



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ

CENTRO DE CIÊNCIAS

DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA

VICTOR VIANA VASQUES

WILLIAM RENÊ JUVENCIO GONÇALVES

**UTILIZAÇÃO DO REJEITO DA MINERAÇÃO DO CALCÁRIO LAMINADO DA
CHAPADA DO ARARIPE NA CORREÇÃO DA ACIDEZ DO SOLO**

FORTALEZA

2016

VICTOR VIANA VASQUES

WILLIAM RENÊ JUVÊNCIO GONÇALVES

UTILIZAÇÃO DO REJEITO DA MINERAÇÃO DO CALCÁRIO LAMINADO DA
CHAPADA DO ARARIPE NA CORREÇÃO DA ACIDEZ DO SOLO

Monografia apresentada à Coordenação do
Curso de Geologia da Universidade Federal do
Ceará, como requisito parcial para obtenção do
Título de Bacharel em Geologia.

Orientador: Prof. Dr. Afonso Rodrigues de
Almeida.

Coorientador: Prof. Dr. Julius Blum.

FORTALEZA

2016

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Central do Campus do Pici

-
- V462u Vasques, Victor Viana.
Utilização do rejeito da mineração do calcário laminado da Chapada do Araripe na correção da acidez do solo / Victor Viana Vasques, William Renê Juvêncio Gonçalves. – 2016.
69 f. : il. color.
- Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências, Departamento de Geologia, Fortaleza, 2016.
Orientação: Prof. Dr. Afonso Rodrigues de Almeida.
Coorientação: Prof. Dr. Julius Blum.
1. Calcário. 2. Impacto ambiental. 3. Calagem dos solos. I. Gonçalves, William Renê Juvêncio. II. Título.

CDD 551

VICTOR VIANA VASQUES

WILLIAM RENÊ JUVÊNCIO GONÇALVES

UTILIZAÇÃO DO REJEITO DA MINERAÇÃO DO CALCÁRIO LAMINADO DA
CHAPADA DO ARARIPE NA CORREÇÃO DA ACIDEZ DO SOLO

Monografia apresentada à Coordenação do
Curso de Geologia da Universidade Federal do
Ceará, como requisito parcial para obtenção do
Título de Bacharel em Geologia.

Orientador: Prof. Dr. Afonso Rodrigues de
Almeida.

Coorientador: Prof. Dr. Julius Blum.

Aprovado em: 08 / 03 / 2016 .

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Julius Blum (Coorientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. José Antonio Beltrão Sabadia
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Mestre Antônio Sávio Magalhães de Sousa
Universidade Federal do Ceará (UFC)

AGRADECIMENTOS

Às famílias dos autores, por todo o apoio, compreensão e carinho.

Ao Prof. Dr. Afonso Rodrigues de Almeida, pela excelente orientação.

Ao Prof. Dr. Julius Blum, por aceitar o convite em coorientar, e por toda ajuda e paciência.

Ao Mestre Antônio Savio Magalhães de Sousa, por toda ajuda desde o início da pesquisa, auxiliando e enriquecendo o trabalho, e por aceitar o convite para participar da banca examinadora.

Ao Prof. Dr. César Ulisses Vieira Veríssimo e toda equipe do Laboratório de Geotécnica - LAGETEC do Departamento de Geologia da UFC, por cederem auxílio ao desenvolvimento do experimento.

À Prof. Dra. Helena Becker, pelo acompanhamento durante as análises químicas.

Ao Prof. Dr. Daniel Rodrigues do Nascimento Júnior e Prof. Dr. José Antonio Beltrão Sabadia, pelo auxílio na visita a campo.

Aos membros do Grupo de Estudos e Práticas em Permacultura – GEPPE, pela amizade e colaboração na pesquisa.

A todos os amigos que, de alguma forma, prestaram apoio.

RESUMO

A extração de calcário para fins ornamentais, denominado Pedra Cariri, no município de Nova Olinda, vem causando uma séria de impactos ambientais por conta da elevada geração e estoque de rejeitos na localidade. Diante dessa problemática, o objetivo desta pesquisa foi avaliar uma possível destinação para esse resíduo através de um experimento de calagem utilizando esse rejeito. O experimento durou 3 meses, de outubro de 2015 a janeiro de 2016, e foi conduzido por incubação de vasos em estufa, contendo doses que variaram de 0%, 50%, 100% e 200% da dose recomendada calculada, onde o pó desse rejeito foi aplicado em um solo de caráter ácido, no intuito de elevar a saturação por bases a 60%. No experimento também houve a aplicação, numa dose de 100% da dose recomendada, de outro tipo de calcário a esse mesmo solo, um calcário calcítico industrializado, com o objetivo de comparar a eficiência entre os dois materiais. Os resultados de análises químicas ao final do experimento indicaram que o pó do resíduo mineiro foi capaz de elevar satisfatoriamente o pH do solo, além de reduzir os teores de acidez trocável, acidez potencial e saturação por alumínio. Como insumo agrícola, o pó do rejeito mostrou uma boa eficácia, pois elevou os teores de cálcio, de soma de bases trocáveis e de saturação por bases do solo, porém não houve aumento significativo nos teores de K e Mg. Entre os dois calcários experimentados, a eficiência foi praticamente a mesma, a única diferença foi que o pó do rejeito da Pedra Cariri aumentou o percentual de sódio trocável no solo em relação ao calcário calcítico comercializado.

Palavras-chave: Impactos ambientais. Rejeitos. Calagem.

ABSTRACT

The extraction of limestone for ornamental purposes in the municipality of Nova Olinda, known as Pedra Cariri, has been causing a number of problems due a uncontrolled generation and a inappropriate storage of the waste from the open pits in the location. In face of this problem, the main goal of the research paper is to evaluate a potential industrial application through a liming experiment using this mineral waste. The experiment lasted 3 months, between October 2015 and January 2016, and it was conducted by incubation of vases in greenhouse, containing doses varying among 0%, 50%, 100%, and 200% from the calculated recommended dosage, where the waste was applied in a acidic soil, with the aim of increasing the pH, correcting it. Also, in the experiment there was an application of a dose containing 100% from the recommended dosage of another type of limestone, in the same soil, a agricultural calcitic lime, which is already industrialized and sold, used for comparing the efficiency between these two materials. Results of chemical analyses at the end of the experiment indicated that the powder from the mineral wasted was able to increase satisfactorily the soil pH, as well as reducing changeable acidity, potential acidity, and aluminum saturation. As agricultural input, the powder from the mineral waste has shown a good efficacy because it increased the Calcium levels, an the sum between the changeable basis and the soil base saturation; however, there was not substantial increasing in K and Mg levels. Between the two types of limestone used in the experiment, the efficacy was roughly the same; the only difference between them was the increasing in changeable Na in the soil caused by the powder from the Pedra Cariri waste in comparison to the other one.

Keywords: Environmental Impacts, Mineral Waste, Liming.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Mapa da Bacia do Araripe.	18
Figura 2 – Coluna estratigráfica da Bacia do Araripe.	20
Figura 3 – Mapa de localização do município de Nova Olinda-CE.	24
Figura 4 – Mapa de localização e acesso ao município de Nova Olinda.	25
Figura 5 – Imagem de satélite destacando a área 817,47 ha de extração de Pedra Cariri no município de Nova Olinda.	28
Figura 6 – Imagem de satélite destacando as áreas requeridas pela COOPEDRAS para pesquisa e extração de calcário junto ao DNPM.	30
Figura 7 – Aspectos paleontológicos observados em visita à área.	33
Figura 8 – Frente de lavra desativada e servindo como depósito de rejeito na área da mina de extração da Pedra Cariri em Nova Olinda.	35
Figura 9 – Corte mecanizado de calcário na mina de extração da Pedra Cariri em Nova Olinda.	36
Figura 10 – Pilha de rejeito na área de extração da Pedra Cariri em Nova Olinda.	37
Figura 11 – Sistema de reuso de água de corte do calcário no beneficiamento.	38
Figura 12 – Buraco com água parada na área da mina.	39
Figura 13 – Mapa de localização das frentes de lavra e pilhas de rejeito.	41
Figura 14 – Laboratório de preparação de amostra.	50
Figura 15 – Área total do GEPPE, com destaque para área de 300 m ² no seu interior onde foram coletadas as amostras de solo de acordo com os pontos em amarelo.	53
Figura 16 – A) Estufa utilizada no experimento; B) Incubação dos vasos.	54

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Taxas de reatividade das partículas de diferentes tamanhos dos calcário, adotadas pela legislação brasileira.....	47
Tabela 2 – Composição química dos calcários dos municípios da região do Cariri, com destaque para o município de Nova Olinda.....	49
Tabela 3 – Análise de variância para os parâmetros químicos do solo, destacando em vermelho as variáveis que obtiveram variações significativas.....	56
Tabela 4 – Análise de contraste para os parâmetros químicos do solo, destacando em vermelho a varável que obteve variação significativa.....	64

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – correlação polinomial positiva entre as variáveis dose de calcário e pH.	57
Gráfico 2 – regressão quadrática mostrando a correlação existente entre as variações nos teores de Ca^{2+} no solo em relação às doses do pó do rejeito da Pedra Cariri aplicadas em cada tratamento.	58
Gráfico 3 – regressão quadrática mostrando a correlação inversa entre as doses de calcário aplicadas em cada tratamento e a acidez potencial ($\text{H}^+ + \text{Al}^{3+}$) do solo.....	59
Gráfico 4 – regressão quadrática indicando a correlação inversa entre as doses de rejeito da Pedra Cariri aplicadas em cada tratamento e os teores de alumínio trocável (Al^{3+}).	60
Gráfico 5 – regressão quadrática mostrando a correlação entre as doses de pó do rejeito da Pedra Cariri aplicados em cada tratamento e os teores de soma das bases (SB).....	61
Gráfico 6 – regressão quadrática indicando a correlação entre as doses de rejeito da Pedra Cariri e saturação por bases (V) do solo experimentado.	62
Gráfico 7 – regressão quadrática mostrando a correlação entre as doses da Pedra Cariri aplicadas em cada tratamento e os valores da saturação por Al (m).	63

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	13
1.1. JUSTIFICATIVA	15
1.2. OBJETIVOS.....	17
1.2.1. OBJETIVO GERAL.....	17
1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	17
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	18
2.1. CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL (BACIA DO ARARIPE).....	18
2.2. LOCALIZAÇÃO E ACESSO À ÁREA DE ESTUDO	24
2.3. ASPECTOS FISIOGRÁFICOS	25
2.4. ASPECTOS SOCIOECONÔMICOS.....	26
2.5. LEGISLAÇÃO MINERAL (APL CARIRI)	27
2.6. ASPECTOS PALEONTOLÓGICOS DA FORMAÇÃO SANTANA	31
2.6.1. PATRIMÔNIO PALEONTOLÓGICO	32
2.7. ASPECTOS AMBIENTAIS.....	35
2.7.1. CONCENTRAÇÃO DO REJEITO.....	40
2.7.2. APLICAÇÕES PARA O REJEITO	41
3. MATERIAIS E MÉTODOS.....	43
3.1. CALAGEM	43
3.1.1. CORREÇÃO DA ACIDEZ DO SOLO.....	43
3.2. CORRETIVOS	44
3.3. PROPRIEDADES CORRETIVAS DO REJEITO DA PEDRA CARIRI.....	45
3.3.1.1. PODER DE NEUTRALIZAÇÃO	45
3.4. REATIVIDADE	47
3.4.1.1. PODER RELATIVO DE NEUTRALIZAÇÃO TOTAL.....	48
3.5. COMPOSIÇÃO QUÍMICA DO MATERIAL UTILIZADO	48

3.6. COLETA DO REJEITO E PREPARAÇÃO	49
3.7. SELEÇÃO, AVALIAÇÕES PRELIMINARES E COLETA DE SOLO.....	50
3.8. DETERMINAÇÃO DA NECESSIDADE DE CALAGEM.....	51
3.9. DELINEAMENTO EXPERIMENTAL	52
3.10. PREPARAÇÃO DOS VASOS.....	52
3.11. INCUBAÇÃO	54
3.12. AMOSTRAGEM DO SOLO E ANÁLISE	55
3.13. ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	55
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	56
4.1. ANÁLISE DE VARIÂNCIA	56
4.2. ANÁLISE DE REGRESSÃO	57
4.3. ANÁLISE DE CONTRASTE	63
5. CONCLUSÕES	65
REFERÊNCIAS	66

1. INTRODUÇÃO

A mineração é um dos setores básicos da economia do Brasil, tendo grande importância no desenvolvimento econômico do país, porém essa atividade é uma das mais impactantes ao meio ambiente no Brasil e no mundo. Segundo CPRM (2002), os principais problemas oriundos da mineração podem ser englobados em seis categorias: poluição da água, poluição do ar, poluição sonora, subsidência do terreno, incêndios causados pelo carvão e rejeitos radioativos.

Quando os processos de lavra e beneficiamento são voltados para alimentar o mercado das rochas ornamentais, os problemas se agravam ainda mais, por conta da enorme quantidade de rejeitos gerados. O corte das rochas muitas vezes é feito de maneira inadequada, fazendo, assim, com que grande parte do material seja desperdiçado. Além do que, de uma maneira geral, não é dada a devida atenção às características geológicas das jazidas, como fraturas, basculamentos, etc., e, assim, dificultando a lavra e aumentando consideravelmente a produção de rejeitos.

Quando mal manejados, os rejeitos ficam estocados nas minas, a céu aberto, nos chamados bota fora, sofrendo ação do vento, sol e chuva que, com o passar do tempo, acabam transportando parte desse material para outros locais, gerando diversos impactos ambientais nas localidades aos arredores dessas minas. Dentre os impactos causados pelo vazamento de rejeitos no meio ambiente, pode-se citar: contaminação do solo, contaminação das águas, poluição do ar, poluição visual.

De acordo com a resolução CONAMA nº.001/86, art. 1º, o termo “impacto ambiental” é definido como toda alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que, direta ou indiretamente afetam a saúde, o bem estar da população e a qualidade de sobrevivência dos seres vivos.

Segundo Medeiros (1995), a avaliação do impacto ambiental (AIA) deve ser concebida, antes de tudo, como um instrumento preventivo de política pública. Que só se torna eficiente quando possa se constituir num elemento de auxílio à decisão, uma ferramenta de planejamento e concepção de projetos para que se efetive um desenvolvimento sustentável como forma de sobrepor ao viés economicista do processo de desenvolvimento, que aparecendo como sinônimo de crescimento econômico ignora os aspectos ambientais, culturais, políticos e sociais.

Nos municípios de Nova Olinda e Santana do Cariri, localizados a sul do estado do Ceará e inseridos na bacia sedimentar do Araripe, os calcários laminados que constituem essa bacia são explorados como rochas de revestimento para pisos e paredes, denominados de Pedra Cariri.

A Bacia Sedimentar do Araripe é uma das mais importantes do mundo devido à enorme quantidade e qualidade de preservação de fósseis. O calcário laminado extraído como rocha ornamental está inserido na formação Santana, que litologicamente compõe-se de estratos horizontalizados de calcário intercalados com folhelhos siltíticos e arenitos, depositados durante o Cretáceo Inferior (cerca de 120 milhões de anos).

A lavra da Pedra Cariri é desenvolvida atualmente de forma aleatória, resultando num plano de aproveitamento com baixas taxas de recuperação. A lavra é desenvolvida, na sua grande maioria, com métodos rudimentares (VIDAL, PADILHA E OLIVEIRA, 2006).

Nessas pedreiras a lavra é feita ou de forma manual ou de forma semi-mecanizada, utilizando máquinas de corte móveis com disco diamantado. Estima-se que a perda na lavra, com a operação manual, atinge até 90% e, com a utilização da máquina com disco diamantado, reduz-se consideravelmente (VIDAL E PADILHA, 2003). A cadeia produtiva da Pedra Cariri, que vai da lavra ao beneficiamento (esquadrejamento) acarreta uma perda de material em torno de 70%.

Foi calculado por VIDAL, PADILHA E OLIVEIRA (2006) que as quantidades de rejeito de Pedra Cariri para o ano de 2006 eram de 755.000 m³ para o município de Nova Olinda e 275.000 m³ para o município de Santana do Cariri, formando um total de 1.030.000 m³ de rejeito de calcário estocados nas minas.

A extração de calcário pode ser prejudicial também para o ciclo local das águas, pois os afloramentos de calcário recolhem as águas das chuvas e a direcionam aos corpos d'água subterrâneos, funcionando como uma caixa d'água natural e eficaz. Além disso, a extração de calcário, inevitavelmente, desfaz as paisagens e destrói os sítios de interesse espeleológico, arqueológico e indígena (SANTI & FILHO, 2004). A extração de calcário, também é geradora de impactos, como a retirada da vegetação nativa, erosão, assoreamento de cursos d'água, além da destruição inexorável de fósseis.

Para reduzir os impactos ambientais ocasionados pelo inadequado manejo de rejeitos, é necessário o estudo e desenvolvimento de alternativas para a utilização dos mesmos, na tentativa de transformá-los num subproduto com valor econômico, oferecendo alternativas de utilização para esses materiais abandonados.

