-se colocar as peneiras que possuem as maiores aberturas no início da sequência de cima para baixo. Essa ordem tem que ser obedecida porque a amostra vai ser colocada sobre a primeira peneira, que por sua vez apresenta a maior abertura em relação às demais, o que possibilita a retenção apenas das partículas mais grossas, permitindo que a amostra siga para a próxima peneira e assim sucessivamente.

c) Colocar a sequência de peneira devidamente tampada e encaixada sobre o Grantest.

d) Regular o Grantest para um tempo de ensaio de 10 minutos na menor intensidade de vibração, para garantir que a passagem dos sólidos para a próxima peneira não foi forçada.

e) Após o término do tempo, retirar as peneira e pesar o resíduo retido em cada uma delas e no prato.

Calcular a porcentagem de resíduo em cada peneira e no prato.

#### 4.2.2 Análise granulométrica por via úmida

Diferentemente da análise granulométrica por via seca, a por via úmida foi realizada apenas com o uso de duas peneiras: a de malha # 30 que possui abertura de 0,600 mm, que será sempre utilizada acoplada a uma segunda peneira referente a especificação da malha que se deseja analisar. Outra característica que diferencia este ensaio do anterior é que ele é feito de acordo com a NBR 9289:2000 da ABNT. Esta norma descreve o método a ser realizado para o ensaio de finura de cal hidratada para argamassas, através do resíduo em peneiras, no entanto essa mesma Norma pode ser aplicada para qualquer outro tipo de sólido pulverizado ou moído. A Figura 9 estão destacados os equipamentos que são utilizados para que possa ser executada a análise granulométrica por via úmida.

**Figura 9:** Equipamento para Análise Granulométrica por Via úmida de Sólidos Finos.



Fonte: PRÓPRIA (2014).

Neste ensaio, colocou-se uma massa conhecida de carbonato dentro da peneira malha # 30 e em seguida outra peneira em baixo da primeira, sendo esta última relativa à malha (#) em análise, e então a amostra foi submetida a um processo de lavagem.

Para a execução desse ensaio foi necessário seguir os seguintes procedimentos descritos pela NBR 9289:2000.

a) Colocar a peneira 0,600 mm (nº30) sobre a peneira 0,075 mm (nº200) se for caso de uma malha # 200 que se deseja analisar, em um suporte metálico, de tal modo que a tela da peneira superior fique a 25 cm do bocal pulverizador. Pesar 50 g da amostra e transferir para a peneira 0,600 mm.

b) Umedecer o material com pequena quantidade de água, de modo a evitar respingos ou projeções de amostra para fora da peneira.

c) Lavar o material usando jato de água com pressão de 50 kPa (0,5 kgf/cm<sup>2</sup>), girando a peneira de forma que a água alcance toda a superfície, durante 5 minutos.

d) Transferir o material retido em cada peneira com a ajuda de uma pisseta para as capsulas, deixar decantar no mínimo 10 minutos e retirar a água em excesso.

e) Secar em estufa os resíduos de ambas as peneiras ( $R_{30}$  e  $R_{200}$ ) até a atingirem uma massa constante a uma temperatura entre 100°C e 120°C. Entende-se por massa constante uma diferença de massa inferior a 0,01 g entre duas determinações.

f) O ensaio deve ser feito no mínimo em duplicata.

g) A cada 10 ensaios deve-se imergir a tela da peneira em uma solução de ácido muriático 1:10 (ácido e água), durante 5 minutos, passando lentamente sobre a tela um pincel de cerdas macias de náilon ou naturais.

h) É vedada a utilização de escovas de aço para a limpeza da peneira 0,075 mm (nº200), prevista no primeiro ponto.

A finura da amostra deve ser calculada com a porcentagem média do resíduo seco retida em cada peneira, em relação à massa original de duas amostras do mesmo lote, segundo as expressões:

$$\frac{R_{30}}{M} \times 100 \quad (1)$$

$$\frac{R_{200}}{M} \times 100 \quad (2)$$

Em que:

$F_{30}$  é a finura da peneira 0,600 mm (nº 30) em porcentagem.

$F_{200}$  é a finura da peneira 0,075 mm (nº 200) em porcentagem (no caso do uso dessa peneira).

$R_{30}$  é o resíduo seco na peneira 0,600 mm (nº 30), em gramas.

$R_{200}$  é o resíduo seco na peneira 0,075 mm (nº 200), em gramas (no caso do uso dessa peneira).

$M$  é a massa da amostra inicial, em gramas.

#### 4.3 ANÁLISE FÍSICO-QUÍMICA

As análises físico-químicas são realizadas no calcário “in natura” ou depois de moído, onde já se apresenta na forma de carbonato de cálcio beneficiado. Essas análises são feitas para garantir a qualidade do produto quando o mesmo já se apresenta devidamente produzido, e para determinar a aplicação que será dada ao calcário ainda na forma de rocha. No que diz respeito à classificação do calcário, são necessários apenas à execução dos ensaios para determinação dos teores de óxidos totais de cálcio e magnésio, no entanto para este trabalho foram realizadas todas as análises destacadas a seguir.

- **Umidade:** Esse ensaio é feito de forma tradicional, que consiste na diferença de massa de uma amostra após a sua secagem em estufa durante um

determinado intervalo de tempo, onde essa massa é comparada com a massa inicial da amostra antes do processo de secagem.

- **Perda ao fogo (PF):** Conhecida também como perda por calcinação ou perda por cozimento (PPC). Consiste na calcinação de uma determinada massa de amostra em uma mufla a um intervalo de temperatura de 900°C a 1000°C durante quarenta minutos, onde a contagem do tempo é iniciada quando se atinge a temperatura de calcinação.

- **pH:** O valor do potencial hidrogeniônico é obtido através de medição em um pHmetro, contendo uma solução de cloreto de potássio 3M.

- **Determinação de sílica mais resíduo insolúvel (SiO<sub>2</sub> + R.I):** É feito em conjunto com a análise para a determinação de óxido de cálcio e magnésio totais e visa a quantificação das impurezas presentes no calcário.