Atualmente os rejeitos da “Pedra Cariri” têm seu emprego restrito à terraplanagem e melhoria das estradas vicinais nos períodos chuvosos, sendo seu uso mais nobre, o emprego na composição de cimento (CORREIA, VIDAL E RIBEIRO, 2006).

No caso dos calcários, sabe-se que o seu pó é bastante utilizado na correção da acidez de solos ácidos, numa técnica conhecida como calagem, onde a mesma consiste basicamente na aplicação desse pó no solo, que com o tempo eleva o pH e corrige o problema de acidez do solo.

A calagem é uma das práticas agrícolas menos dispendiosas e efetivas na melhoria das condições do ambiente em que as plantas se desenvolvem, principalmente, pela elevação do pH, neutralização do Al trocável, fornecimento de Ca e de Mg, além de influenciar na disponibilidade de outros nutrientes, caracterizando um insumo de vital importância para o desenvolvimento das culturas e, como tal, vem sendo utilizada desde tempos imemoriáveis com essa finalidade (KAMINSKI ET AL., 1989).

1.1. JUSTIFICATIVA

Os resíduos de rochas provenientes da mineração e dos diversos tipos de beneficiamento estão sendo largamente estudados em virtude do grande impacto ambiental provocado quando descartados indiscriminadamente na natureza e do enorme potencial que estas possuem como matéria prima. Em geral esses resíduos são descartados em lagos, rios, faixas de domínios de rodovias e ao redor de mineradoras (ou empresas de beneficiamento) causando uma série de agressões à fauna e flora, bem como à saúde da população, principalmente quando se encontra em forma seca e pulverulenta (SILVA, 2008).

A grande preocupação com este tipo de rejeito baseia-se nos elevados índices de crescimento do setor mineral em todo mundo, especialmente no que diz respeito às rochas para fins ornamentais. Este fato, aliado ao elevado desperdício do setor (que pode chegar a 50%, em massa, do total produzido) gera um cenário altamente preocupante tanto para ambientalistas como para a sociedade em geral (SILVA, 2008).

O rejeito industrial, mineiro ou não, tem sido uma fonte de materiais alternativos de grande importância, visto que sua utilização pode reduzir preço, consumo de matérias-primas, consumo de energia, além de minimizar impactos ambientais causados pelo lançamento desses resíduos no meio-ambiente (SILVA, 2008).

O aproveitamento dos rejeitos industriais para uso como material alternativo não é novo e tem dado certo em vários países do Primeiro Mundo, sendo três as principais razões

que motivam os países a reciclar seus rejeitos industriais: primeiro, o esgotamento das reservas de matéria prima confiáveis; segundo, o crescente volume de resíduos sólidos, que põem em risco a saúde pública, ocupam o espaço e degradam os recursos naturais e, terceiro, a necessidade de compensar o desequilíbrio provocado pelas altas do petróleo (MENEZES 2002).

A atividade mineira nos calcários da região de Nova Olinda e Santana do Cariri vem proporcionando assoreamento de riachos, alteração do pH das águas e o aumento de zonas de erosão.

Diante de toda a problemática envolvendo a atividade minerária e a alta geração e concentração de rejeito de calcário na região do Cariri, principalmente no município de Nova Olinda, surge a importância de estudos aprofundados a respeito da qualidade desse material para diversas finalidades industriais, no intuito de se obter um subproduto a partir desse material de rejeito, podendo gerar um incremento na economia local e diminuir o riscos de impactos ambientais.

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. OBJETIVO GERAL

Fornecer uma alternativa para utilização do rejeito (resíduo sólido) de calcário laminado (Pedra Cariri), e, assim, reduzir os riscos de impactos ambientais causados pelas pilhas de rejeito na região do município de Nova Olinda.

1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- A) Testar a eficiência do pó da Pedra Cariri como agente de correção da acidez do solo;
- B) Verificar a correção da acidez do solo em relação a diferentes doses de calcário;
- C) Comparar a eficiência do pó do rejeito da Pedra Cariri com um calcário calcítico comercializado.

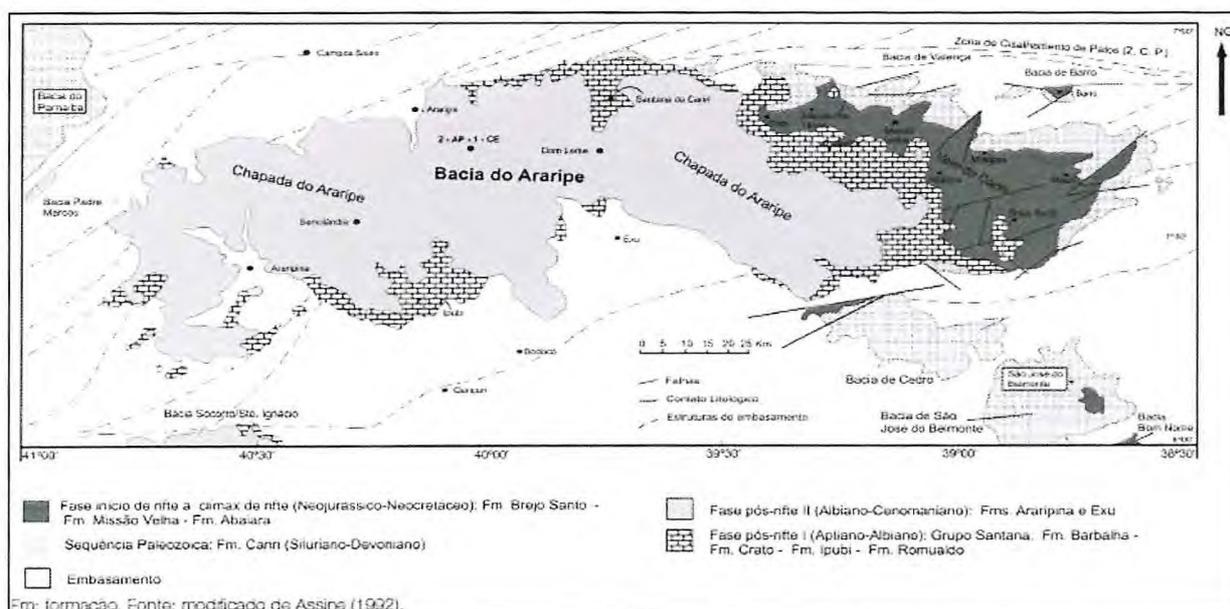
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL (BACIA DO ARARIPE)

As bacias do interior do nordeste brasileiro constituem um conjunto de bacias Fanerozóicas, das quais a mais extensa e estudada é a bacia do Araripe. Essa apresenta uma complexa evolução poli-histórica, ou seja, constitui um registro fragmentário de quatro bacias histórica e geneticamente separadas no tempo e parcialmente superpostas. Isso é evidenciado pelos sedimentos preservados que não configuram embaciamentos completos. Com isso, a análise estratigráfica é baseada na identificação de eventos geológicos maiores e reconhecíveis ao longo de toda a bacia.

A bacia do Araripe encontra-se sobre a Província Borborema, uma província geotectônica pré-cambriana de estruturação complexa localizada no Nordeste do Brasil. Possui lineamentos de direções E-W e NE-SW, dentre os quais se destacam dois, Lineamento de Patos e Lineamento de Pernambuco (ao sul), ambos de direção E-W, que delimitam a “Zona Transversal” (PONTE & PONTE FILHO, 1996), dentro da qual se encontra, mais precisamente, a bacia. Sua forma é alongada segundo o eixo E-W e fortemente compartimentada por falhas reativadas do embasamento pré-cambriano. A figura 1 mostra um mapa simplificado, adaptado de Assine (1992).

Figura 1 – Mapa da Bacia do Araripe.

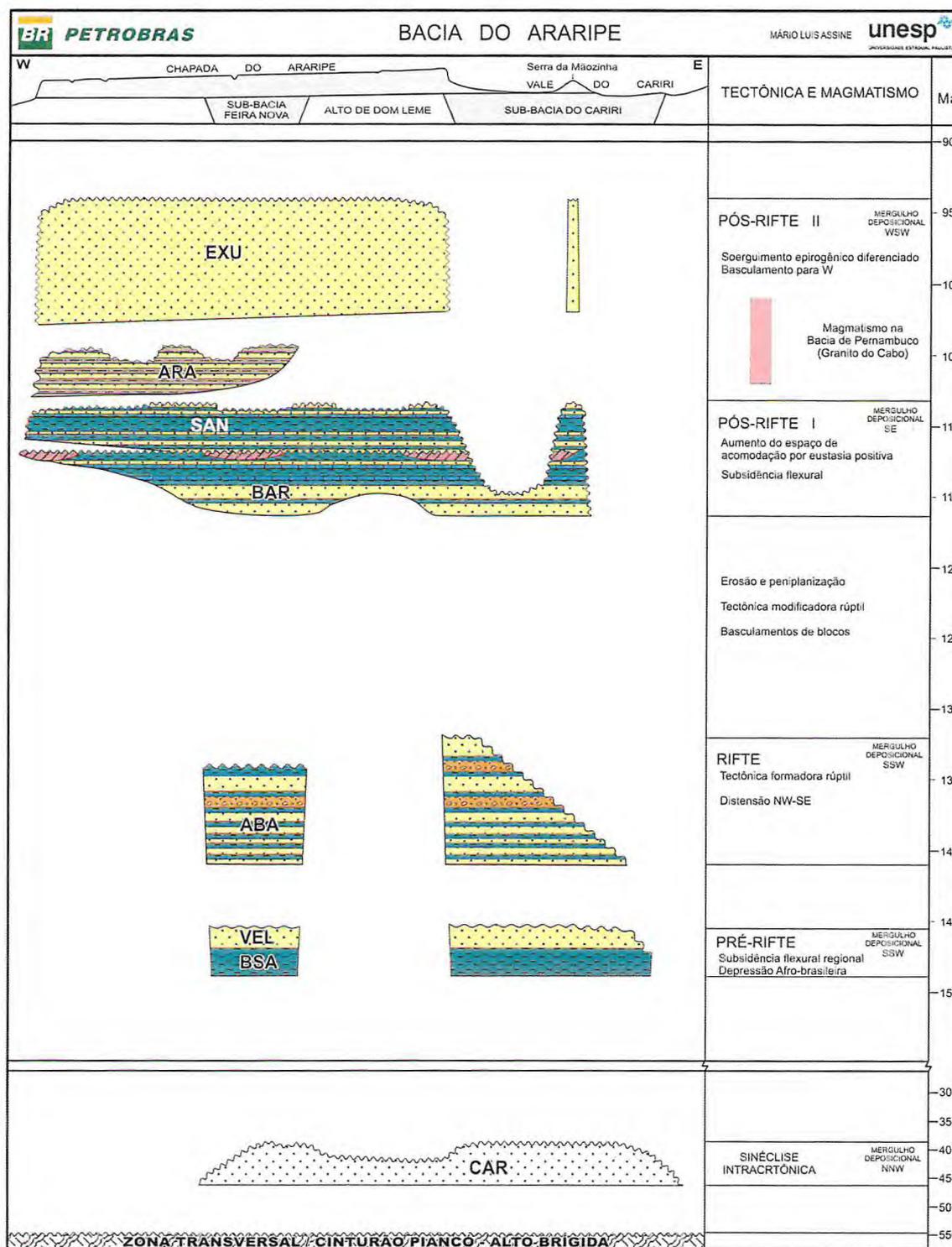


Fonte: Adaptado de Assine, 1992.

A origem da Bacia do Araripe está diretamente ligada ao evento de abertura do Oceano Atlântico Sul, que envolveu toda a porção leste da Plataforma Sul-Americana, chamado Reativação Wealdeniana, responsável pela fragmentação do paleo-continente Gondwana e pela formação dos riftes Mesozóicos do Nordeste (PONTE & PONTE FILHO, 1996). A intensa atividade da Plataforma Sul-Americana criou grandes depressões tafrogênicas, possibilitando a formação de centros de deposição com estruturação típica de riftes juvenis, preenchidas por sedimentos terrígenos de idade jurássica a Neocretácica de seqüências Meso-Cenozóicas, que constituem hoje a seqüência sedimentar do Araripe. Os estratos da Bacia do Araripe são refletidos na arquitetura da bacia, tendo na parte inferior uma zona de riftes, encravada no embasamento pré-cambriano e, na parte superior, com cobertura tabular, sub-horizontal, encobrindo discordantemente as bacias do tipo rifte (ASSINE, 1990).

A coluna estratigráfica da Bacia do Araripe é formada por quatro seqüências tectôno-sedimentares limitadas por discordâncias regionais ou por hiatos, paleontologicamente definidos (PONTE 1992a, 1992b): A seqüência Paleozóica, de idade Siluro-Devoniana, representada pela formação Mauriti; A seqüência pré-rifte, representada pelas formações Brejo Santo, Missão Velha e Abaiara, de idade eo-jurássica; A seqüência sin-rifte, representada pelas formações Rio da Batateira e Santana, de idade Meso-Cretácea; e a seqüência pós-rifte, representada pela formação Exu, de idade Cenomaniana (Cretáceo superior) (Figura 2).

Figura 2 – Coluna estratigráfica da Bacia do Araripe.



Fonte: Assine, 2007.

A Sequência Paleozóica é composta unicamente pela formação Mauriti, que constitui-se quase que unicamente de arenitos com decimétricos e descontínuos níveis de siltito. Na parte mais inferior predominam os arenitos arcósios de granulação média a grossa,

muitas vezes conglomeráticas. Os níveis de conglomerados ocorrem mais comumente na base, onde incluem fragmentos líticos do embasamento. As estratificações são geralmente cruzadas de médio porte, tabulares, planares e secundariamente acanaladas, em *sets* com espessuras decimétricas a métricas. São interpretadas como originadas em sistemas fluviais entrelaçados com escassez acentuada da fração pelítica de planície de inundação, ou seja, em direção ao topo os arenitos feldspáticos gradam para arenitos quartzosos. Alguns autores creditam essa composição sub-arcósea a um regime de clima periglacial, durante todo o Siluriano.

A formação Missão Velha se posiciona imediatamente acima dos folhelhos da formação Brejo Santo. O contato entre as duas unidades é concordante e gradual, passando de fácies pelíticas para fácies psamíticas. Essa formação é constituída basicamente de arenitos quartzosos, ligeiramente feldspáticos e/ou caolínicos, às vezes conglomeráticos, portadores de abundantes troncos e fragmentos de madeira silicificada, atribuídos à conífera *Dadoxylon benderi*. Os arenitos apresentam-se em *sets* comumente decimétricos, com estratificação cruzada predominantemente cuneiforme planar ou acanalada. A passagem ascendente gradual dos pelitos avermelhados da Formação Brejo Santo para os arenitos da Formação Missão Velha permite interpretar um empilhamento sedimentar progradante, onde lagos rasos e/ou planícies aluviais distais úmidas foram colmatadas por sistemas fluviais, através de rios entrelaçados de pequeno a médio porte, mas de alta energia a julgar pelas litologias e dimensões dos sets. A formação Missão Velha é litologicamente semelhante, no entanto, no que diz respeito à sedimentologia, esta unidade apresenta diferentes associações de fácies que sugerem mudanças nas condições que regeram os processos deposicionais.

A formação Abaiara é constituída na base por folhelhos sílticos e siltitos vermelhos e verdes-claros, com intercalações lateralmente descontínuas de camadas decimétricas de arenitos finos e lâminas de carbonatos argilosos. Para o topo, interstratificadas com folhelhos sílticos esverdeados, ocorrem lentes métricas de arenitos quartzosos finos a muito grossos, com níveis conglomeráticos.

Segundo Assine (1992), a sequência Juro-neocomiana é definida por falhas, sem evidências de deposição tectônica sin-deposicional. Por isso, a estruturação dos sedimentos desta sequência, também observada na seqüência paleozóica, é interpretada como produto de eventos de tectônica deformadora, atuantes no intervalo Neocomiano superior/Barremiano. Sequência Aptiana-albiana é constituída pelas formações Rio da Batateira e Santana. Essa

representa o estágio inicial da tectono-sequência “pós- rifte” (NEUMANN E CABRERA, 1999) da bacia do Araripe, com sequências transicionais e evaporíticas.

A formação Rio da Batateira, definida por Ponte e Appi (1990), é equivalente à formação Barbalha de Assine (1990) e é constituída, basicamente, por dois tipos de associações de fácies, na base e no topo. A unidade basal é constituída predominantemente de fácies arenosas com intercalações de lamitos avermelhados e amarelados, e de níveis delgados de conglomerados. A estratificação é cruzada, de médio a pequeno porte, tabular planar ou tangencial na base, comparecendo também feições sigmoidais. Tais sedimentos apresentam-se em ciclos com granodecrescência ascendente que culminam em intervalos pelíticos e são interpretados como fluvio-lacustres, não só pelas litologias e estruturas sedimentares, mas pela presença de fósseis continentais.