- **Óxido de cálcio total (CaO):** Essa análise é considerada uma das mais importantes, porque como já dito anteriormente é ela que determina a aplicação que será dada ao calcário através da sua classificação.

- **Óxido de magnésio total (MgO):** Juntamente com a determinação do óxido de cálcio essa análise classifica o carbonato quanto ao seu tipo, para posterior aplicação.

#### 4.3.1 Análise da umidade

O calcário pertence ao grupo das rochas sedimentares que possuem pouca capacidade de reter água. O calcário da região do cariri paraibano em especial apresenta pequenos teores de umidade, pois essa é uma das regiões mais secas do estado. A medida do teor de umidade é realizada através da diferença de peso obtida pela subtração da massa medida após o processo de secagem em estufa em relação à massa inicial e é expresso em porcentagem. Para a execução do ensaio da determinação da umidade deve-se seguir o procedimento recomendado pela NBR 6473:2003 da ABNT, que recomenda:

- a) Tomar aproximadamente 5 g de amostra ( $m_1$ ), em uma cápsula de porcelana com capacidade de 80 cm<sup>3</sup> a 100 cm<sup>3</sup>, previamente tarada a  $(110 \pm 5)^\circ\text{C}$ , por aproximadamente 15 minutos ( $m_2$ ).

- b) Manter em estufa em temperatura de  $(110 \pm 5)^\circ\text{C}$ , durante uma hora.

c) Retirar e colocar em dessecador. Resfriar por aproximadamente 30 minutos e determinar a massa ( $m_3$ ).

d) Resultado (caso negativo considerar zero). A umidade é calculada com aproximação de 0,01% pela a equação (3):

$$\text{-----} \quad (3)$$

Em que:

UMIDADE é a quantidade de água na amostra, em porcentagem.

$m_2$  é a massa da cápsula, em gramas.

$m_3$  é a massa da cápsula mais a amostra após secagem, em gramas.

$m_1$  é a massa da amostra, em gramas.

#### 4.3.2 Análise da perda ao fogo

A determinação da perda ao fogo (PF), também conhecido como perda por cozimento (PPC), é utilizada para calcular a quantidade de gás carbônico ( $\text{CO}_2$ ), que é liberada quando o calcário “in natura” ou já moído (carbonato de cálcio) é submetido ao processo de calcinação. A perda ao fogo é realizada de acordo com a NBR 6473:2003 da ABNT, e segue o procedimento listado abaixo:

a) Tomar aproximadamente 1 g ( $m_4$ ) da amostra, em um cadinho de porcelana ou similar previamente tarado a  $(1000 \pm 50)^\circ\text{C}$ , durante 15 minutos ( $m_5$ ).

b) Calcinar a amostra a  $(1000 \pm 50)^\circ\text{C}$ , durante um tempo de 45 a 60 minutos.

c) Esfriar o cadinho com a amostra em dessecador e determinar a massa ( $m_6$ ).

d) Resultado: a perda ao fogo (PF) é calculada com aproximação de 0,1% pela a equação:

$$\text{-----} \quad (4)$$

Em que:

PF é a perda ao fogo, em porcentagem.

$m_5$  é a massa do cadinho com a amostra antes da calcinação, em gramas.

$m_6$  é a massa do cadinho com a amostra após a calcinação, em gramas.

$m_4$  é a massa inicial da amostra, em gramas.

#### 4.3.3 Análise do pH

A medida do potencial hidrogeniônico do carbonato de cálcio é feita por meio do uso do pHmetro modelo MB-10 marTE mostrado na Figura 10, com o uso de uma solução de cloreto de potássio (KCl) 3M, usada para calibrar o equipamento. O procedimento de medição do pH é simples, basta introduzir o eletrodo na solução preparada com o carbonato de cálcio que se deseja verificar o pH, e o resultado é mostrado pelo equipamento.

**Figura 10:** pHmetro.



Fonte: MARTE CIENTÍFICA (2013).

#### 4.3.4 Determinação de sílica mais resíduo insolúvel ( $\text{SiO}_2 + \text{R.I.}$ )

Essa análise é realizada para determinar a quantidade de impurezas presentes na amostra de carbonato de cálcio ou no calcário ainda na forma de rocha.

Esse ensaio é feito de acordo com a NBR 6473:2003 da ABNT, que descreve o procedimento a ser adotado para a execução do ensaio.

- a) Pesar 0,7 g de amostra ( $m_7$ ). Transferir para um béquer de 250  $\text{cm}^3$  e umedecer.
- b) Adicionar, aos poucos, aproximadamente 10  $\text{cm}^3$  de ácido perclórico e revolver a amostra com um bastão de vidro para desfazer os grumos.
- c) Cobrir o béquer com um vidro relógio e levar o conjunto a uma chapa elétrica ou similar. Após o desprendimento de fumos brancos, deixar por aproximadamente mais 10 minutos.
- d) Retirar o conjunto da chapa elétrica ou similar e deixar em repouso até atingir a temperatura ambiente.

- e) Lavar o vidro de relógio, utilizando aproximadamente 50 cm<sup>3</sup> de água quente e adicionar aproximadamente 10 cm<sup>3</sup> de ácido clorídrico 1:1.
- f) Aquecer o conjunto na chapa elétrica ou similar até ebulição, agitando a solução com o auxílio do bastão de vidro. Deixar ferver por mais 2 minutos.
- g) Retirar o béquer e filtrar a solução a quente em papel de filtração média, recolhendo o filtrado em um balão volumétrico de 250 cm<sup>3</sup> que já contenha aproximadamente 10 gotas de ácido nítrico.
- h) Lavar o béquer com o auxílio de um bastão de vidro com ponteira de borracha ou papel de filtro com água quente até remoção de toda a sílica e eliminação de cloretos.
- i) Deixar esfriar o filtrado até a temperatura ambiente, completar o volume do balão com água até a marca de 250 cm<sup>3</sup> e homogeneizar. Reservar o filtrado para as determinações posteriores (CaO e MgO).
- j) Retirar o papel de filtro contendo o precipitado (sílica mais resíduo insolúvel), dobrar cuidadosamente e transferir para um cadinho de porcelana ou platina previamente calcinado e tarado ( $m_8$ ).
- k) Para cadinho de porcelana recomenda-se secar previamente em estufa a 110 °C por aproximadamente 30 minutos. Levar o conjunto ao bico de gás até carbonizar o papel sem inflamar e, em seguida, calcinar na mufla a  $(1000 \pm 50)^\circ\text{C}$ , durante 45 a 60 minutos.
- l) Deixar esfriar o cadinho em dessecador e determinar a massa ( $m_9$ ).
- m) Resultado: o teor de sílica mais resíduo insolúvel ( $\text{SiO}_2 + \text{R.I.}$ ) é calculado com aproximação de 0,01% pela equação:

---

(5)

Em que:

$\text{SiO}_2 + \text{R.I.}$  é o óxido de silício + resíduo insolúvel, em porcentagem.

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

$m_8$  é a massa do cadinho, em gramas.

$m_7$  é a massa inicial da amostra, em gramas.



#### 4.3.5 Determinação de óxido de cálcio total (CaO)

Na determinação do teor de óxido de cálcio total, verifica-se a porcentagem desse composto no calcário, para se obter a garantia quanto a sua origem, tipo ou classificação, para que seja dada a ele a devida finalidade.

A normativa brasileira NBR 6473:2003 da ABNT descreve e recomenda a execução do ensaio para a determinação de óxido de cálcio total, de acordo com os procedimentos listados abaixo:

- a) Pipetar 10 cm<sup>3</sup> do filtrado obtido na determinação da sílica e transferir para um béquer de 250 cm<sup>3</sup>.
- b) Adicionar aproximadamente 100 cm<sup>3</sup> de água e, sob agitação constante, adicionar 10 cm<sup>3</sup> de solução de trietanolamina a 30%, para eliminar ação do ferro e do alumínio sobre o cálcio.
- c) Elevar o pH da solução para a faixa de 12,5 a 12,9 com auxílio de pHmetro, adicionando a solução de hidróxido de potássio a 20%, gota a gota.
- d) Adicionar o indicador murexida e titular com solução de EDTA 0,025 M. A virada, para a coloração deve permanecer estável por aproximadamente 30 segundos, anotar o volume gasto (V<sub>3</sub>), em centímetros cúbicos.
- e) Resultado: o teor de cálcio total (CaO), é calculado com aproximação de 0,1% pela equação:

---

(6)

Em que:

CaO<sub>t</sub> é o óxido de cálcio total, em porcentagem.

25 é a razão entre o volume do balão volumétrico (250 cm<sup>3</sup>) e o volume da alíquota tomada para o ensaio (10 cm<sup>3</sup>).

1,4019349 é o equivalente de CaO<sub>t</sub> por centímetro cúbico de solução de EDTA-Na (0,025M), em miligrama.

1000 é o valor para a transformação de miligrama para grama de acordo com a massa da amostra.

$V_3$  é o volume gasto de EDTA na titulação, em centímetros cúbicos.

F é o fator da solução de EDTA.

$m_7$  é a massa inicial da amostra na determinação da sílica mais resíduo insolúvel, em gramas.

#### 4.3.6 Determinação de óxido de magnésio total (MgO)

Os resultados dessa análise são associados aos da determinação de óxido total de cálcio com a finalidade de se determinar o tipo de calcário com que se está trabalhando. Portanto, deve-se seguir a mesma normativa NBR 6473:2003 da ABNT para a execução do ensaio, que recomenda a adoção do seguinte procedimento:

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

Em que:

MgO é o óxido de magnésio, em porcentagem.

25 é a razão entre o volume do balão volumétrico ( $250 \text{ cm}^3$ ) e o volume da alíquota tomada para o ensaio ( $10 \text{ cm}^3$ ).

100 é o valor para a transformação em percentual.

1,0076099 é o equivalente de MgO por centímetro cúbico de solução de EDTA-Na (0,025M), em miligrama.

1000 é o valor para a transformação de miligrama para grama de acordo com a massa da amostra.

$V_5$  é o valor resultante de  $V_4 - V_3$ .

F é o fator da solução de EDTA.

$V_3$  é o volume gasto de EDTA na titulação, em centímetros cúbicos.

$m_7$  é a massa inicial da amostra na determinação da sílica mais resíduo insolúvel, em gramas.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 5.1 ANÁLISES GRANULOMÉTRICAS DAS AMOSTRAS

A peneira de malha # 200 foi utilizada para classificar granulometricamente as amostras e garantir que elas não possuam partículas com diâmetros maiores que 0,075 mm, que por sua vez não reagem ou reagem lentamente com reagentes utilizados nas determinações dos óxidos.

Na Tabela 5 estão descritas as porcentagens de resíduos retidos em cada peneira após a execução do ensaio por via úmida nas amostras recolhidas das minas de Boa Vista e Caraúbas.

**Tabela 5:** Resultado da Análise Granulométrica das Amostras.

RETENÇÃO (%)						
MINA	BOA VISTA			CARAÚBAS		
PENEIRAS	TESTE 01	TESTE 02	TESTE 03	TESTE 01	TESTE 02	TESTE 03
0,600 mm (n° 30)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
0,075 mm (n°200)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Fonte: PRÓPRIA (2014).

De acordo com os resultados apresentados na Tabela 5, às amostras submetidas aos ensaios granulométricos não apresentam partículas maiores que 0,075 mm, sendo assim podem ser utilizadas para as determinações de sílica mais resíduos insolúveis, óxidos de cálcio total e óxido de magnésio total. Esse resultado torna desnecessário que seja realizado por via seca, pois como já dito anteriormente ele é realizado de acordo com as normas na ABNT, o que garante maior confiabilidade a análise.