O primeiro ciclo se encerra com um intervalo de folhelhos pirobeturninosos pretos, ricos em laminações carbonáticas algálicas e ostracodes. Este intervalo, em meio ao qual se encontra uma camada decimétrica de calcário com aspecto brechóide e mineralizada em sulfetos, foi denominado de "camadas Batateira" por Hashimoto *et al.* (1987). Portanto, a formação Rio da Batateira ou Barbalha apresenta, na base, uma associação fluvial e no topo uma associação lacustre. Culminando com o último ciclo granodecrescente da Formação Rio da Batateira numa passagem gradual, tem-se uma seção de folhelhos papiráceos calcíferos, interestratificados com calcários micríticos laminados, onde continua presente o registro fóssilífero abundante (conchostráceos, fragmentos vegetais lenhosos carbonizados, além de pequenos peixes, *Dastilbe elongatu*, e insetos) marca o início do membro Crato e da formação Santana.

A Formação Santana tem sido relacionada com um Sistema Lagunar-Evaporítico e Marinho, de idade Meso-Albiano (PONS *et al.* 1990), com grande diversidade e complexidade faciológica (PONTE, 1992b). Beurlen (1971) após estudos faciológicos e ecológicos sobre a Formação Santana, diferenciou-a em três membros, denominados Crato (inferior), Ipubí (intermediário) e Romualdo (superior).

O membro Crato, que consiste na formação que abrange o contexto de estudo deste trabalho, visto que seu litótipo consiste na matéria base de uso no experimento, possui calcários laminados de natureza micrítica, de cor amarela a creme com estratificação plano-paralela horizontal, com pseudomorfos de cristais de sal, laminação milimétrica a centimétrica localmente de cor acinzentada; com espessura que variam de 30 a 50 metros (PONTE & APPI, 1990). São fóssilíferos, incluindo grupos de invertebrados, vertebrados e plantas. Sobre a evolução paleogeográfica do paleo-lago ligado à deposição desses sedimentos, Neumann

(1999) identificou seis/sete níveis lacustres carbonatados na evolução desses depósitos, com interdigitações de corpos terrígenos, o que atesta a ampliação dos sistemas lacustres, indicando condições de baixa energia no ambiente deposicional, com influxo terrígeno e turvação da água paulatinamente decrescente, sendo comum nos carbonatos a presença de filamentos algálicos.

O membro Ipubí corresponde às camadas de gipsita de até 20 metros de espessura e alguns metros acima dos evaporitos ocorre o membro Romualdo constituído por abundantes concreções carbonáticas, parte destas concreções encerra peixes em seu interior, num total de 18 espécies, compondo uma paleoictiofauna considerada marinha (SILVA SANTOS & VALENÇA, 1968). Também são encontrados, entre outros vertebrados, dinossauros (LEONARDI & BORGOMANERO, 1981), tartarugas marinhas (PRICE, 1973) e pterossauros (PRICE 1971, CAMPOS & KELLNE 1985).

A Sequência Albiano-Cenomoniano corresponde à formação Exu (BEURLLEN, 1962), onde intercalam-se arenitos grosseiros, conglomeráticos, friáveis. Essas litologias estão empacotadas em bancos de acamamento grosseiro, com estratificações cruzadas, constituindo litofácies típicas de depósitos fluviais. As espessuras de Formação Exu, variam de 150 a 200 metros na parte leste da Chapada do Araripe a cerca de 100 metros na sua extremidade oeste, podendo atingir espessuras maiores nos locais onde a formação recobre os baixos estruturais da bacia tectônica neocomiana. Mabeoone & Tinoco (1973) constataram que a Formação Exu, na porção oeste da bacia, compõe-se de dois membros denominados informalmente de membros inferior e superior.

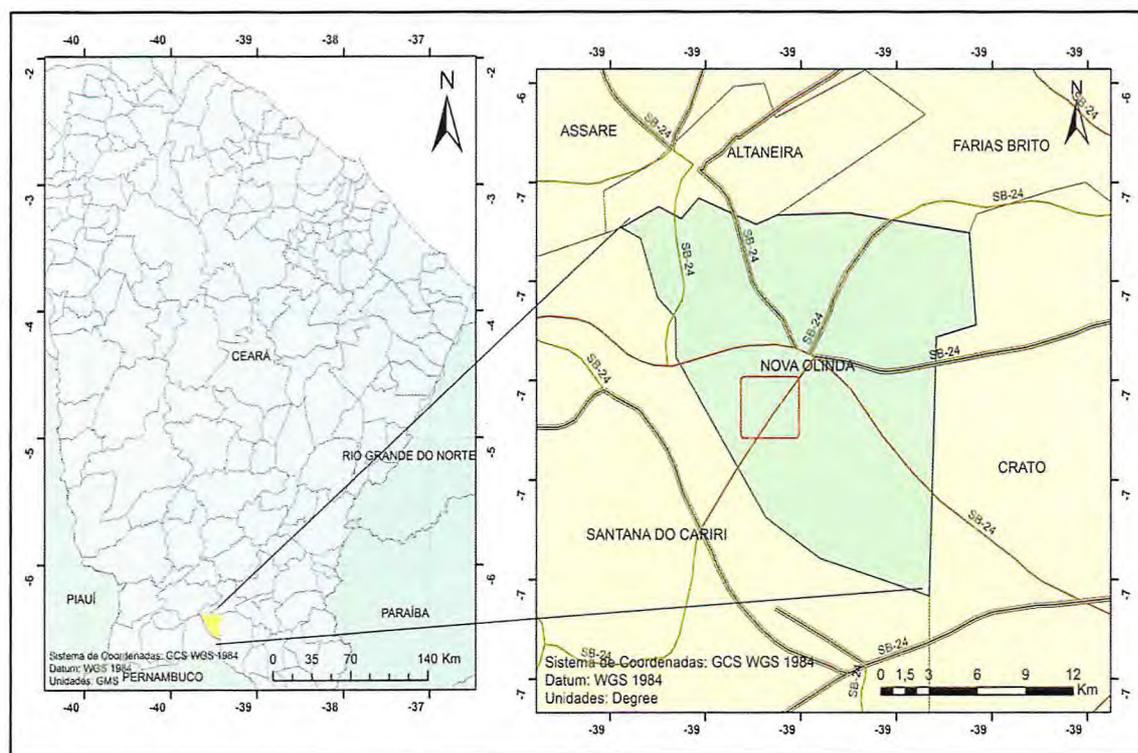
2.2. LOCALIZAÇÃO E ACESSO À ÁREA DE ESTUDO

O município de Nova Olinda situa-se na porção sul do Estado do Ceará, a 504 km de Fortaleza, na microrregião do Cariri, mesorregião do sul cearense, região metropolitana do Cariri, abrangendo a porção centro-norte da Bacia do Araripe (figura 3).

Partindo de Fortaleza, a via de acesso principal é preferencialmente pela BR 122 sentido sudeste, passando por cidades importantes como Russas, Jaguaribe, Icó e Juazeiro do Norte. Ao chegar a Juazeiro do Norte, os acessos ao município podem ser a partir de rodovias estaduais, que são a CE-166 e a CE-292 (figura 4).

A área em abrangência situa-se a 3 km do centro urbano de Nova Olinda em sentido sudoeste, e o acesso principal à entrada do empreendimento mineral onde ocorre a extração de calcário, é localizado na estrada que dá acesso ao município de Farias Brito.

Figura 3 – Mapa de localização do município de Nova Olinda-CE.



Fonte: O autor.

Figura 4 – Mapa de localização e acesso ao município de Nova Olinda, partindo de Fortaleza.



Fonte: O Autor.

2.3. ASPECTOS FISIAGRÁFICOS

O município situa-se na região do Cariri, porção sul do estado do Ceará, limitando-se com os municípios de Santana do Cariri, Altaneira, Farias Brito e Crato, e localiza-se na carta topográfica Santana do Cariri (SB.24-Y-D-II) (RADAM, 2015).

O clima nesta região varia entre Tropical Quente Sub-úmido a Semi-árido, caracterizado por temperaturas que variam, em média, de 23°C no inverno a 29°C no verão, e uma precipitação média de chuvas em torno dos 800 mm anuais, com período chuvoso de janeiro a maio, segundo dados da FUNCEME/IPECE (2015).

O relevo tem as formas suaves e pouco dissecadas da Depressão Sertaneja, produto da superfície de aplainamento em atuação no Cenozóico, e as altitudes ficam próximas dos 500 metros acima do nível do mar (CPRM, 1999).

No município foram registrados solos do tipo terra roxa estruturada, podzólicos e litólicos. Sobre eles desenvolve-se a caatinga arbórea ou floresta caducifólia espinhosa,

encontrando-se também manchas de mata seca (floresta subcaducifólia tropical pluvial) (CPRM, 1999).

Em Nova Olinda ocorrem rochas Pré-Cambrianas do embasamento cristalino (quartzitos, xistos, gnaisses e migmatitos). Na porção sul, ocorrem rochas sedimentares da bacia do Araripe, representadas por arenitos da Formação Mauriti (Eo-Cambriano) e calcários da Formação Santana (Mesozóico). Ao longo das principais drenagens ocorrem depósitos aluvionares, em geral, descontínuos e pouco espessos (CPRM, 1999).

O município está totalmente inserido na bacia hidrográfica do Alto Jaguaribe, tendo como principal drenagem o rio Cariús. Não existem reservatórios superficiais expressivos no município. A sede municipal é abastecida pela CAGECE, a partir de 3 poços tubulares captando o aquífero Mauriti, que produzem 60,0 m³/h e atendem 78% da população (CPRM, 1999).

Distinguem-se três domínios hidrogeológicos distintos: rochas cristalinas, rochas sedimentares (aquífero Mauriti) e depósitos aluvionares. As rochas cristalinas representam o que é denominado comumente de “aquífero fissural”, sem porosidade primária, a ocorrência da água subterrânea é condicionada por uma porosidade secundária representada por fraturas e fendas (CPRM, 1999).

Embora com uma área de ocorrência muito pequena em relação à extensão territorial do município, os arenitos da Formação Mauriti, restritos ao extremo sul na divisa com Santana do Cariri, representam o domínio hidrogeológico com o mais alto potencial da área. Os depósitos aluvionares são representados por sedimentos areno-argilosos recentes, que ocorrem margeando as calhas dos principais rios e riachos que drenam a região (CPRM, 1999).

2.4. ASPECTOS SOCIOECONÔMICOS

O município de Nova Olinda foi desmembrado de Santana do Cariri e elevado a município pela lei nº 3.555, de 14 de março de 1957, e instalado no dia 26 de abril do mesmo ano. Segundo Censo IBGE (2010), o município tem uma população de 14.256 habitantes, com população estimada em 2015 de 15.181 habitantes. Sua área de unidade territorial é de 284,401 km² e apresenta uma densidade demográfica de 50,13 hab/km².

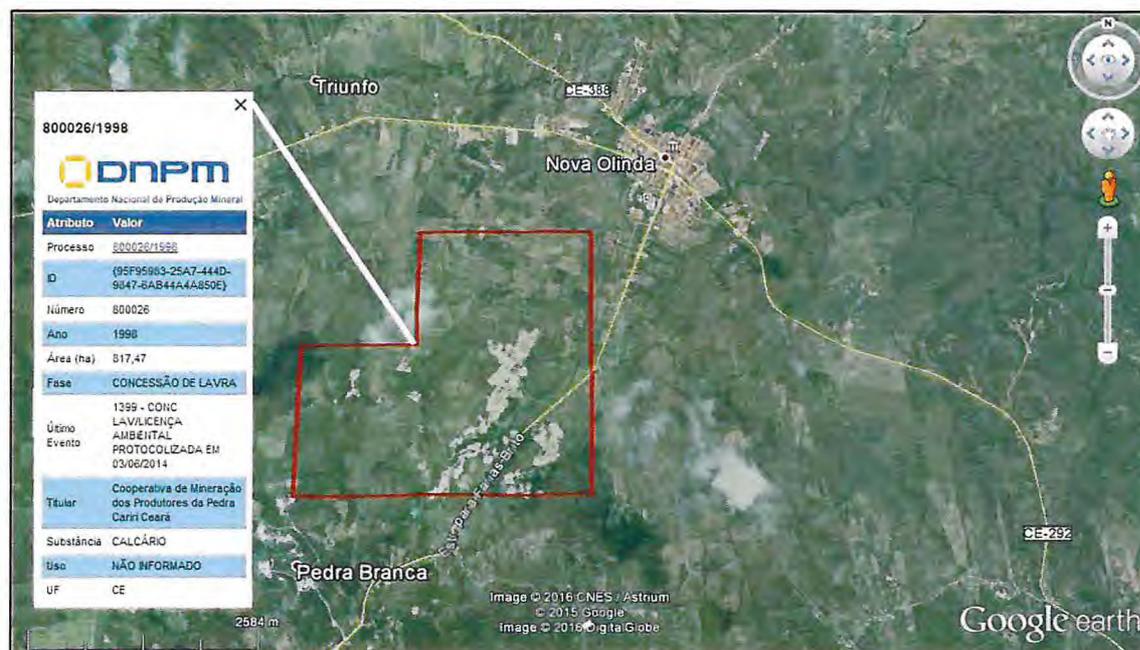
A principal atividade econômica reside na agricultura de subsistência de feijão, milho e mandioca e na monocultura de algodão, banana, abacate, cana-de-açúcar, castanha de caju e frutas diversas. Na pecuária extensiva destacam-se criação de bovinos, ovinos, caprinos, suínos e aves. O extrativismo vegetal desponta com a fabricação de carvão vegetal, extração de madeiras diversas para lenha e construção de cercas, além de atividades desenvolvidas com matérias-primas obtidas a partir da oiticica e carnaúba. O artesanato de redes, chapéus, balaios, sacolas e bordados é bastante difundido no município. Na área de mineração, a extração de rocha calcária (utilizada na fabricação de cal e como rocha ornamental) tem suma importância à economia local (CPRM, 1999).

2.5. LEGISLAÇÃO MINERAL (APL CARIRI)

A área de estudo consiste numa área de lavra licenciada junto ao DNPM sob o número de processo 800.026/1998, com extensão de 817,47 ha, em fase atual de concessão de lavra e em plena atividade de extração e comercialização de rocha ornamental. O titular do processo é a Cooperativa de Mineração dos Produtores da Pedra Cariri – COOPEDRAS (Figura 5).

O empreendimento trata-se de uma das áreas de Arranjo Produtivo Local - APL destinados à mineração, fator esse que proporcionou ao empreendimento uma série de medidas quanto à etapa produtiva e meio ambiente, assim como em relação ao licenciamento ambiental da atividade. Para a compreensão das definições e de como funciona um APL em seus princípios e normas, assim como a problemática ambiental (paleontológica e de degradação ambiental) sob o ponto de vista da legislação ambiental, será feita uma abordagem geral sobre estes aspectos nas próximas páginas.

Figura 5 – Imagem de satélite destacando a área 817,47 ha de extração de Pedra Cariri no município de Nova Olinda.



Fonte: O Autor.

Segundo a RedeSist (2005), os Arranjos Produtivos Locais são aglomerados de agentes econômicos, políticos e sociais, localizados em um mesmo território, com foco em um conjunto específico de atividades econômicas e que apresentam (ou têm condições de fomentar) vínculos expressivos de interação, cooperação e aprendizagem direcionada para o enraizamento da capacitação social e da capacitação inovativa, essenciais para a competitividade empresarial. As principais características de um APL são a cooperação e a interação, a especialização produtiva, o território definido e o sistema de governança.

Para se caracterizar APL deve se identificar alguns tipos de articulação, interação, cooperação e aprendizagem entre si e com outros atores locais e instituições públicas ou privadas, com o subsistema gerador de conhecimento inovativo, como: as escolas técnicas, universidades, instituições de pesquisa, instituições de apoio financeiro etc. Deste modo, surge a necessidade de uma classificação desses arranjos voltada ao segmento de mineração e, a partir de então, surgiu o conceito e formulação em projetos dos Arranjos Produtivos de Base Mineral (VIDAL, 2010).

A caracterização de APL de Base Mineral pelo Termo de Referência para Política de Apoio ao Desenvolvimento dos Arranjos Produtivos Locais, elaborado pelo GTP APL/MDIC, um APL de Base Mineral abrange a seguinte caracterização: dispor, num dado

território, de um número significativo de empreendedores que atuam na cadeia produtiva mineral (prospecção, extração, beneficiamento, transformação mineral e comercialização) e que compartilham formas percebidas de articulação, interação, cooperação e aprendizagem e algum mecanismo de governança. Incluem não somente empresas – produtoras de bens e serviços, fornecedoras de insumos e equipamentos, prestadoras de serviços, comercializadoras, clientes etc. e suas variadas formas de representação e associação – mas também diversas outras instituições públicas e privadas voltadas à formação, capacitação e treinamento de recursos humanos, pesquisa, desenvolvimento, inovação e engenharia, promoção e financiamento do setor mineral. Concebido como um mecanismo de atuação sinérgica para a sustentabilidade vem a ser uma janela de oportunidade para empreendedores da mineração em pequena escala do país (VIDAL, 2010).

Atualmente, existem cerca de 30 APL's de base mineral apoiados pelo governo, dentre eles 12 são de rochas ornamentais, incluindo o APL Calcário do Cariri (MCT, 2006).