## 5.2 CLASSIFICAÇÃO DO CALCÁRIO DA MINA DE BOA VISTA - PB

Boa Vista é um Município localizado no Cariri oriental paraibano que faz parte da Região Metropolitana de Campina Grande - PB. Sua população é de 5.673 habitantes, segundo dados do censo realizado pelo IBGE em 2007. Possui em seu território grande reservas de bentonita e calcário o que já tem atraído olhares de grandes empresas de mineração e de produção de cimento.

A empresa onde ocorreu a pesquisa possui uma mina de extração de calcário localizado na cidade de Boa Vista. As rochas vindas dessa mina, assim como as das demais, passam por uma série de análises para que sejam classificadas de acordo com os teores de óxido de cálcio e de magnésio. Na Tabela 6 estão descritos os teores totais de óxido de cálcio e de magnésio presentes em amostras de rochas de calcário provenientes da mina de Boa Vista, analisadas em triplicata.

**Tabela 6:** Determinação dos Teores Totais de Óxido de Cálcio e de Magnésio Presente no Calcário da Mina de Boa Vista - PB.

CALCÁRIO DA MINA DE BOA VISTA – PB						
ANÁLISE	% DE ÓXIDO DE CÁLCIO			% DE ÓXIDO DE MAGNÉSIO		
AMOSTRA	TESTE 01	TESTE 02	TESTE 03	TESTE 01	TESTE 02	TESTE 03
BV-01	52,76	52,69	52,73	0,97	1,01	1,05
BV-02	51,96	52,08	52,03	1,55	1,42	1,62
BV-03	52,01	51,98	52,98	1,36	1,36	1,34
MÉDIA	52,24	52,25	52,58	1,29	1,26	1,33

Fonte: PRÓPRIA (2014).

Em que:

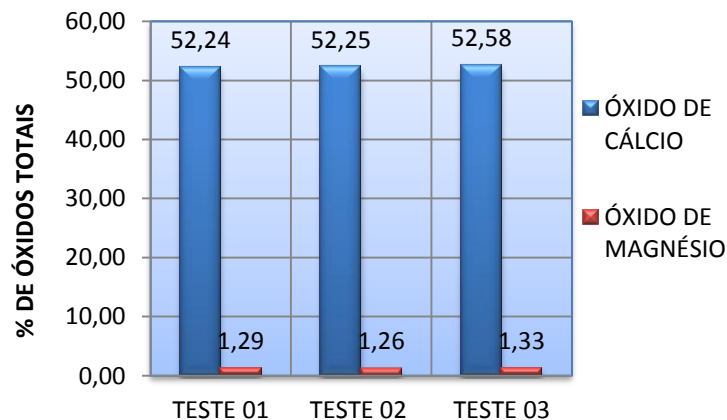
BV-01 amostra de calcário da mina de Boa Vista coletada na primeira semana de novembro de 2013.

BV-02 amostra de calcário da mina de Boa Vista coletada na segunda semana de novembro de 2013.

BV-03 amostra de calcário da mina de Boa Vista coletada na terceira semana de novembro de 2013.

Tomando como referência a Tabela 1, pode-se verificar que os resultados apresentados na Tabela 6 indicam que o calcário extraído da mina localizada na cidade de Boa Vista - PB deve ser classificado como calcítico, por apresentar teor de óxido de cálcio total em torno de 52%, e teor de óxido de magnésio total em torno de 1,3% de acordo com as análises realizadas. Na Figura 11 estão mostrados os teores de óxido de cálcio e de magnésio totais, elaborados a partir dos valores médios apresentados na Tabela 6.

**Figura 11:** Gráfico de Determinação dos Teores Totais de Óxido de Cálcio e de Magnésio Presente no Calcário da Mina de Boa Vista - PB.



Fonte: PRÓPRIA (2014).

Na figura acima, fica ainda mais evidente a desproporcionalidade entre as porcentagens dos dois principais óxidos presentes na composição das amostras analisadas, comprovando mais uma vez que o calcário existente na região da cidade de Boa Vista é do tipo calcítico.

Na Tabela 7 observamos os resultados da determinação da sílica mais os resíduos insolúveis, da umidade e do pH das amostras analisadas, visando uma máxima aproximação na determinação de toda a composição química das amostras.

**Tabela 7:** Determinação da Sílica mais Resíduos Insolúveis, Umidade e pH das Amostras da Mina de Boa Vista - PB.

<b>CALCÁRIO DA MINA DE BOA VISTA – PB</b>									
ANÁLISE	% DE SiO <sub>2</sub> + R.I			% DE UMIDADE			pH		
AMOSTRA	TESTE 01	TESTE 02	TESTE 03	TESTE 01	TESTE 02	TESTE 03	TESTE 01	TESTE 02	TESTE 03
BV-01	2,16	2,16	2,17	0,31	0,28	0,30	9,91	9,91	9,91
BV-02	2,41	2,40	2,42	0,33	0,30	0,30	9,89	9,89	9,89
BV-03	1,76	1,78	1,78	0,33	0,28	0,29	9,88	9,88	9,88
MÉDIA	2,11	2,11	2,12	0,32	0,28	0,29	9,89	9,89	9,89

Fonte: PRÓPRIA (2014).

Em que:

BV-01 amostra de calcário da mina de Boa Vista coletada na primeira semana de novembro de 2013.

BV-02 amostra de calcário da mina de Boa Vista coletada na segunda semana de novembro de 2013.

BV-03 amostra de calcário da mina de Boa Vista coletada na terceira semana de novembro de 2013.

As análises cujos resultados compõem a Tabela 7 foram todas realizadas em triplicata para cada amostra, e então foi possível calcular a média para cada teste levando-se em conta amostras coletadas da mesma mina em semanas diferentes. Com os resultados obtidos é possível perceber que o calcário da mina de Boa Vista apresenta quantidades de dióxido de silício e de resíduos insolúveis consideráveis, cerca de 2,11%. Isso indica que o calcário dessa mina não apresenta um alto grau de pureza.

A perda ao fogo embora não tenha forte influência no que diz respeito à classificação do calcário, é um importante parâmetro a ser observado, pois, como ilustrado na Tabela 8, o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) é o segundo composto que se apresenta de forma mais efetiva na composição das rochas calcárias.

**Tabela 8:** Determinação da Perda ao Fogo, para as Amostras da Mina de Boa Vista - PB.

<b>PERDA AO FOGO</b>			
<b>ANÁLISE</b>	<b>% DE DIÓXIDO DE CARBONO (CO<sub>2</sub>)</b>		
<b>AMOSTRA</b>	<b>TESTE 01</b>	<b>TESTE 02</b>	<b>TESTE 03</b>
BV-01	41,57	41,55	41,62
BV-02	41,31	41,35	41,39
BV-03	41,61	41,68	41,64
MÉDIA	41,49	41,52	41,55
<b>MÉDIA GLOBAL</b>		<b>41,52</b>	

Fonte: PRÓPRIA (2014).

Em que:

BV-01 amostra de calcário da mina de Boa Vista coletada na primeira semana de Novembro de 2013.

BV-02 amostra de calcário da mina de Boa Vista coletada na segunda semana de Novembro de 2013.

BV-03 amostra de calcário da mina de Boa Vista coletada na terceira semana de Novembro de 2013.

Esse resultado mostra que o calcário da mina de Boa Vista apresenta uma perda ao fogo considerada normal para esse tipo de rocha, o que a torna viável para ser utilizada por indústrias que utilizam processos de decomposição térmica do calcário.

### 5.3 CLASSIFICAÇÃO DO CALCÁRIO DA MINA DE CARAÚBAS - PB

Caraúbas, Município do Estado da Paraíba, localizado na microrregião do Cariri Oriental, possui uma população de 3.899 habitantes em uma área territorial de 446 km<sup>2</sup> (IBGE, 2010). Apesar de ainda pouco explorado, possui consideráveis reservas de rochas calcárias, que pode ser utilizada tanto para a produção de carbonato de cálcio quanto no setor de desdobramento de rochas ornamentais.

A empresa onde ocorreu a pesquisa possui uma mina de exploração de calcário em Caraúbas, localizada na divisa com o Município de São Domingos do Cariri.



Na Tabela 9 estão descritos os valores dos teores de óxido de cálcio e magnésio presentes em amostra de rochas de calcário provenientes da mina de Caraúbas e analisadas unicamente para a realização deste trabalho.

**Tabela 9:** Determinação dos Teores Totais de Óxido de Cálcio e de Magnésio Presente no Calcário da Mina de Caraúbas - PB.

<b>CALCÁRIO DA MINA DE CARAÚBAS - PB</b>						
ANÁLISE	% DE ÓXIDO DE CÁLCIO			% DE ÓXIDO DE MAGNÉSIO		
AMOSTRA	TESTE 01	TESTE 02	TESTE 03	TESTE 01	TESTE 02	TESTE 03
CB-01	33,17	33,15	33,16	19,29	19,27	19,27
CB-02	32,60	32,62	32,64	19,24	19,24	19,24
CB-03	30,92	30,95	30,95	20,89	20,92	20,92
MÉDIA	32,23	32,24	32,25	19,80	19,81	19,81

Fonte: PRÓPRIA (2014).

Em que:

CB-01 amostra de calcário da mina de Caraúbas coletada na primeira semana de Novembro de 2013.

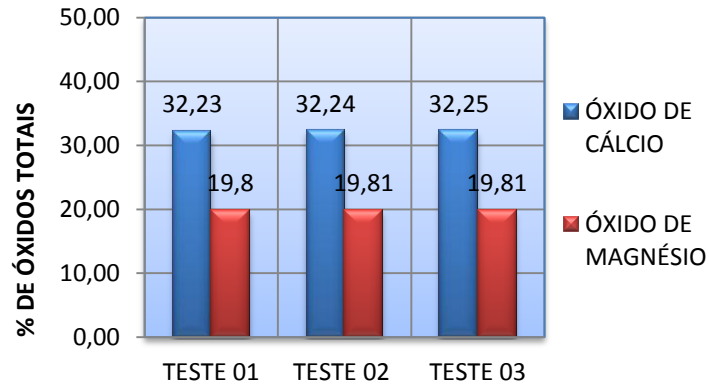
CB-02 amostra de calcário da mina de Caraúbas coletada na segunda semana de Novembro de 2013.

CB-03 amostra de calcário da mina de Caraúbas coletada na terceira semana de Novembro de 2013.

Os resultados das análises realizadas nas amostras de calcário apresentados na Tabela 9 indicam que as rochas calcárias extraídas da mina da cidade de Caraúbas, devem ser classificadas como dolomita, por apresentarem teores de óxido de cálcio total em torno de 32,2% e teores de óxido de magnésio total em torno de 19,8%, de acordo com a Tabela 1.

A Figura 12 ilustra graficamente os teores de óxido de cálcio total e óxido de magnésio total, elaborado a partir dos valores médios apresentados na Tabela 9, na qual fica ainda mais evidente a presença de uma maior quantidade de magnésio na composição da amostra de calcário coletada da mina de Caraúbas, se comparada com as amostra de Boa vista.

**Figura 12:** Gráfico da Determinação dos Teores Totais de Óxido de Cálcio e Magnésio Presente no Calcário da Cidade de Caraúbas - PB.



Fonte: PRÓPRIA (2014).

Em relação à determinação da sílica mais resíduos insolúveis, da umidade e do pH, as amostras da mina de Caraúbas não apresentaram grandes diferenças nos resultados em relação aos obtidos nas amostras da mina de Boa Vista, o que é mais uma evidência de que as rochas calcárias são classificadas apenas em função dos teores totais de óxido de cálcio e de magnésio. Os resultados obtidos podem ser verificados na Tabela 10.