O APL de Pedra Cariri foi implantado entre 2005 e 2009, com investimentos de cerca de R\$ 1,5 milhão por parte do Ministério das Minas e Energia (MME), Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI), Ministério da Integração Nacional (MI) e Banco do Nordeste. A equipe de trabalho contou com pesquisadores, técnicos e diversos profissionais de doze instituições, coordenados pelo CETEM (VIDAL 2010).

O Projeto Arranjo Produtivo Local de Base Mineral do Calcário do Cariri no Ceará abrange a região do Araripe/Cariri dos municípios de Santana do Cariri e Nova Olinda. Os referidos municípios foram selecionados por terem um grande potencial de produção do calcário sedimentar laminado usado como piso e revestimento na construção civil e conhecido comercialmente como Pedra Cariri.

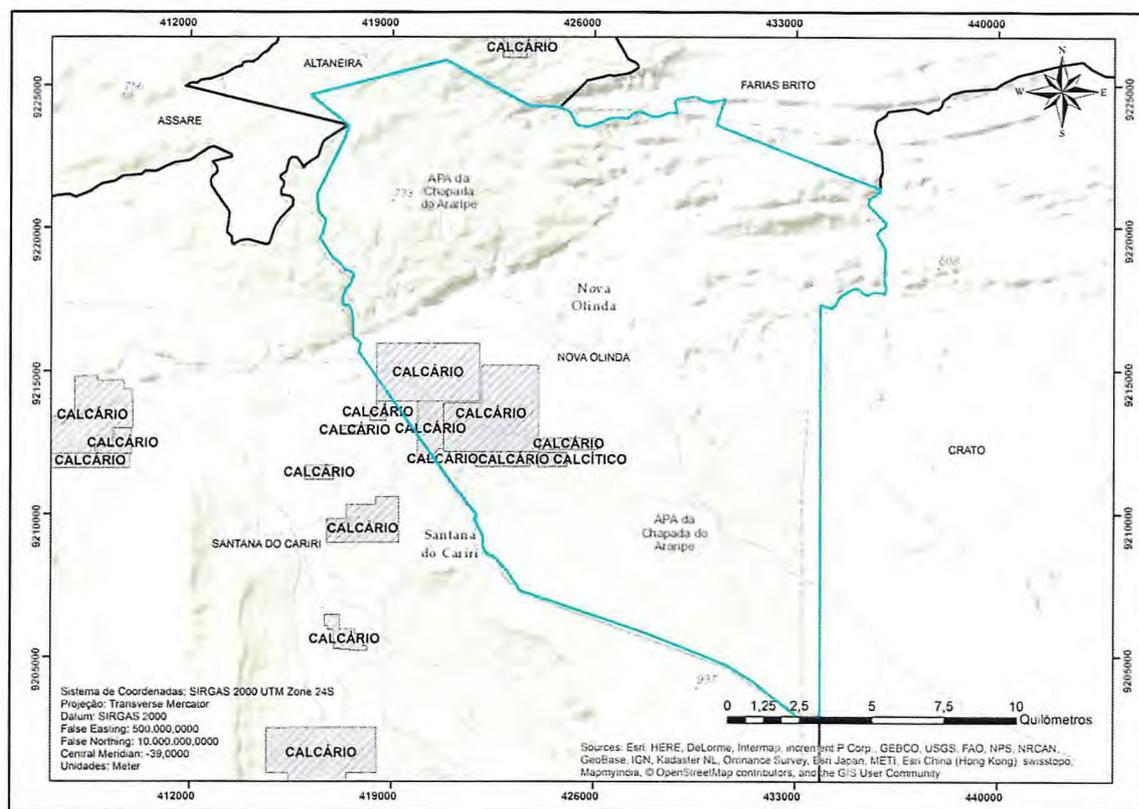
A atividade de mineração em Nova Olinda e Santana do Cariri é realizada por cerca de 60 micro-empresas, já com 37 empresas cooperadas pela Cooperativa dos Mineradores da Pedra Cariri - COOPEDRAS, gerando 1.500 empregos diretos, distribuídos entre cerca de 100 pedreiras e 40 serrarias. O enorme acervo paleontológico da Formação Santana é patrimônio da União e sua comercialização é absolutamente proibida, o que foi motivo de uma preparação e instrução para os produtores sobre o tema (VIDAL, 2010).

Dentre os resultados obtidos com a implementação do APL Caririense, destacam-se consideráveis pontos positivos, mas ainda existem questões, sobretudo do ponto de vista ambiental, que exigem ainda que projetos sejam aprimorados e efetivamente aplicados ao

local. Ainda há certa negligência por parte dos órgãos fiscalizadores (DNPM e SEMACE) à respeito do acúmulo desordenado das pilhas de rejeito e o conseqüente impacto ambiental destas, existe ainda uma carência de um aprimoramento quanto ao método de lavra, visando um maior aproveitamento do recurso, assim como a redução da perda do patrimônio paleontológico.

A figura 6 mostra todas as áreas, no município de Nova Olinda e Santana do Cariri, que atualmente encontram-se requeridas junto ao DNPM (Departamento Nacional de Produção Mineral) para extração ou pesquisa de Calcário pela COOPEDRAS, portanto fazendo parte do APL de Base Mineral do Cariri.

Figura 6 – Imagem de satélite destacando as áreas requeridas pela COOPEDRAS para pesquisa e extração de calcário junto ao DNPM.



Fonte: O Autor.

2.6. ASPECTOS PALEONTOLÓGICOS DA FORMAÇÃO SANTANA

De todas as unidades estratigráficas desta bacia, a Formação Santana é a mais importante sob o ponto de vista paleontológico. Existem na Formação dois depósitos com alta concentração de fósseis bem distintos, constituídos, respectivamente, pelas rochas dos membros Crato e Romualdo.

O membro Crato, onde se situa o material extraído e abrangido neste trabalho, se caracteriza litologicamente por calcários finamente laminados, depositados durante o Aptiano (Pons *et al.* 1990), bastante rico em plantas, insetos, crustáceos, aracnídeos, peixes (grande quantidade mas pouca diversidade), anuros, quelônios, lagartos (alguns com tecido mole), pterossauros, crocodilomorfos e penas. Já o Membro Romualdo é caracterizado por folhelhos e margas contendo nódulos com fósseis que foram depositados durante o Aptiano-Albiano (Pons *et al.* 1990), também muito rico em fósseis, tratado em seguida. Convém ressaltar que as rochas do Membro Ipubi (predominantemente de gipsita e folhelhos, com, ocasionalmente, nódulos calcários), que constitui a unidade intermediária da Formação Santana, também contém restos de organismos, mas, até a presente data, não constitui um depósito paleontológico expressivo.

Devido à abundância e à qualidade dos fósseis encontrados na Formação Santana, esta é considerada um *Lagerstätte*, ou seja, um local com uma quantidade de fósseis acima do normal (*Konzentrat-Lagerstätten*) ou cujo estado de preservação dos fósseis é excepcional (*Konservat Lagerstätten*) (MAISEY, 1991; BOTTJER *et al.*, 2002).

Um levantamento bibliográfico extensivo sobre os vertebrados da Formação Santana foi realizado, utilizando a base de dados GEOREF como principal referência para a busca de publicações sobre o tema. Alguns artigos foram localizados a partir de citações em outras fontes (livros e periódicos) ou pela indicação de pesquisadores da área (BOOS E VEGA, 2011).

Conforme o levantamento bibliográfico realizado, foram identificados para a Formação Santana, até o momento: dois gêneros de *Chondrichthyes*, vinte e seis gêneros de *Osteichthyes* (sendo dois *Sarcopterygii* e os demais *Actinopterygii*; três gêneros de *Amphibia*; cinco gêneros de *Testudines*; dois gêneros de *Squamata*; três gêneros de *Crocodylia*; quatro gêneros de *Dinosauria* não-avianos e dezesseis gêneros de *Pterosauri*) (BOOS E VEGA, 2011).

Assim, atualmente existem 61 gêneros de vertebrados descritos para a Formação Santana, distribuídos entre os membros Crato e Romualdo. Os grupos que se destacam são

Osteichthyes e *Pterosauria*, correspondendo aproximadamente a 70% de todos os gêneros de vertebrados descritos para este depósito (BOOS E VEGA, 2011).

Outra informação que pode ser extraída dos fósseis da Formação Santana é de cunho Paleocológico, pois o ambiente era relativamente fechado, ou seja, com comunicação restrita e temporária com o oceano Atlântico, diminuindo o efeito de fatores como migrações. Isso permite, ainda, comparações com a hierarquia trófica que existia em outras localidades, como já realizado por MAISEY (1994) entre os peixes de Solnhofen (Alemanha) e os da Formação Santana.

2.6.1. PATRIMÔNIO PALEONTOLÓGICO

A problemática em relação ao comércio ilegal de fósseis e a própria perda de conteúdo fossilífero devido à atividade mineira já vem se prolongando desde os primeiros passos da extração do calcário. Tal atividade ficou conhecida mundialmente devido à proliferação de venda de material fossilífero pela internet. Devido a essa questão, grande parte das áreas de extração mineral no Cariri enfrenta até hoje problemas com licenciamento ambiental, tendo em vista que a concessão de lavra inclui somente a extração do calcário ou da gipsita, pois os fósseis, que têm interesse científico, são patrimônio da União.

Portanto, durante a etapa de planejamento e consolidação da APL Cariri, tornou-se necessário que essa questão ficasse acordada entre os produtores, uma vez que a exploração ilegal de fósseis tem ocorrido ainda hoje na região. Foram realizados cursos de capacitação de guias turísticos, seminários, palestras e reuniões de conscientização, junto aos produtores e população. Os assuntos tratados foram, de um modo geral, a importância da proteção do patrimônio natural, geológico e paleontológico e a metodologia adequada para a coleta e identificação de fósseis (VIDAL, 2010).

Dentre as exigências que são de responsabilidade dos mineradores está a de promover o estudo paleontológico das frentes de lavra, bem como a apresentação de um relatório desse estudo, que deverá ser aprovado pelo DNPM.

O marco legal de Proteção dos Depósitos Fossilíferos no Brasil é o Decreto-Lei nº 4146, de 4 de março de 1942, que expõe sobre a proteção dos depósitos fossilíferos como propriedade da Nação e restringe a sua exploração apenas para fins científicos, dependendo de autorização prévia e fiscalização do Departamento Nacional da Produção Mineral (DNPM). Também estão previstas no Código Penal Brasileiro (Decreto Lei nº 2848/40), sanções e

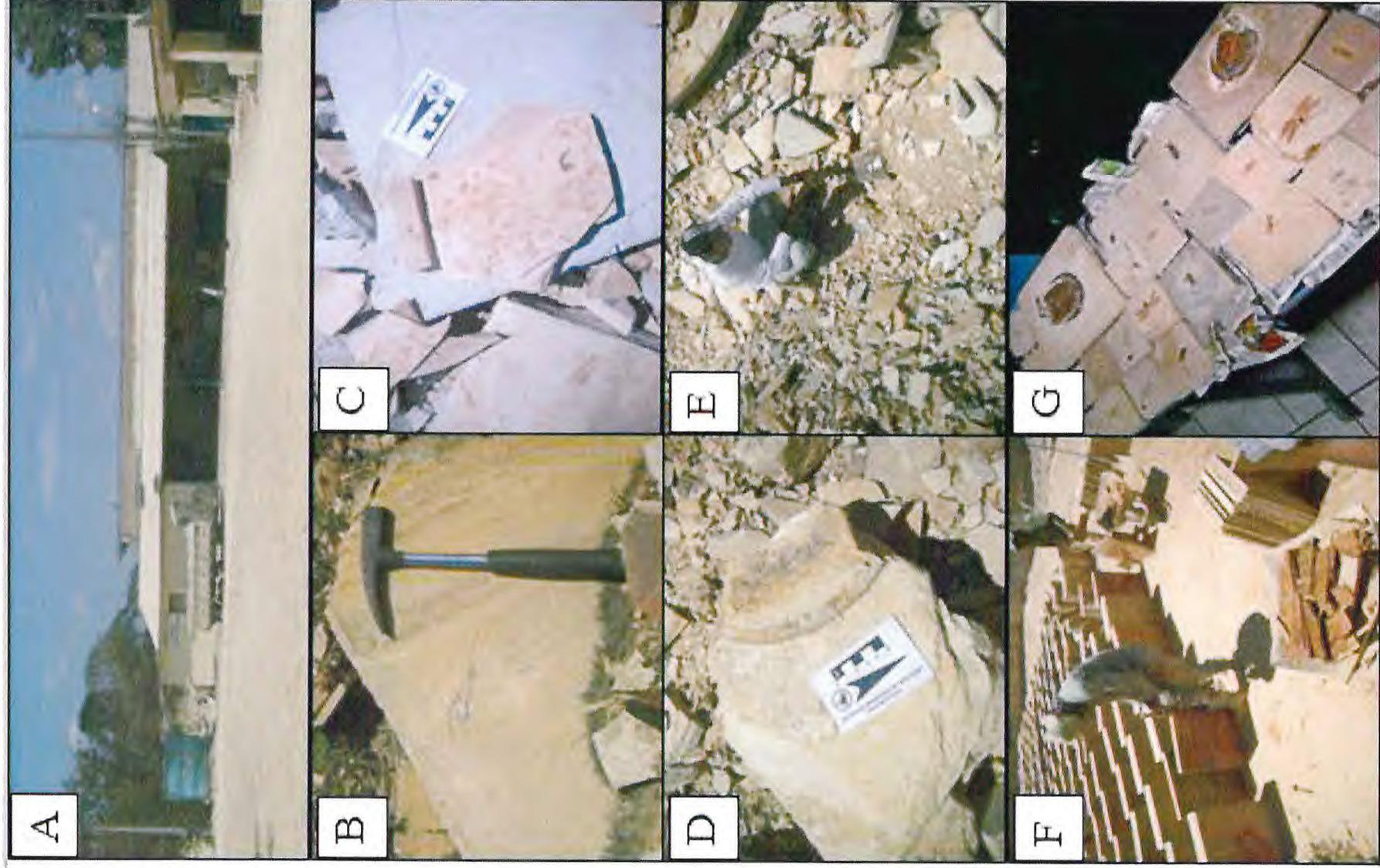
penalidades para destruição, deterioração e apropriação de material fossilífero em território nacional.

Na visita realizada ao local, ressalta-se a presença de uma estrutura denominada Depósitos de Fósseis, reconhecida e fiscalizada pelo DNPM, onde, é armazenado todo o material fossilífero que é encontrado durante as atividades diárias dos produtores locais nas diferentes frentes de lavra do APL. Semestralmente, os fósseis são coletados e pré-selecionados por uma vistoria de técnicos do DNPM que direcionam e identificam o material adequadamente. O depósito também conta com uma área de demonstração aberta a visitação, onde também existem flanelógrafos e guias práticos que ajudam os trabalhadores no reconhecimento dos possíveis fósseis, incentivando e favorecendo a coleta, assim como alertando quanto à ilegalidade do comércio deste material.

Ressalta-se que a identificação e separação dos fósseis encontrados pelos trabalhadores durante, principalmente, o corte dos blocos já na etapa de corte das lajotas, são feitas visualmente sob o critério do operador, visto que essas estruturas fossilíferas, muitas vezes, são de difícil identificação até mesmo de um geólogo ou profissional especializado, necessitando, por vezes, de análises mais específicas em laboratório. Portanto, ainda existe uma considerável perda de material neste aspecto, perante o gigantesco acervo de material que constantemente é encontrado devido à riqueza paleontológica da Formação Santana.

Tal suposição foi evidenciada na visita de campo, quando foram encontradas dezenas de materiais de conteúdo fossilífero, típicos do Membro Crato, abandonados juntamente às pilhas de rejeito. Portanto, é importante que também ocorram, nos projetos que estão sendo desenvolvidos visando o reaproveitamento dos materiais de rejeito, uma capacitação dos operários das pedreiras da região para que seja feita uma identificação e separação dos fósseis, para que possam vir a serem resgatados e posteriormente doados para os museus e laboratórios paleontológicos públicos existentes.

Figura 7 – Aspectos paleontológicos observados em visita à área. A) Depósito de Fósseis da COOPEDRAS; B, C e D) Fósseis e icnofósseis encontrados nas pilhas de rejeito ao entorno das frentes de lavra; E) Demonstração da disposição aleatória dos fósseis nas pilhas; F) Etapa de corte manual das lajotas onde são identificados e separados para serem depositados os fósseis encontrados; G) Local de exposição de exemplares fósseis no Depósito de Fósseis da COOPEDRAS.



Fonte: O Autor.

2.7. ASPECTOS AMBIENTAIS

Nas imediações das áreas requeridas para extração da Pedra Cariri no município de Nova Olinda, os impactos ambientais são diversos, principalmente por conta da geração e estoque de pilhas de rejeitos.

A mineração pelo método de lavra a céu aberto, que é forma de lavra utilizada na extração da Pedra Cariri, por si só já é bastante danosa ao meio ambiente. Para haver esse tipo de mineração, é necessário que haja uma limpeza superficial total na área onde serão abertas as frentes de lavra, acarretando a retirada de toda a vegetação e do solo, gerando danos ambientais praticamente irreversíveis ao local.

Por conta da forma desordenada que ocorre a lavra nessa área, há diversas frentes de lavra no local, onde a maioria dessas frentes encontra-se desativadas e, até, servindo como depósito de rejeitos.

Figura 8 – Frente de lavra desativada e servindo como depósito de rejeito na área da mina de extração da Pedra Cariri em Nova Olinda.



Fonte: O Autor.

A lavra da Pedra Cariri é desenvolvida atualmente de forma aleatória, resultando num plano de aproveitamento com baixas taxas de recuperação. A lavra é desenvolvida, na sua grande maioria, com métodos rudimentares (VIDAL, PADILHA & OLIVEIRA, 2006).

Nessas pedreiras a lavra é feita ou de forma manual ou de forma semi-mecanizada, utilizando máquinas de corte móveis com disco diamantado. Estima-se que a perda na lavra, com a operação manual, atinge até 90% e, com a utilização da máquina com disco diamantado, reduz-se consideravelmente (VIDAL & PADILHA, 2003). A cadeia produtiva da Pedra Cariri, que vai da lavra ao beneficiamento (esquadrejamento) acarreta uma perda de material em torno de 70%. A figura 9 mostra o processo de lavra com a utilização de máquina com disco diamantado na pedreira.

Figura 9 – Corte mecanizado de calcário na mina de extração da Pedra Cariri em Nova Olinda.



Fonte: O Autor.

Como mostrado na figura 10, todo esse rejeito gerado acaba estocado nas minas de maneira aleatória, formando dezenas de pilhas de rejeito que chegam a, até, dezenas de metros de altura e de comprimento.

Figura 10 – Pilha de rejeito na área de extração da Pedra Cariri em Nova Olinda.



Fonte: O Autor.

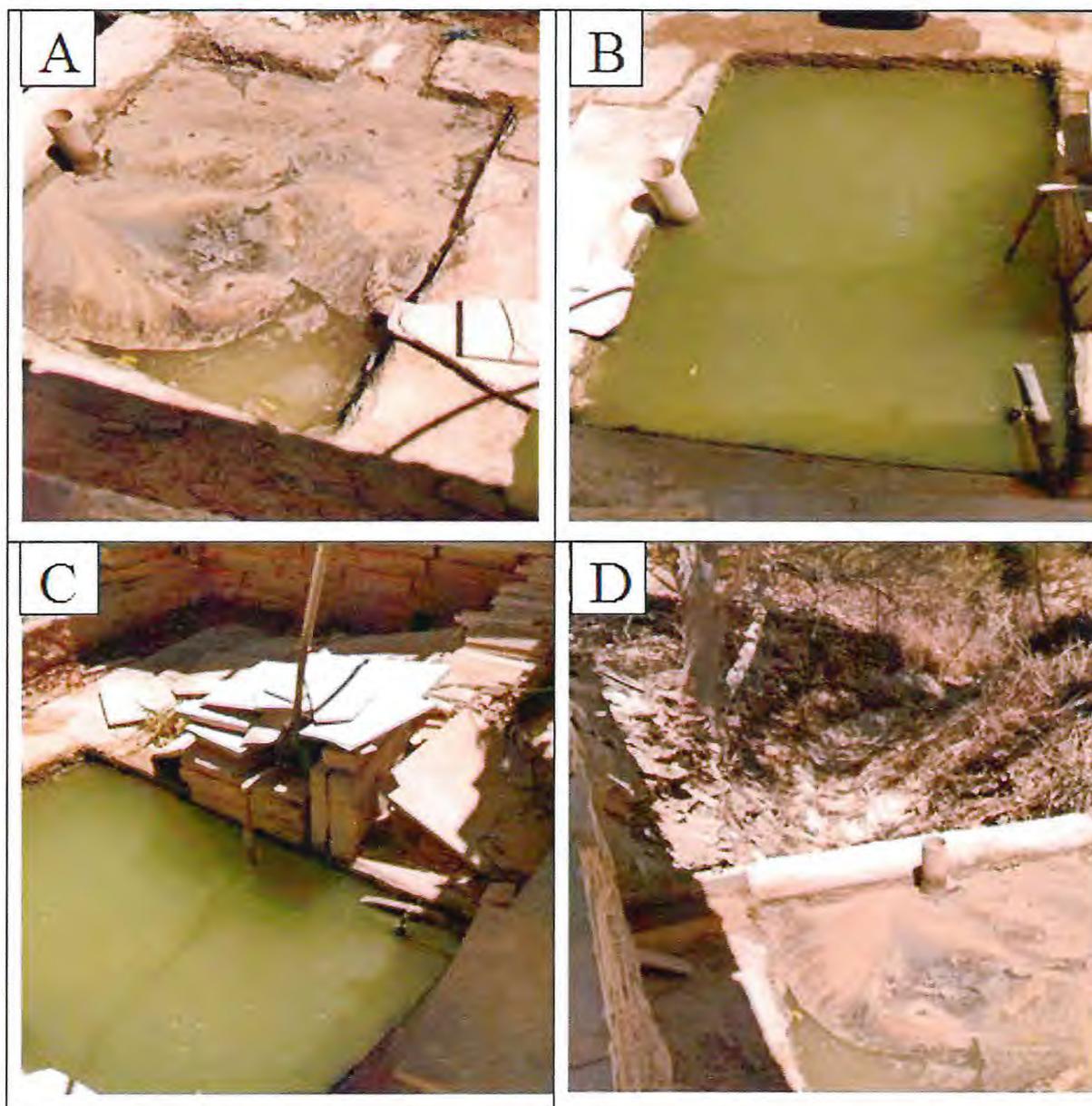
Embora a produção total de Pedra Cariri seja estimada em 100.000 m²/mês, deve-se salientar que é interessante notar que muitos produtores não sabem realmente quanto produzem nem muito menos quanto lucram, e se lucram com o negócio. Ao informar dados de produção mensal, pensam apenas nos meses produtivos, sem considerar os meses de chuva nos quais não há produção, pela impossibilidade de acesso às frentes de lavra (VIDAL, 2010).

Outro problema detectado na mina é em relação ao descarte da lama proveniente do corte e esquadrejamento das lajotas durante o processo de beneficiamento. Na pedreira há diversos pontos de esquadrejamento do calcário, onde, nesses pontos, é feito o corte do calcário em lajotas de acordo com as dimensões exigidas pelo mercado.

Nesses pontos de beneficiamento, o calcário passa por uma máquina de corte, onde tal corte gera uma quantidade muito grande de pó de calcário. Por conta disso, todo o processo de corte é acompanhado de água, para tentar se evitar que esse pó se disperse no ar.

O ponto positivo desse processo, é que a água utilizada nesse processo é reaproveitada, e acontece da seguinte forma, como mostrado na figura 11: a água que passa pelo processo de corte é misturada com o pó e acaba gerando uma lama, onde essa lama escorre e vai morrer num tanque, que fica armazenada durante um tempo até que a maioria do pó presente na água decante. Após decantar esse pó, a água “limpa” é destinada a um tanque vizinho, onde esse último possui um sistema de bombeamento que direciona novamente a água para a sala de corte e, assim, reinicia-se o ciclo.

Figura 11 – Sistema de reuso de água de corte do calcário no beneficiamento. A) Tanque que recebe a lama proveniente do corte do calcário; B) Tanque que recebe a água decantada do último tanque; C) Sistema de bombeamento de água do último tanque; D) Local de descarte da lama decantada no primeiro tanque.



Fonte: O Autor.

O ponto negativo desse processo de reaproveitamento de água no corte, é que a lama decantada na primeira cava é despejada indiscriminadamente no local, causando um acúmulo de lama de calcário nesse solo e, assim, causando danos ao solo local, e conseqüentemente à fauna e flora, como mostrado na figura 11 – D.

Na mina, também há a presença de buracos próximos às frentes de lavra, onde tais buracos possuem cerca de 2 metros de profundidade e diâmetros, e estão cheios de água parada (figura 12). Não se sabe bem qual a origem e o motivo da abertura desses buracos, porém esses buracos geram um risco à segurança local, tão como um risco à saúde, já que pode acabar se tornando um local de proliferação de mosquitos e doenças.

Figura 12 – Buraco com água parada na área da mina.



Fonte: O Autor.

A extração de calcário pode ser prejudicial também para o ciclo local das águas, pois os afloramentos de calcário recolhem as águas das chuvas e a direcionam aos corpos d'água subterrâneos, funcionando como uma caixa d'água natural e eficaz. Além disso, a extração de calcário, inevitavelmente, desfaz as paisagens e destrói os sítios de interesse espeleológico, arqueológico e indígena (SANTI & FILHO, 2004).

A região de estudo, que apesar de ser regida por uma série de parcerias governamentais que em seu regimento tem como primordial objetivo a redução máxima de impactos ambientais, também enfrenta problemas em relação à legislação quanto ao conteúdo fossilífero, de modo que o próprio empreendimento teve seu início bastante associado a estes problemas. Vale também ressaltar que toda a região está dentro da área de abrangência do GeoPark Araripe, cujos principais objetivos também são moldados à manutenção do enorme e vasto patrimônio ambiental da região.

2.7.1. CONCENTRAÇÃO DO REJEITO

Estimativas indicam que a quantidade de material gerado e não aproveitado na fabricação de ladrilhos, alcança valor realmente alto, 70,81%, ou seja, 276,16m³ de um bloco-padrão ou pedreira hipotética de 390,00m³. Deste total, pequena parte é irrecuperável, como no caso de dissolução cárstica (3,93% ou 15,34m³), reduzindo o total para 66,88% ou 260,82m³, o que é um montante muito grande de material que pode ser usado para outros fins. Isto porque, diferentemente da maioria de outras substâncias minerais, as rochas carbonáticas detém vasta gama de usos e outras condições que as classificam como excelentes para serem usadas (OLIVEIRA, 2006).

Foi calculado por Vidal, Padilha e Oliveira (2006) que as quantidades de rejeito de Pedra Cariri para o ano de 2006 eram de 755.000,00 m³ para o município de Nova Olinda e 275.000,00 m³ para o município de Santana do Cariri, formando um total de 1.030.000,00 m³ de rejeito de calcário estocados nas minas.

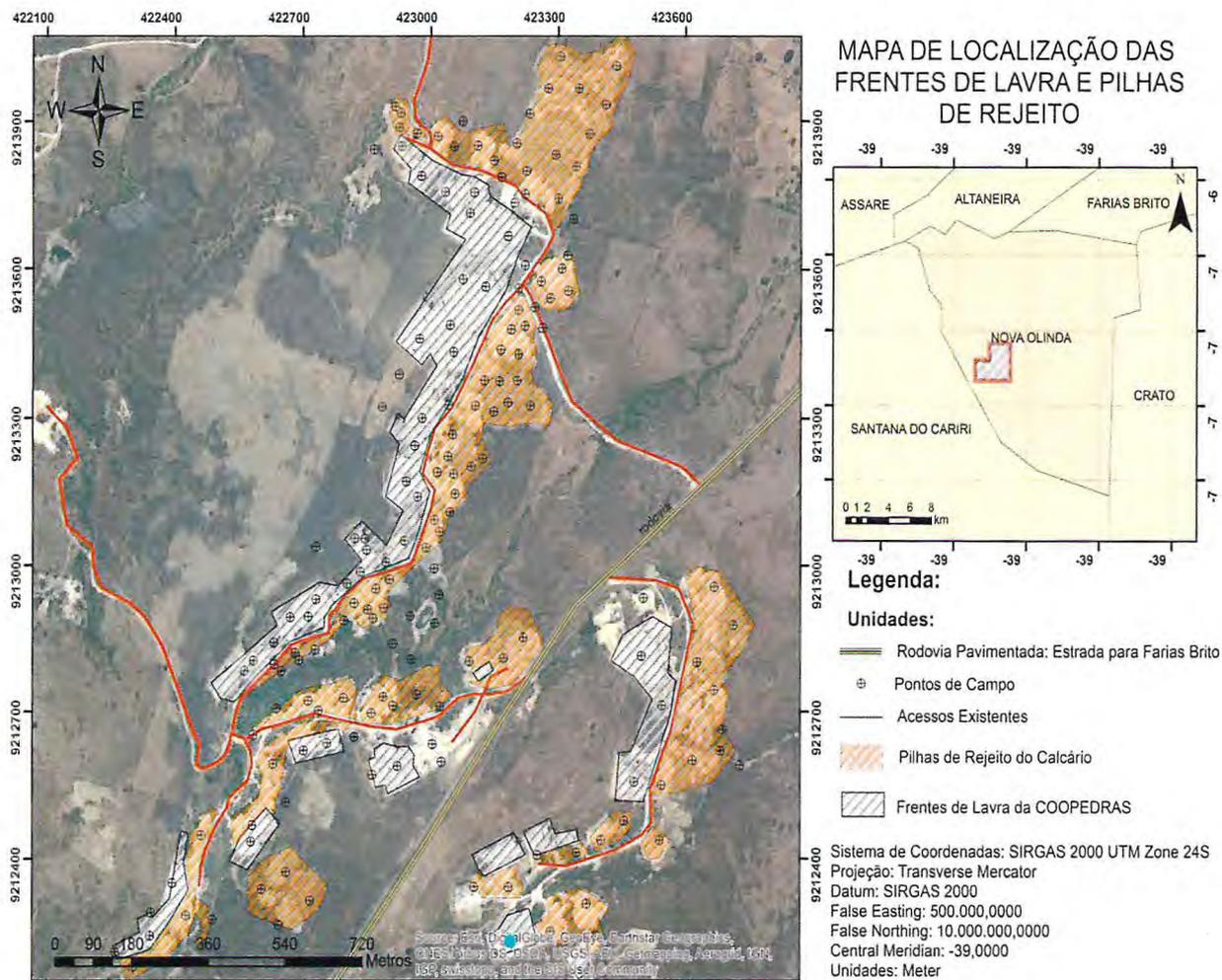
Atualmente esses rejeitos encontram-se estocados nas minas de forma aleatória, sem haver um correto local de armazenamento desse material, que os proteja da ação de fatores climáticos, como sol e chuva. Todo esse material fica espalhado em praticamente toda a área da mina, formando pilhas que podem chegar a mais de 10 metros de altura e até dezenas de metros de comprimento.

Essas enormes pilhas de rejeito são uma ameaça à saúde dos trabalhadores, tal como para o meio ambiente local, já que elas formam taludes com inclinação de alto grau e, assim, havendo risco de deslizamentos desse material na área.

Foi detectado que as pilhas de rejeito estão causando: assoreamento de corpos d'água, derrubada de vegetação, impactos ambientais visuais desagradáveis, além dos riscos de deslizamentos já citados.

A figura 13 mostra a área de estudo, que possui uma área total de 817,47 ha, destacando todas as pilhas de rejeitos presentes e frentes de lavra. Dessa forma, podemos visualizar que as pilhas de rejeitos ocupam mais da metade da área.

Figura 13 – Mapa de localização das frentes de lavra e pilhas de rejeito.



Fonte: O Autor.

2.7.2. APLICAÇÕES PARA O REJEITO

Talvez não haja outras rochas com uma variedade de usos tão ampla quanto calcário e dolomito. Essas rochas são usadas na obtenção de blocos para a indústria da construção, material para agregados, cimento, cal e até rochas ornamentais. As rochas carbonatadas e seus produtos são também usados como fluxantes, fundentes, matéria-prima para as indústrias de vidro, refratários, carga, agentes para remover enxofre, fósforo e outros na indústria siderúrgica, abrasivos, corretivos de solos, ingredientes em processos químicos, dentre outros (LUZ & LINS, 2005).

Como o rejeito da Pedra Cariri possui a mesma composição do próprio calcário utilizado como rocha ornamental, então pode-se dizer que esse resíduo pode ter a mesma destinação industrial do calcário laminado, já que são os mesmos materiais.

O teor médio de 54,0% de CaO, para as amostras de Nova Olinda e Santana do Cariri é em princípio, boa para várias especificações, entretanto a média dos teores de MgO, SiO₂ e Al₂O₃ são baixos, mas podem ser blendados com outros compostos para obter-se um valor mais alto, enquanto que o valor médio de Fe₂O₃ é baixo (CORREIA, VIDAL & RIBEIRO, 2006).

Segundo Correia *et al.* (2006), o calcário laminado da região do Cariri pode ser utilizado na maioria das aplicações industriais dadas às rochas calcárias, que são: formulação de cimento Portland, formulação de cimento branco, brita siderúrgica, cal calcítica, carbureto de cálcio, CaCO₃ ppt médio, CaCO₂ ppt superior, cerâmica branca, refino de açúcar, vidros comuns, vidros especiais, barrilha, indústria têxtil e ração animal. Entretanto, ensaios tecnológicos específicos devem ser realizados para permitir a confirmação desta hipótese.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia utilizada na pesquisa consistiu num experimento de calagem utilizando o pó do rejeito da Pedra Cariri como possível agente neutralizador.