**Tabela 10:** Determinação da Sílica mais Resíduos Insolúveis, Umidade e pH das Amostras da Mina de Caraúbas - PB.

CALCÁRIO DA MINA DE CARAÚBAS – PB									
ANÁLISE	% DE SiO <sub>2</sub> + R.I			% DE UMIDADE			pH		
AMOSTRA	TESTE 01	TESTE 02	TESTE 03	TESTE 01	TESTE 02	TESTE 03	TESTE 01	TESTE 02	TESTE 03
CB-01	0,68	0,69	0,69	0,30	0,29	0,29	9,90	9,90	9,90
CB-02	0,71	0,72	0,71	0,35	0,34	0,35	9,87	9,87	9,87
CB-03	0,69	0,69	0,70	0,32	0,31	0,31	9,85	9,85	9,85
MÉDIA	0,69	0,70	0,70	0,32	0,31	0,31	9,87	9,87	9,87

Fonte: PRÓPRIA (2014).

Em que:

CB-01 amostra de calcário da mina de Caraúbas coletada na primeira semana de Novembro de 2013.

CB-02 amostra de calcário da mina de Caraúbas coletada na segunda semana de Novembro de 2013.

CB-03 amostra de calcário da mina de Caraúbas coletada na terceira semana de Novembro de 2013.

Os resultados dos testes descritos na Tabela 10 fazem parte das análises da composição química das amostras de calcário da mina de Caraúbas. Essas análises foram realizadas em triplicata para cada amostra, e então pode-se calcular a média para cada teste, levando-se em consideração amostras coletadas da mesma mina em diferentes semanas do mês de Novembro.

Na Tabela 11 podemos observar os resultados encontrados na análise da perda ao fogo que as amostras da mina de Caraúbas apresentaram após serem submetidas ao ensaio. Os resultados obtidos são importantes, pois expressam a quantidade de gás carbônico (CO<sub>2</sub>) perdido pelo calcário quando submetido a uma decomposição térmica. A partir desses valores é possível saber a quantidade de calcário que é necessário para se produzir determinada massa de óxido de cálcio.

**Tabela 11:** Determinação da Perda ao Fogo, para as Amostras da Mina de Caraúbas - PB.

<b>PERDA AO FOGO</b>			
<b>ANÁLISE</b>	<b>% DE DIÓXIDO DE CARBONO (CO<sub>2</sub>)</b>		
<b>AMOSTRA</b>	<b>TESTE 01</b>	<b>TESTE 02</b>	<b>TESTE 03</b>
CB-01	43,68	43,53	43,65
CB-02	42,87	42,98	42,95
CB-03	45,26	45,37	45,25
MÉDIA	43,93	43,96	43,95
<b>MÉDIA GLOBAL</b>		<b>43,94</b>	

Fonte: PRÓPRIA (2014).

Em que:

CB-01 amostra de calcário da mina de Caraúbas coletada na primeira semana de Novembro de 2013.

CB-02 amostra de calcário da mina de Caraúbas coletada na segunda semana de Novembro de 2013.

CB-03 amostra de calcário da mina de Caraúbas coletada na terceira semana de Novembro de 2013.

O calcário da mina de Caraúbas apresentou valores maiores de perda ao fogo em relação ao da mina de Boa Vista. Esse resultado demonstra que ele possui maior quantidade de gás carbônico ( $\text{CO}_2$ ) e conseqüentemente menor teor de outros compostos como: dióxido de Silício ( $\text{SiO}_2$ ) e resíduos insolúveis (R.I), características que o tornam quimicamente mais puro. Do ponto de vista industrial, pode-se dizer que para processos que envolvam a decomposição térmica de rochas calcárias, é aconselhável o uso da calcíta que apresenta menor perda ao fogo, o que proporciona maior rendimento na produção.

#### 5.4 COMPARAÇÕES DOS RESULTADOS DAS ANÁLISES

Na mina de Caraúbas predomina a dolomita de acordo com as análises apresentadas neste estudo. A dolomita é um dos tipos de calcário mais comum de ser encontrado assim como a calcíta existente em Boa Vista, que é amplamente mais comercializada e extraída no território brasileiro, e por isso dependendo da região, pode apresentar um valor econômico maior.

Os calcários dolomíticos são aplicados em vários segmentos industriais onde também se usa o calcário calcítico, eles podem ser usados na fabricação de tintas, cales, corretivo de solos. No entanto, devido as grandes quantidades de magnésio presentes na dolomita, não é recomendado seu uso como aditivo na alimentação animal. Na Tabela 12 observamos todos os resultados médios de todas as análises realizadas nas amostras tanto da mina de Boa Vista quanto da mina de Caraúbas.

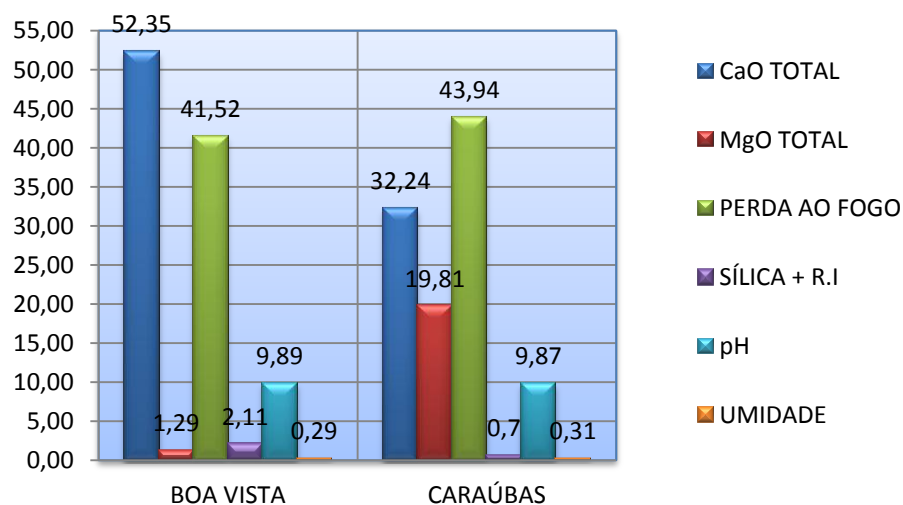
**Tabela 12:** Resultado Comparativo das Análises entre as Minas de Boa vista e Caraúbas.