3.1. CALAGEM

3.1.1. CORREÇÃO DA ACIDEZ DO SOLO

A grande maioria dos solos tropicais brasileiros são Latossolos que mesmo dotados de boas características físicas, apresentam em forma quase generalizada características químicas inadequadas, tais como elevada acidez, altos teores de alumínio trocável e deficiência de nutrientes, especialmente cálcio, magnésio e de fósforo (MACHADO, 2015).

A acidez de um solo consiste na substituição dos cátions básicos do complexo de troca do solo por Al^{3+} e H^+ . Os solos podem ser naturalmente ácidos pela pobreza do material de origem desprovido de bases, ou por condições de pedogênese e acúmulo residual de alumínio. A elevada acidez de grande parte dos solos tropicais, em função do elevado intemperismo, condiciona uma alta atividade do alumínio na solução do solo, e uma deficiência de nutrientes. A calagem consiste na aplicação e incorporação de calcário à camada arável do solo, que é a área de maior concentração de raízes, visando a correção da acidez do solo (pH), a neutralização do alumínio tóxico às plantas, e o incremento nos teores de cálcio e magnésio (MACHADO, 2015).

A acidez de um solo é devida à presença de H^+ livres, gerados por componentes ácidos presentes no solo (ácidos orgânicos, fertilizantes nitrogenados, etc). A neutralização da acidez consiste em neutralizar os H^+ , o que é feito pelo ânion OH^- . Portanto, os corretivos de acidez devem ter componentes básicos para gerar OH^- e promover a neutralização (ALCARDE, 2005).

A eficiência da calagem é dependente de vários fatores, entre eles, está relacionada com a área superficial de contato com o solo, que depende da uniformidade da aplicação e da antecedência em relação aos períodos de demanda pelas culturas (Anghinoni & Salet, 2000). Entretanto, na escolha do corretivo alguns aspectos em relação à sua qualidade devem ser observados, principalmente das suas características químicas, como o teor e do tipo de compostos neutralizantes, assim como pelas suas características físicas, que são

determinadas pelo grau de moagem, ou seja, a sua granulometria (TEDESCO & GIAANELLO, 2000; ALCARDE & RODELLA, 2003).

3.2. CORRETIVOS

Corretivos da acidez dos solos são produtos capazes de neutralizar (diminuir ou eliminar) a acidez dos solos e ainda carrear nutrientes vegetais ao solo, principalmente cálcio e magnésio (ALCARDE, 1992).

Os corretivos de acidez são classificados em (ALCARDE, 1992):

a) Calcário: produto obtido pela moagem da rocha calcária. Seus constituintes são o carbonato de cálcio CaCO_3 e o carbonato de magnésio MgCO_3 . Em função do teor de MgCO_3 , os calcários são classificados em: calcítico, com baixos teores de MgCO_3 (menos de 10%); magnésiano, 2 com teores medianos de MgCO_3 (10 a 25%); e dolomítico, com teores relativamente altos de MgCO_3 (mais de 25%). Em função da natureza geológica, os calcários são também classificados em sedimentares e metamórficos. Os primeiros são mais friáveis ou “moles” e o últimos são mais “duros”, porém, os comportamento agrônômico de ambos é semelhante.

Ação neutralizante:



Essas equações mostram que no solo o calcário libera Ca^{2+} , Mg^{2+} e CO_3^{2-} ; a base química, isto é, o componente que proporciona a formação de OH^- é o CO_3^{2-} (e posteriormente o HCO_3^-); o valor da base fraca isto é, a reação de formação de OH^- é relativamente lenta; e o OH^- produzido neutralizará o H^+ do solo, responsável pela sua acidez;

b) Cal virgem agrícola: produto obtido industrialmente pela calcinação ou queima completa do calcário. Seus constituintes são o óxido de cálcio CaO e o óxido de magnésio MgO , e se apresenta como pó fino;

c) Cal hidratada agrícola ou cal extinta: produto obtido industrialmente pela hidratação da cal virgem. Seus constituintes são o hidróxido de magnésio $Mg(OH)_2$; hidróxido de cálcio $Ca(OH)_2$ e o hidróxido também se apresenta na forma de um pó fino;

d) Calcário calcinado: produto obtido industrialmente pela calcinação parcial do calcário. Seus constituintes são $CaCO_3$ e $MgCO$ não decompostos do calcário, CaO e MgO e também $Ca(OH)_2$ e $3 Mg(OH)_2$ resultantes da hidratação dos óxidos pela umidade do ar. Apresenta-se na forma de pó fino;

e) Escória básica de siderurgia: sub-produto da indústria do ferro e do aço. Seus constituintes são o silicato de cálcio $CaSiO_3$ e o silicato de magnésio $MgSiO_3$;

f) Carbonato de cálcio: obtido pela moagem de margas (depósito terrestre de carbonato de cálcio), corais e sambaquis (depósitos marinhos de carbonato de cálcio, também denominado de calcário marinho).

Sua ação neutralizante é semelhante à do carbonato de cálcio dos calcários.

3.3. PROPRIEDADOS CORRETIVAS DO REJEITO DA PEDRA CARIRI

3.3.1.1. PODER DE NEUTRALIZAÇÃO

O poder de neutralização de um corretivo de acidez é determinado analiticamente, fazendo-se uma amostra do mesmo reagir com uma quantidade conhecida e em excesso de ácido clorídrico relativamente diluído (0,5N) e a quente (BRASIL, 1983; KOCHÉ et al., 1989). Dessa forma, é dada oportunidade ao corretivo de exercer toda a sua capacidade de neutralizar o ácido. Posteriormente, determina-se o excesso de ácido e, por diferença, calcula-se a quantidade de ácido neutralizada pelo corretivo. De acordo com o princípio da equivalência química, a quantidade de ácido neutralizada equivale à quantidade de constituinte neutralizante contido na amostra. Ainda pelo princípio da equivalência, seja qual for o constituinte da amostra, considera-se como sendo o $CaCO_3$, que é tomado como padrão. Assim, calcula-se a quantidade de $CaCO_3$ que deveria existir na amostra e o resultado é expresso em “porcentagem equivalente em carbonato de cálcio”

Para análise do Poder de Neutralização, a determinação foi conduzida segundo o procedimento oficial da legislação brasileira (BRASIL, 1983) e também pelo procedimento denominado simplificado. A análise do Poder de Neutralização do pó do rejeito da Pedra Cariri ocorreu no Laboratório de Química Analítica do Departamento de Química da UFC, sob o acompanhamento da Prof. Dra. Helena Becker.

O procedimento foi o seguinte:

1. Preparo do extrato: Reagente – Solução de HCl 0,5 N, padronizada.

Procedimento: (a) Pesou-se 1g da amostra com aproximação de 0,1 mg e transferiu-se para copo de 250 ml; (b) Adicionou-se exatamente 50 ml de solução 0,5 N HCl padronizada, cobriu-se com vidro de relógio e ferveu-se suavemente por 5 minutos; (c) Transferiu-se a suspensão para balão volumétrico de 250 ml já contendo aproximadamente 150 ml de água destilada, esperou-se esfriar, completou-se o volume e filtrou-se.

2. Determinação do PN: Reagentes – Solução de NaOH 0,1 N, padronizada e solução alcoólica de fenolftaleína a 0,5%.

Procedimento: (a) Transferiu-se uma alíquota de 50 ml do extrato para erlenmeyer de 250 ml, acrescentou-se 50 ml de água destilada e 3 gotas de solução de fenolftaleína a 0,5%; (b) Titulou-se com solução de NaOH 0,1 N padronizada até o aparecimento de uma leve cor rosada. Anotou-se o volume gasto; (c) Calculou-se o PN do material, em % CaCO₃ equivalente, pela expressão:

$$\text{PN (\%CaCO}_3) = \frac{25 (10 \times N_1 - V_2 \times N_2)}{G}$$

onde:

N_1 = normalidade da solução de HCl = 0,4975 mol/L

V_2 = volume (ml) da solução de NaOH gasto na titulação = 9,5 ml

N_2 = normalidade da solução de NaOH = 0,10528 mol/L

G = massa (g) da amostra = 1g

Com isso, o valor do PN = 99,37%.

3.4. REATIVIDADE

Reatividade de um corretivo é a velocidade de sua ação no solo, ou seja, a rapidez com que corrige a acidez. A reatividade depende:

- das condições de solo e de clima: quanto maiores forem a acidez do solo, a temperatura e a umidade, maior é a reatividade, razão porque nas regiões tropicais os corretivos são mais reativos do que nas regiões temperadas e frias.

- da natureza química: as bases fortes são mais reativas do que as bases fracas;

- da granulometria: quanto mais fino for o corretivo, maior é a reatividade (BELLINGIERI et al., 1989; ALCARDE et al., 1989).

Para os calcários, foram determinadas taxas de reatividade para as diferentes frações granulométricas, isto é, o percentual de ação do calcário no solo num período de três meses, conforme mostra a tabela 1 (BRASIL, 2004-c).

Tabela 1 – Taxas de reatividade das partículas de diferentes tamanhos do calcário, adotada pela legislação brasileira.

Fração granulométrica		Taxa de reatividade (RE)
Peneiras N ^o (ABNT)	Dimensão (mm)	(%)*
maior que 10	maior que 2	0
10-20	2 a 0,84	20
20-50	0,84 a 0,30	60
menor que 50	menor que 0,30	100

(*) Percentual do corretivo que reage em 3 meses

Fonte: Modificado de Brasil (2004-c).

3.4.1.1. PODER RELATIVO DE NEUTRALIZAÇÃO TOTAL

A ação de um corretivo depende fundamentalmente das características: poder de neutralização (PN) e reatividade (RE). Isoladas, essas duas características não possibilitam uma adequada avaliação da ação do corretivo; por isso foram associadas, dando origem ao índice denominado Poder Relativo de Neutralização Total (PRNT) (BELLINGIERI et al, 1988), que é determinado pela expressão:

$$\text{PRNT} = \frac{(\text{PN} \times \text{RE})}{100}$$

O PRNT é a quantidade (reatividade) do PN do calcário que agirá em 3 meses. Portanto, nesse caso como a granulometria do calcário utilizado no experimento foi menor que 0,177mm (ABNT peneira 80 mesh) para ele poder atingir reatividade de 100%, garante-se que toda a taxa do Poder de Neutralização de 99,37% reagiu nesse período de 3 meses .

No caso, com um PN de 99,37% e reatividade de 100%, o valor de PRNT calculado para o rejeito da Pedra Cariri foi de 99,37%.

3.5. COMPOSIÇÃO QUÍMICA DO MATERIAL UTILIZADO

Na calagem, é de suma importância o conhecimento a respeito da composição química do material utilizado como agente neutralizador da acidez do solo, pois esse material além de neutralizar o pH, também fornecerá nutrientes ao solo, onde esses serão utilizados no desenvolvimento de culturas que poderão ser implantadas posteriormente na área onde houve aplicação do calcário.

Correia *et al.* (2006) realizaram análises químicas nos calcários da região do Cariri, onde os dados da composição química para os municípios da região, com destaque para Nova Olinda, seguem apresentados na tabela 2.

Tabela 2 – Composição química dos calcários dos municípios da região do Cariri, com destaque para o município de Nova Olinda.

Amostra Pedreira	P.F. (*)	Teor(%)										
		CaO	MgO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CuO	K ₂ O	SO ₃	SrO	MnO	P ₂ O ₅
Nova Olinda	42,5	53,9	0,78	1,16	0,270	0,81	0,027	0,041	0,046	0,069	0,19	0,045
Santana do Cariri	43,3	54,0	0,88	0,44	0,089	0,49	0,019	0,024	0,146	0,071	0,18	0,058
Altaneira	42,0	44,3	6,84	4,36	0,281	0,30	-	0,112	-	0,312	0,010	
Farias Brito	42,0	46,2	5,87	2,26	0,287	0,31	-	0,085	-	0,272	0,010	

(*) Perda por calcinação

Fonte: Modificado de Correia *et al.* (2006).

Dessa forma, nota-se que o rejeito da Pedra Cariri pode ser classificado como calcário calcítico, pois o teor de MgO é de 0,78%.

3.6. COLETA DO REJEITO E PREPARAÇÃO

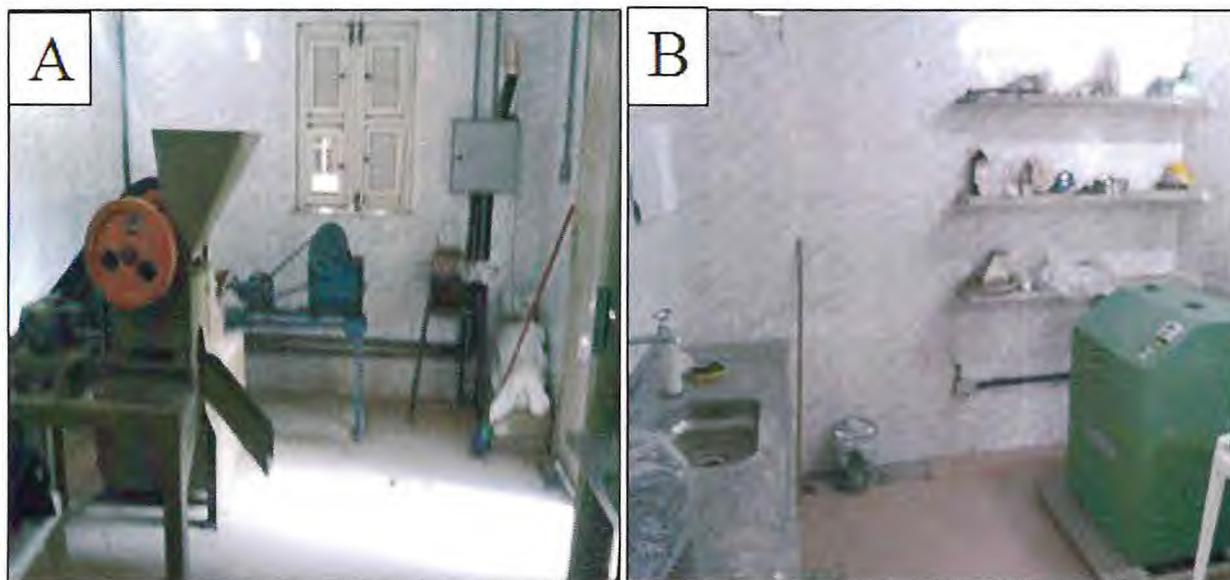
Foram coletados cerca de 10 kg de material nas pilhas de rejeito de calcário calcítico numa mina de Pedra Cariri no município de Nova Olinda, com o cuidado de se separar manualmente materiais que não possuíam conteúdo fossilífero.

Após a coleta, foi feito transporte do material de Nova Olinda a Fortaleza e, por último, foi realizada a moagem no Laboratório de Preparação de Amostras do Departamento de Geologia da UFC.

No laboratório, o processo de moagem e preparação da amostra ocorreu em quatro etapas: na primeira, o material mais grosseiro passou pelo Britador de Mandíbulas, onde foi triturado e transformado num material de granulação semelhante à de britas; na segunda etapa, esse último material foi moído no Moinho de Discos, resultando num material de granulação ainda mais fina que o último; na terceira etapa, o calcário foi moído no Moinho de Peneiras, gerando um pó de granulometria muito fina; na quarta e última etapa, o pó decorrente da última etapa passou por um processo de peneiramento utilizando a peneira de 80 mesh, no

intuito de se separar um pó de granulometria inferior a 0,177mm para ser utilizado no experimento (figura 14).

Figura 14 – Laboratório de preparação de amostra. A) Ao fundo, de cor azul, Britador de Mandíbulas e, à esquerda o Moinho de Discos. B) Moinho de Panelas na cor verde.



Fonte: O Autor.

3.7. SELEÇÃO, AVALIAÇÕES PRELIMINARES E COLETA DE SOLO

Foi realizada uma busca por uma possível área com solo acidificado, no intuito de se utilizar esse solo para utilização no experimento de calagem. Para isso, foram coletadas amostras de solo de uma área de cerca de 300 m² no interior do Campus do Pici da UFC, onde atualmente funciona o Grupo de Estudos e Práticas de Permacultura – GEPPE, ligado ao Departamento de Engenharia Agrícola da UFC. Essas amostras foram enviadas para análise de pH em água no Laboratório de Solos da Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos – FUNCEME em parceria com a UFC, onde o resultado foi um pH 5.1, comprovando que o solo é ácido e, assim, determinando que esse seria o solo utilizado no experimento.

Assim, foram coletadas e enviadas amostras do solo para realização de análise físico-química, com o objetivo de quantificar a acidez (saturação por bases) e o poder tampão, além de se conhecer as propriedades físicas (textura) e químicas (teor de matéria orgânica, conteúdo de Al trocável, e os teores de Ca, Mg, K, Fe, P, O, N).

As amostras foram coletadas em 10 pontos espalhados na área, onde a coleta ocorreu em 3 diferentes profundidades: 0-5cm, 5-10cm e 10-20cm. Os solos das 3 profundidade coletados nos 10 pontos foram homogeneizados em baldes (balde 1: 0-5cm, balde 2: 5-10cm, balde 3: 10-20cm) e enviados para análise no Laboratório de Solos da FUNCEME.

3.8. DETERMINAÇÃO DA NECESSIDADE DE CALAGEM

De acordo com Sousa *et al.* (2007), a Necessidade de Calagem – NC é quantidade de calcário ou corretivo a ser utilizado para adequar a acidez do solo à condição desejada, e depende do tipo de solo e do sistema de produção estabelecido.

São quatro os principais métodos para se estimar a necessidade de calagem dos solos no Brasil: método da solução tampão (SMP), método da saturação por bases, método da elevação dos teores de cálcio e magnésio, método da neutralização do Al^{3+} (ALVAREZ & RIBEIRO, 1999).

No experimento realizado, a indicação da quantidade de calcário a utilizar foi determinada de acordo com Sousa *et al.* (2007), pelo método da saturação da por bases, conforme a equação:

$$NC \text{ (t/ha)} = T \frac{(Ve - Va)}{100}$$

em que:

NC = necessidade de calcário, em t/ha (com PRNT 100%);

Va = porcentagem de saturação por bases desejada;

Ve = é a porcentagem da saturação por bases do solo, fornecida no laudo de análise.

T = CTC (capacidade de troca de cátions do solo) = (H + Al) + K + Ca + Mg + Na.

No caso, a porcentagem de saturação por bases desejada (Va) para o experimento foi de 60%; a porcentagem da saturação por bases do solo (Ve) foi de 39,66% de acordo com o resultado da análise físico-química; e a CTC do solo, de acordo com análise físico-química, foi de 3,6 Cmolc/kg.

Assim, a NC de calagem utilizando do pó do rejeito da Pedra Cariri foi de 0,732 t(toneladas) para 1 ha ou 732 kg/ha. Portanto a dose recomenda do pó do rejeito da Pedra Cariri no experimento de calagem com o solo em questão é de 732 kg por hectare.

3.9. DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

O experimental utilizado foi de delineamento inteiramente casualizado, com 5 tratamentos e 5 repetições para cada tratamento. Assim, foi gerado um total de 25 unidades experimentais.

Cada unidade experimental se deu em um vaso de 5 litros que foi armazenado em estufa, dessa forma, foi preciso calcular a dose recomendada de calcário para os vasos. Como o cálculo da NC mostrou uma dose recomendada de 732 kg/ha, transformando-se esse valor de 1 ha para 5 litros (dm^3), tem-se uma dose recomendada de 1,8g por vaso.

O experimento foi realizado em 5 tratamentos diferentes, onde cada tratamento se deu da seguinte forma:

- Tratamento 1 – T1: 0% da dose recomendada (0g) do pó do rejeito da Pedra Cariri;
- Tratamento 2 – T2: 50% da dose recomendada (0,9g) do pó do rejeito da Pedra Cariri;
- Tratamento 3 – T3: 100% da dose recomendada (1,8g) do pó do rejeito da Pedra Cariri;
- Tratamento 4 – T4: 200% da dose recomendada (3,6g) do pó do rejeito da Pedra Cariri;
- Tratamento 5 – T5: 100% da dose recomendada (1,8g) de um calcário padrão (calcário calcítico comercializado).

O material comercializado utilizado no tratamento 5 foi o calcário calcítico da empresa Mineração Miliane Ltda, onde as suas especificações seguem apresentadas abaixo:

- Cálcio (Ca%) = 38,63
- Magnésio (Mg%) = 0,45
- PRNT = 82,46
- Granulometria: retido 42% na peneira 100 mesh.

3.10. PREPARAÇÃO DOS VASOS

O processo de montagem do experimento iniciou-se numa nova coleta de solo na área de 300 m^2 no interior do GEPPE, portanto foram coletados solos em 10 pontos espalhados ao longo de toda área (figura 15). Em cada um dos 10 pontos, o solo foi coletado

em 3 perfis de acordo com a profundidade: perfil 1 (0 – 5 cm); perfil 2 (5 - 10 cm); e perfil 3 (10 - 20 cm). Lembrando que o volume de solo coletado para o perfil 3 foi o dobro do volume dos outros perfis individualmente, já que a camada de solo do perfil 3 é de 10 cm, enquanto as dos perfis 1 e 2 é de 5 cm cada.

Figura 15 – Área total do GEPPe, com destaque para área de 300 m² no seu interior onde foram coletadas as amostras de solo de acordo com os pontos em amarelo.



Fonte: O Autor.

Depois de realizado o procedimento de coleta, os solos foram armazenados em três baldes, onde cada balde era referente a cada um dos três perfis. Após armazenado, todo o material dos três baldes foi transferido para uma caixa d'água limpa e seca, onde foi feita a mistura do material no intuito de homogeneizar todo o solo a ser utilizado no experimento.

Depois de homogeneizado, todo o solo foi colocado pra secar por um período de 3 dias. Com o solo seco, transferiu-se os mesmos para os vasos, onde foram aplicadas as doses respectivas a cada um dos tratamentos a cada vaso já devidamente etiquetado.

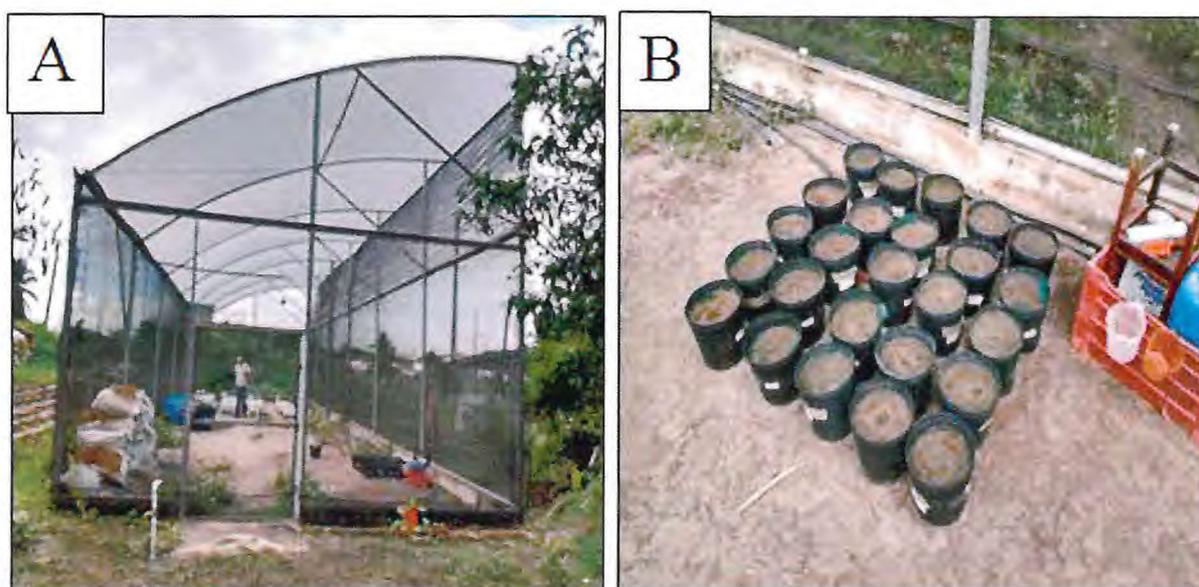
3.11. INCUBAÇÃO

Como o objetivo da pesquisa é testar a eficiência do calcário como corretor de acidez, o experimento de calagem foi realizado em vasos armazenados em estufa e não propriamente na área onde foram coletados. Isso porque em estufa há um controle maior do nível umidade no solo necessário para o calcário reagir mais rapidamente e, também, por conta do controle contra influencias externas (sol, chuva, sombra, raízes etc) que poderiam ocorrer em diferentes intensidades em cada um dos diferentes tratamentos e repetições caso o experimento fosse realizado in loco.

O período de incubação dos vasos na estufa foi de 3 meses, de 30/10/2015 a 29/01/2016, assim dando o tempo e as condições necessárias para o calcário reagir completamente em cada um dos vasos.

A Figura 16 destaca a estufa utilizada no experimento, localizada no setor de Horticultura da UFC, e o arranjo dos vasos no seu interior.

Figura 16 – A) Estufa utilizada no experimento; B) Incubação dos vasos.



Fonte: O Autor.

3.12. AMOSTRAGEM DO SOLO E ANÁLISE

Essa etapa consistiu na coleta de amostras de solo dos 25 vasos ao final do período de 3 meses do experimento, onde essas amostras foram enviadas para análises químicas no Laboratório de Solos da FUNCEME.

Com os resultados das análises químicas, foi feita uma análise comparativa enfocando o teor de neutralização da acidez do solo em cada parcela, assim como a alteração dos parâmetros químicos e composicionais do solo. O objetivo da análise foi o de mostrar a eficiência do pó da Pedra Cariri como corretivo da acidez do solo e como fornecedor de nutrientes.

Os parâmetros do solo avaliados na análise química foram: pH, condutividade elétrica (C.E), cálcio (Ca^{2+}) magnésio (Mg^{2+}), sódio (Na^+), potássio (K^+), acidez potencia ($\text{H}^+ + \text{Al}^{3+}$), acidez trocável (Al^{3+}), soma das bases (SB), complexo de troca catiônica (T), saturação por bases (V), saturação por alumínio (m), PST, carbono (C), nitrogênio (N), matéria orgânica (MO), C/N, fósforo (P).

3.13. ANÁLISE ESTATÍSTICA

De acordo com dados obtidos pelos resultados das análises químicas, foi realizada uma análise estatística no intuito de avaliar se houve variações significativas, de até 5% de probabilidade, nos parâmetros químicos do solo em relação a cada tratamento adotado no experimento.

A análise estatística consistiu em:

- Teste de variância para todos os tratamentos: analisou-se se houve variação significativa, de até 5% de probabilidade, em cada um dos parâmetros químicos do solo em relação à dosagem de calcário aplicadas em cada tratamento;
- Análise de regressão dos tratamentos T1 ao T4: para os parâmetros químicos do solo onde houve variações significativas comprovadas no teste de variância, verificou-se, então, a correlação existente entre as médias dessas variações em cada tratamento em relação às doses do pó do rejeito da Pedra Cariri aplicadas. A representação quantitativa dessa correlação se deu através de gráficos;
- Análise de contraste: analisou-se em quais parâmetros químicos do solo houve alterações significativas, de até 5% de probabilidade, quando comparados os tratamentos T3 e T5.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. ANÁLISE DE VARIÂNCIA

A tabela 3 indica que para as variáveis pH, cálcio (Ca^{2+}), acidez potencial ($\text{H}^+ + \text{Al}^{3+}$), acidez trocável (Al^{3+}), soma das bases (SB), saturação por bases (V) e saturação por alumínio (m), houve variações significativas de até 5% de probabilidade, ou seja, houve variações significativas nessas variáveis em relação à dose de calcário aplicada por tratamento.

Tabela 3 – Análise de variância para os parâmetros químicos do solo, destacando em vermelho as variáveis que obtiveram variações significativas.

Variável	F	Pr > F	Varição
pH	53.84	<0.0001	Significativa
C.E	0.83	0.5208	Não Significativa
Ca^{2+}	8.37	0.0004	Significativa
Mg^{2+}	2.06	0.1241	Não Significativa
Na^+	0.90	0.4836	Não Significativa
K^+	1.19	0.3442	Não Significativa
$\text{H}^+ + \text{Al}^{3+}$	8.92	0.0003	Significativa
Al^{3+}	4.14	0.0133	Significativa
SB	12.42	<0.0001	Significativa
T	0.75	0.5696	Não Significativa
V	29.10	<0.0001	Significativa
m	4.61	0.0085	Significativa
PST	3.25	0.0330	Não Significativa
C	1.34	0.2902	Não Significativa
N	1.37	0.2808	Não Significativa
M.O	1.34	0.2911	Não Significativa
C/N	1.25	0.3221	Não Significativa
P	3.04	0.0412	Não Significativa

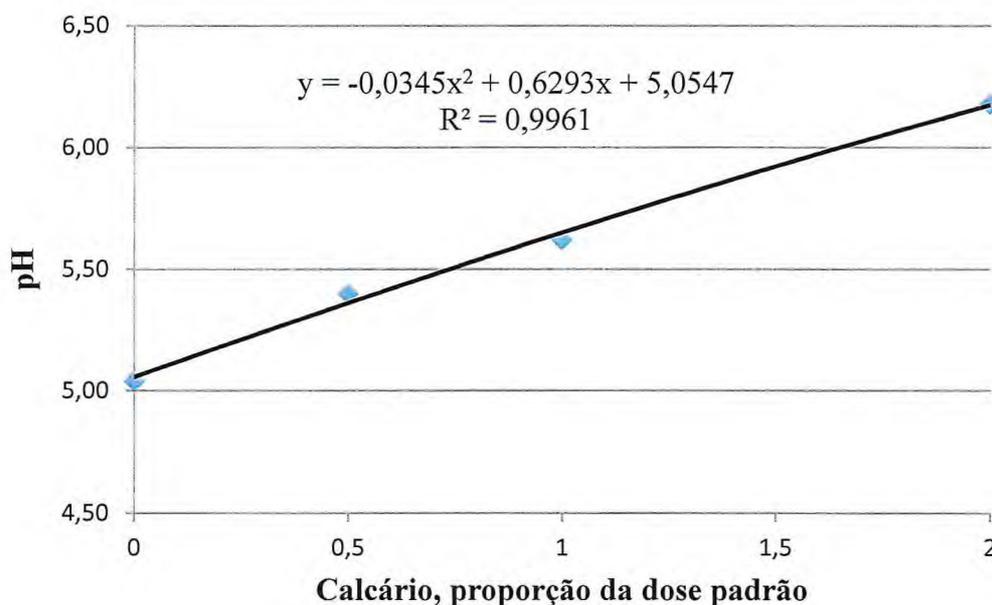
Fonte: O Autor.

4.2. ANÁLISE DE REGRESSÃO

- pH

Como mostrado no gráfico 1, para metade da dose padrão (0,9g) do pó do rejeito da Pedra Cariri aplicada, houve um aumento de 0,36 no pH do solo; já para o valor da dose padrão (1,8g), o aumento no pH foi de 0,58; e para o dobro da dose padrão (3,6g), o aumento no pH foi de 1,14. Assim, percebe-se que há um aumento significativo no pH do solo em relação às doses do pó do rejeito da Pedra Cariri aplicado ao solo, comprovando a eficiência desse material como corretor da acidez do solo.

Gráfico 1 – correlação polinomial positiva entre as variáveis dose de calcário e pH.



Fonte: O Autor.

O valor de R^2 de 99,6% indica um bom ajuste quadrático da variação do pH em função das doses aplicadas em cada tratamento.

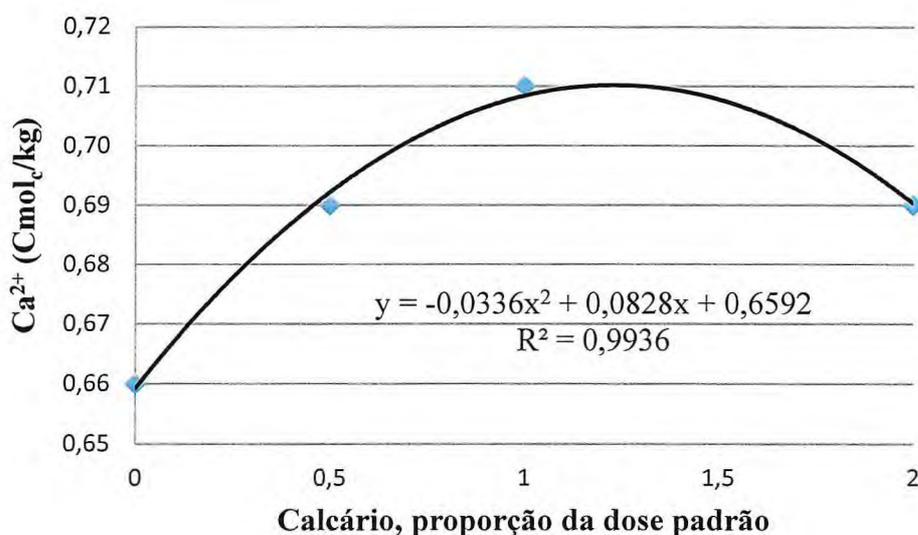
- Cálcio (Ca^{2+})

Para o tratamento em que não houve aplicação de calcário ao solo, o teor de Ca^{2+} foi de 0,66 Cmolc/kg, aumentando para 0,69 Cmolc/kg para uma dose de calcário de 50% do

valor recomendado, e novamente aumentando até 0,71 Cmol_e/kg para a dose recomendada do rejeito da Pedra Cariri. Já para o dobro da dose recomendada de calcário, houve um decréscimo no teor de Ca^{2+} para 0,69 Cmol_e/kg . Assim, os teores de cálcio no solo para o experimento foram crescentes até a dose padrão (1,8g), como mostrado no gráfico 2, onde para dosagens superiores a essa, os teores de Ca^{2+} tendem a decair.

Dessa forma, o rejeito da Pedra Cariri se apresenta como um bom fornecedor de Ca^{2+} ao solo, sendo esse um nutriente de grande importância ao desenvolvimento de plantas. Porém, é necessário cuidado ao avaliar a relação Ca;Mg no solo, pois o aumento de um inibe a ação do outro, e vice-versa. Assim, dependendo da cultura que se deseja plantar utilizando esse material na calagem, é necessário uma avaliação prévia dessa relação.