ANÁLISE	MINA	
	BOA VISTA	CARAÚBAS
% de óxido de cálcio total (CaO)	52,35	32,24
% de óxido de magnésio total (MgO)	1,29	19,81
% de perda ao fogo (PF)	41,52	43,94
% de sílica + resíduo insolúvel (SiO <sub>2</sub> +R.I.)	2,11	0,70
pH	9,89	9,87
% de umidade	0,29	0,31
% total da composição analisada	97,56	97,0

Fonte: PRÓPRIA (2014).

Na Tabela 12 é possível perceber notórias diferenças na composição do calcário da mina de Boa Vista em relação ao da mina de Caraúbas, principalmente entre os teores totais de óxido de cálcio e de magnésio, os quais são utilizados como parâmetros para classificação do calcário. É possível também observar que se determinou 97% da composição total do calcário, os 3% restantes são atribuídos à existência de outros compostos como: óxidos de Alumínio (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), óxido férrico (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), óxido de manganês (Mn<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), anidrido sulfúrico (SO<sub>3</sub>). A Figura 13 ilustra a comparação gráfica dos valores apresentados pela Tabela 12.

**Figura 13:** Resultado Gráfico Comparativo das Análises entre as Minas de Boa Vista e Caraúbas.



Fonte: PRÓPRIA (2014).

## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com bases nos resultados obtidos para a classificação do calcário, pode-se afirmar que as duas minas exploradas pela empresa que disponibilizou as amostras possuem tipos de calcários diferentes, sendo a mina de Boa Vista detentora de rochas calcárias do tipo calcíta e a de Caraúbas do tipo dolomita o que confere ao beneficiador do minério maiores possibilidades de “mix” de produtos.

O calcário da mina de Boa Vista apresenta na sua composição relevantes quantidades de sílica e resíduos insolúveis, isso indica que as rochas dessa jazida não possuem alto grau de pureza. No entanto, o calcário dessa mina demonstrou ser mais rentável quando submetido a processos de decomposição térmica, pois, as quantidades de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) presentes nessa rocha são menores.

Foi possível observar também que o calcário extraído da mina de Caraúbas apresentou maior quantidade de ( $\text{CO}_2$ ), o que sugere que para processos que envolvem decomposição térmica como a produção da cal virgem ou da cal hidratada seja utilizada o calcário calcítico vindo da mina de Boa Vista que apresenta menor perda ao fogo. Em contrapartida, o calcário de Caraúbas pode ser considerado mais puro, pois na sua composição foram encontradas quantidades muito pequenas de sílica e resíduos insolúveis, o que já era de se esperar, tendo em vista que as amostras dessa mina tiveram uma maior perda ao fogo, ou seja, maior quantidade de  $\text{CO}_2$  conseqüentemente menores quantidades de outros compostos.

Por fim, este trabalho além de cumprir seu objetivo principal, que é a classificação das rochas calcárias existentes na região do cariri oriental paraibano. Chama a atenção também ao fato de demonstrar que uma mesma microrregião considerada relativamente pequena com uma área de  $8.214 \text{ Km}^2$ , apresentar diferentes tipos de calcário em quantidades consideráveis, que podem inclusive, serem exploradas comercialmente de forma mais efetiva. Essa conclusão reforça não apenas a necessidade de estudos no que diz respeito à classificação de rochas calcárias, mas também no que se refere ao controle de qualidade no beneficiamento de calcário para a produção de carbonato de cálcio ou de qualquer outro produto que utilize esse minério como matéria prima.

## 7. REFERÊNCIAS

BACCAN, Nivaldo. **Química analítica quantitativa elementar**/ Nivaldo Baccan, João Carlos de Andrade, Oswaldo E. S. Godinho e José Salvador Barone. 3ª edição- São Paulo: Edgard Blucher - Instituto Mauá de tecnologia, 2001.

SAMPAIO, J. A. e ALMEIDA, S. L. M. **Calcário e dolomito**. Disponível em: < <http://www.cetem.gov.br/publicacao/CTs/CT2005-132-00.pdf>> Acesso em: 29/12/2013.

RODRIGUES, Antônio Fernando da Silva e FONSECA, David Siqueira. **Cimento**. 2009. Disponível em: < [https://sistemas.dnpm.gov.br/publicacao/mostra\\_imagem](https://sistemas.dnpm.gov.br/publicacao/mostra_imagem)> acesso em: 22/02/2014

**CALCARIO BOTUVERÁ – MINERAÇÃO RIO DO OURO Ltda**. Disponível em: <http://www.calcariobotuvera.com.br/a-empresa/> acesso em: 26/01/2014.

\_\_\_\_\_ **Contrato nº 48000.003155/2007-17: desenvolvimento de estudos para elaboração do plano duodecenal (2010 - 2030) de geologia, mineração e transformação mineral**. da Silva, Otávio José (2009). Disponível em:<[http://www.mme.gov.br/sgm/galerias/arquivos/plano\\_duo\\_decenal/a\\_mineracao\\_brasileira/P27\\_RT38\\_Perfil\\_do\\_Calcxrio.pdf](http://www.mme.gov.br/sgm/galerias/arquivos/plano_duo_decenal/a_mineracao_brasileira/P27_RT38_Perfil_do_Calcxrio.pdf)> Acesso em 03/01/2014.

\_\_\_\_\_ **Guia técnico ambiental tintas e vernizes**, 2006. Disponível em: < <http://www.crq4.org.br/downloads/tintas.pdf>> Acesso em 26/01/2014.

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

\_\_\_\_\_ **NBR 9289:2000: cal hidratada para argamassas determinação da finura**. Rio de Janeiro: ABNT, 2000.

\_\_\_\_\_ **NBR 6023: informação e documentação: referências: elaboração**. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

**RESUMO EXECUTIVO:** PLANO TERRITORIAL DE DESENVOLVIMENTO RURAL SUSTENTÁVEL – PTDRS TERRITÓRIO DO CARIRI ORIENTAL - PB 2010.

Disponível em: < [http://sit.mda.gov.br/download/ptdrs/ptdrs\\_qua\\_territorio027.pdf](http://sit.mda.gov.br/download/ptdrs/ptdrs_qua_territorio027.pdf)>  
acesso em: 25/01/2014.

INSTITUTO CAPIXABA DE PESQUISAS, ASSISTÊNCIA TÉCNICA E EXTENSÃO RURAL – INCAPER 2007.

\_\_\_\_\_ **CALAGEM.** Saiba como fazer e colha bons frutos, 2007. Disponível em:<  
<http://www.incaper.es.gov.br/servicos/images/Calagem.pdf>> Acesso em: 25/01/2014.

### **INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE**

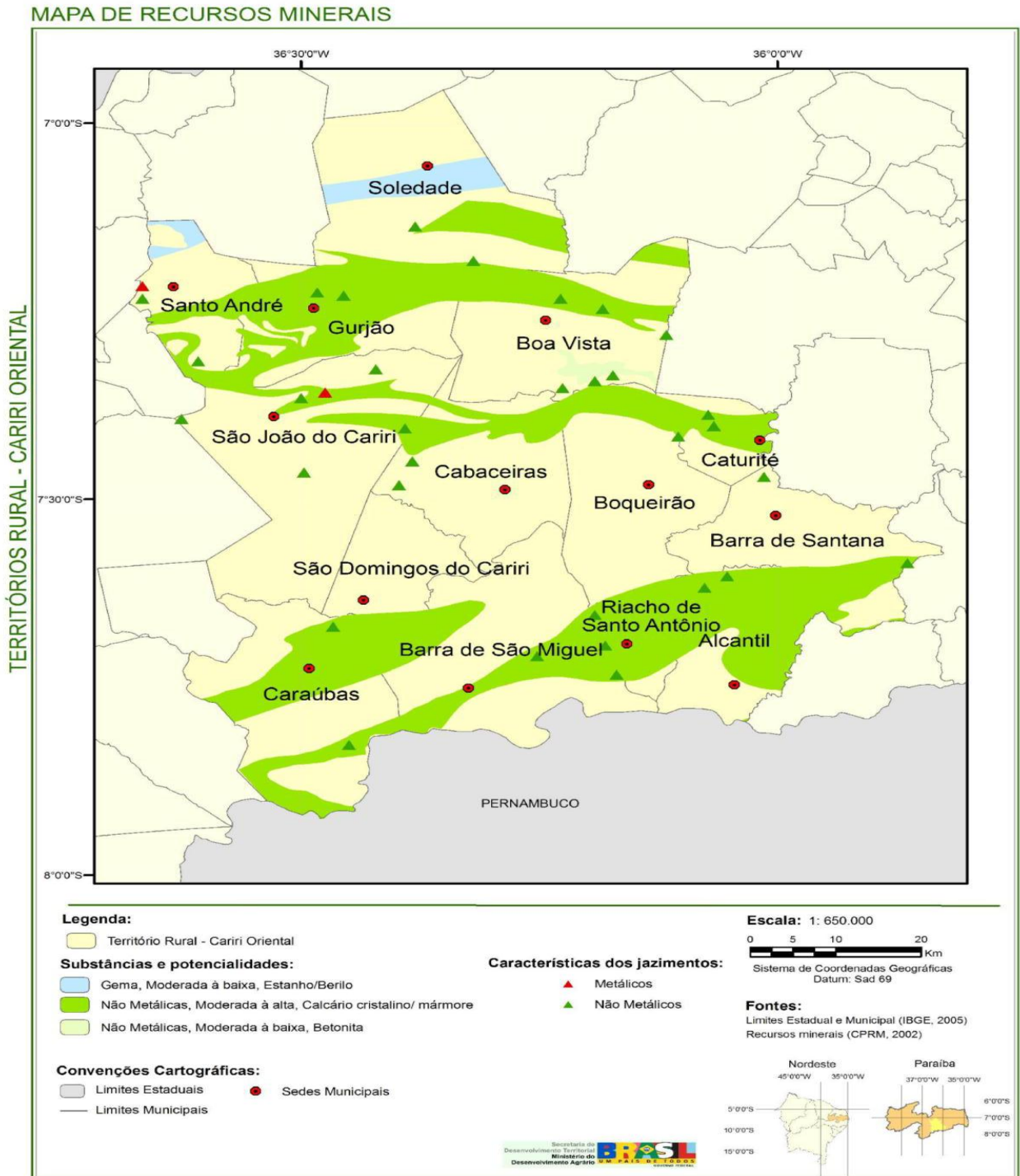
\_\_\_\_\_ **SENSO 2007** - População recenseada e estimada, segundo os municípios - Paraíba – 2007. Disponível em:  
[http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/contagem2007/contagem\\_final/ta\\_bela1\\_1\\_12.pdf](http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/contagem2007/contagem_final/ta_bela1_1_12.pdf). Acesso em: 21/02/2014.

**DNPM – Departamento Nacional de Produção Mineral, 2006.** Anuário Mineral Brasileiro 2006. Disponível em:  
<<http://www.dnpm.gov.br/conteudo.asp?IDSecao=68&IDPagina=789>> acesso em:  
17/01/2014.



## 8. ANEXOS

### ANEXO 01: MAPA DE RECURSOS MINERAIS DO CARIRI ORIENTAL DO ESTADO DA PARAÍBA.



**Fonte:** PLANO TERRITORIAL DE DESENVOLVIMENTO RURAL SUSTENTÁVEL – PTDRS TERRITÓRIO DO CARIRI ORIENTAL - PB (2010).