Gráfico 2 – regressão quadrática mostrando a correlação existente entre as variações nos teores de Ca^{2+} no solo em relação às doses do pó do rejeito da Pedra Cariri aplicadas em cada tratamento.



Fonte: O Autor.

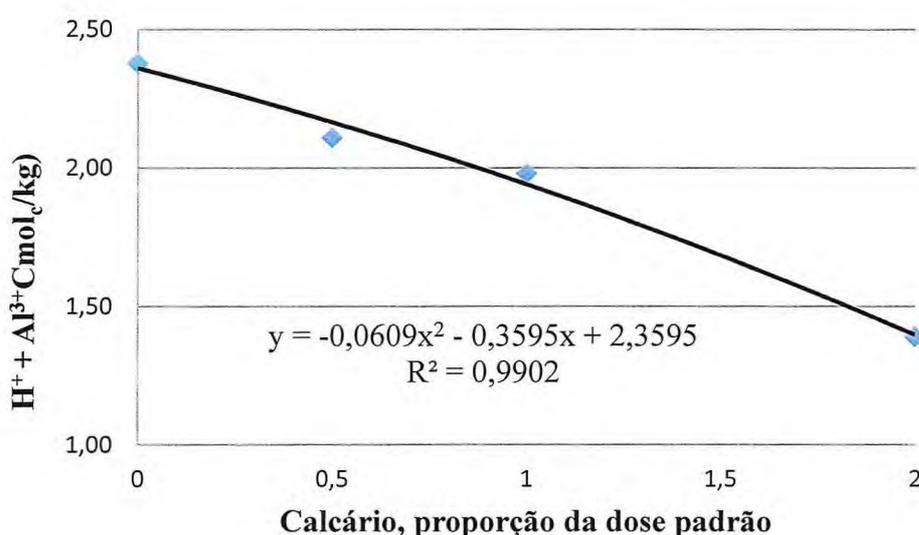
O valor de R^2 indica que as variações nos teores de Ca^{2+} , em função das doses aplicadas em cada tratamento, se ajustam muito bem à linha de tendência.

- Acidez potencial ($H^+ + Al^{3+}$)

O gráfico 3 mostra uma variação negativa na acidez potencial ($H^+ + Al^{3+}$) do solo em relação ao aumento das doses do calcário. Como esperado, nota-se uma relação inversa da acidez potencial do solo em relação ao pH, ou seja, à medida que se aumenta as doses do pó do rejeito da Pedra Cariri no solo, há um aumento do pH e diminuição da acidez trocável.

Logo, esse é mais um fator que mostra a boa capacidade desse material em diminuir a acidez do solo.

Gráfico 3 – regressão quadrática mostrando a correlação inversa entre as doses de calcário aplicadas em cada tratamento e a acidez potencial ($H^+ + Al^{3+}$) do solo.



Fonte: O Autor.

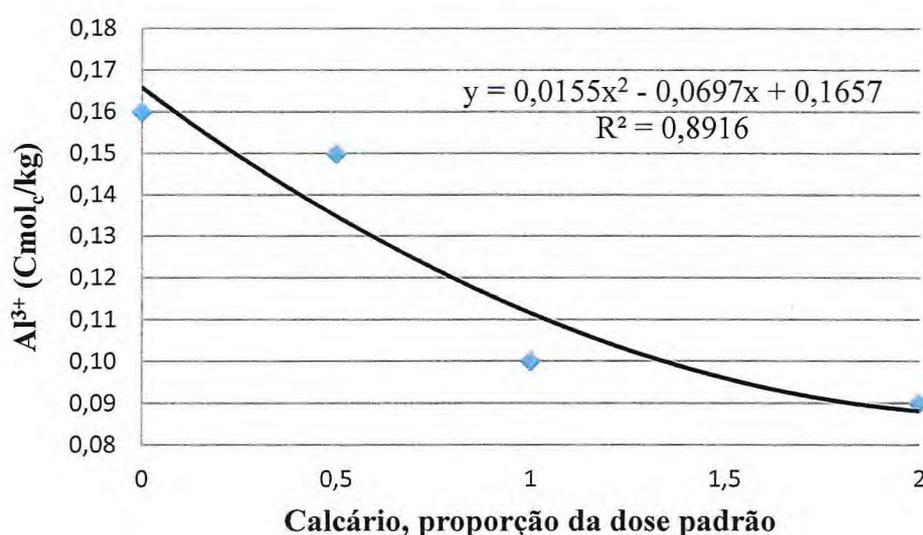
O valor de R^2 indica que a linha de tendência explica muito bem os valores da Acidez Potencia ($H^+ + Al^{3+}$) em função das doses aplicadas em cada tratamento.

- Acidez trocável (Al^{3+})

Outro fator que determina a acidez dos solos é a concentração de íons Al^{3+} no mesmo, chamado de acidez trocável. A acidez trocável apresenta relação inversa com o pH do solo. Portanto, o aumento do pH do solo é uma das alternativas para reduzir ou mesmo eliminar o efeito tóxico do Al (SOUSA et al. 2007).

O gráfico 4 mostra a correlação inversa entre o aumento das doses de calcário e os teores de Al trocável no solo, confirmando uma diminuição desses teores à medida que se aumenta as doses. Assim, há também uma relação inversa entre o pH e a acidez trocável no solo experimentado, pois à medida que se aumenta as doses do calcário, aumenta-se o pH e diminui-se os teores de alumínio trocável no solo. Dessa forma, esse é mais um indicador da eficiência desse material como agente neutralizador da acidez.

Gráfico 4 – regressão quadrática indicando a correlação inversa entre as doses de rejeito da Pedra Cariri aplicadas em cada tratamento e os teores de alumínio trocável (Al³⁺).



Fonte: O Autor.

O valor de R^2 indica que a linha de tendência explica bem as variações nos teores de Al³⁺ em função das doses aplicadas em cada tratamento.

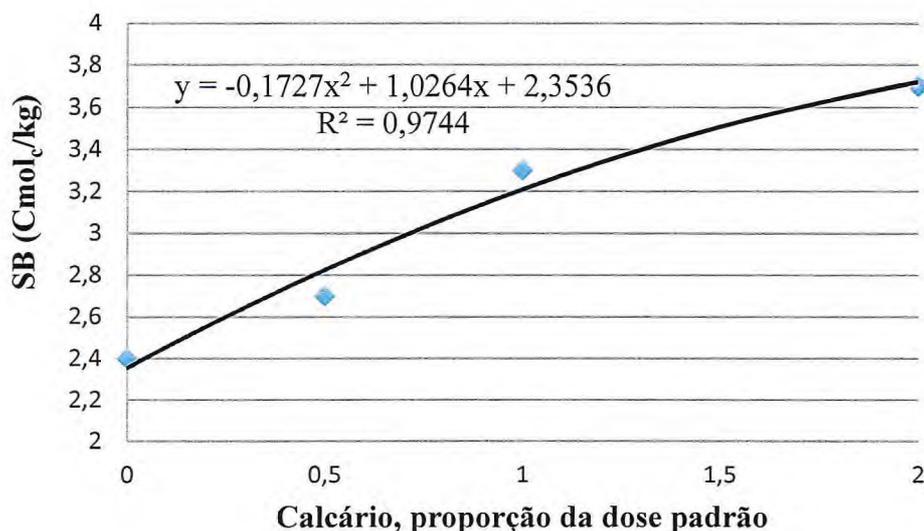
- Soma de bases trocáveis (SB)

A soma de bases trocáveis (SB) de um solo representa a soma dos teores de cátions permutáveis, exceto H⁺ e Al³⁺, ($SB = Ca^{2+} + Mg^{2+} + Na^+ + K^+$) (RONQUIM, 2010). Os teores de bases trocáveis não são teores totais do cátion no solo, são apenas a concentração desses cátions ligados às cargas negativas do solo.

O gráfico 5 mostra que há um aumento na SB do solo experimentado à medida que se aumenta as doses do pó do rejeito da Pedra Cariri, iniciando com um valor de 2,4

Cmol/kg para o tratamento onde não houve aplicação de calcário, e variando até 3,7 Cmol/kg para uma dose do dobro do valor recomendado desse calcário. Assim, nota-se a eficiência desse material no aumento da SB do solo.

Gráfico 5 – regressão quadrática mostrando a correlação entre as doses de pó do rejeito da Pedra Cariri aplicados em cada tratamento e os teores de soma das bases (SB).



Fonte: O Autor.

O valor de R^2 indica que a linha de tendência explica muito bem a variação na Soma das Bases do solo em função das doses aplicadas em cada tratamento.

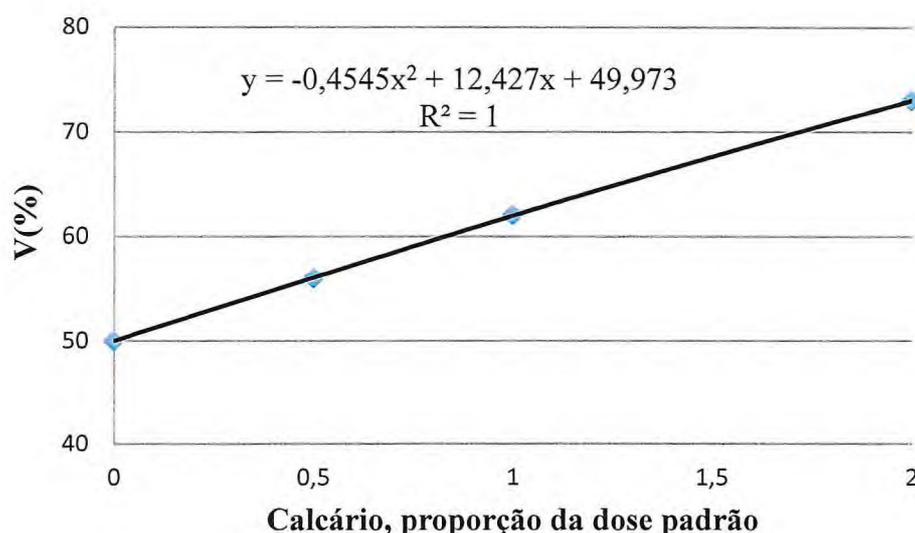
- Saturação por bases (V)

Denomina-se saturação por bases (V) a soma das bases trocáveis expressa em porcentagem de capacidade de troca de cátions. A saturação por bases é um excelente indicativo das condições gerais de fertilidade do solo, sendo utilizada até como complemento na nomenclatura dos solos. Os solos podem ser divididos de acordo com a saturação por bases: solos eutróficos (férteis) = $V\% \geq 50\%$; solos distróficos (pouco férteis) = $V\% < 50\%$ (RONQUIM, 2010).

O gráfico 6 mostra que para o solo sem a aplicação de calcário, o valor de V foi de 50%, estando no limite para a classificação entre solo fértil ou pouco fértil. À medida que se aplicou doses crescentes de calcário no experimento, os valores de saturação por bases do solo

aumentaram, chegando até um valor de até 73%, quando aplicado o dobro da dose recomendada de calcário. Assim, nota-se a eficiência do pó do rejeito da Pedra Cariri no aumento da saturação por bases e, conseqüentemente, na melhoria da fertilidade do solo.

Gráfico 6 – regressão quadrática indicando a correlação entre as doses de rejeito da Pedra Cariri e saturação por bases (V) do solo experimentado.



Fonte: O Autor.

O valor R^2 mostra que a linha de tendência explica em 100% a variação da saturação por bases em função das doses aplicadas em cada tratamento.

- Saturação por Al (m)

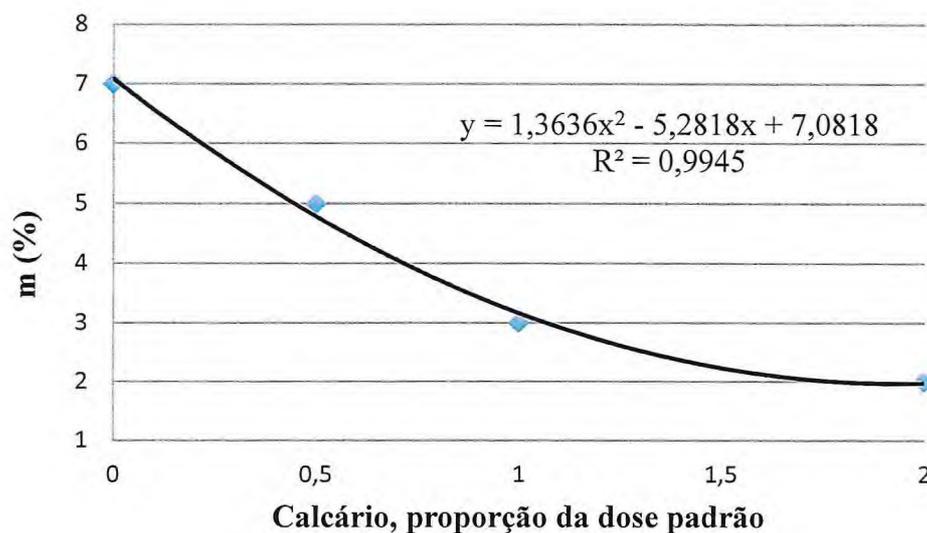
A percentagem de saturação por Al é também um bom indicador da acidez do solo e seu efeito sobre as plantas. O trabalho de Gonzalez Erico (1976) demonstra que, acima de pH 5,4, os níveis de saturação por Al (m) foram inferiores a 10% na camada de 0-15 cm. A concentração de Al na solução do solo depende do pH, da saturação por Al, do teor de matéria orgânica e da presença de outros íons na solução do solo.

O gráfico 7 mostra uma variação negativa na saturação por Al (m) do solo experimentado à medida que se aumenta a dose de calcário em cada tratamento. Comparando esses dados com os valores de pH, nota-se que para o tratamento onde não houve aplicação de calcário, o valor do pH era de 5,04 e m igual a 7%. Já para a dose recomendada de calcário, o

valor da saturação por Al diminuiu para 3%, num pH 5,62. E para o dobro da dose recomendada de calcário, o valor da saturação por Al caiu para 2%, num pH do solo de 6,18.

Assim, comprova-se a eficiência do pó do rejeito da Pedra Cariri na diminuição da saturação por Al à medida que se aumenta o pH do solo.

Gráfico 7 – regressão quadrática mostrando a correlação entre as doses da Pedra Cariri aplicadas em cada tratamento e os valores da saturação por Al (m).



Fonte: O Autor.

O valor de R^2 indica que a linha de tendência explica muito bem a variação na saturação por Al em função das doses aplicadas em cada tratamento.

4.3. ANÁLISE DE CONTRASTE

A análise de contraste realizada entre os tratamentos T3 e T5, ocorreu no intuito de se avaliar as diferenças ocorridas nos parâmetros químicos do solo em relação a cada tipo de calcário utilizado no experimento. Em T3, foi aplicada a dose padrão de 1,8g utilizando o rejeito da Pedra Cariri, e em T5 foi aplicada a mesma dose, porém utilizando um calcário já comercializado.

Como mostrado na tabela 4, a única variável em que houve variação significativa nos valores, a uma probabilidade de até 5%, foi o porcentual de sódio trocável (PST).

O PST representa a porcentagem do sódio em relação aos demais cátions adsorvidos. Seu valor é dado conforme equação (JUNIOR & SILVA, 2010):

$$\text{PST} = \frac{\text{Na}}{(\text{Ca} + \text{Mg} + \text{Na} + \text{H} + \text{Al})} \times 100$$

Assim, o PST é um dos parâmetros que ajudam a classificar os solos quanto ao nível de salinidade.

O resultado da análise de contraste indica uma semelhança muito grande nos efeitos corretivos do rejeito da Pedra Cariri em relação ao calcário calcítico comercializado. Todas as variáveis apresentaram níveis de alterações semelhantes na composição química do solo para os dois calcários utilizados, exceto a variável PST, que indica que para o rejeito da Pedra Cariri houve um aumento no percentual de sódio trocável no solo em relação ao calcário comercializado. Portanto, ao utilizar o rejeito da Pedra Cariri na calagem, pode haver uma tendência dele tornar esse solo mais sódico do que se utilizasse o calcário comercializado utilizado no tratamento 5.

Tabela 4 – Análise de contraste para os parâmetros químicos do solo, destacando em vermelho a variável que obteve variação significativa.

Variável	F	Pr > F	Varição
pH	0.06	0.8051	Não Significativa
C.E	2.82	0.1084	Não Significativa
Ca ²⁺	2.73	0.1141	Não Significativa
Mg ²⁺	0.62	0.4400	Não Significativa
Na ⁺	1.84	0.1904	Não Significativa
K ⁺	0.14	0.7162	Não Significativa
H ⁺ +Al ³⁺	0.56	0.4647	Não Significativa
Al ³⁺	1.22	0.2832	Não Significativa
SB	1.24	0.2787	Não Significativa
T	0.06	0.8033	Não Significativa
V	2.17	0.1563	Não Significativa
m	0.10	0.7521	Não Significativa
PST	5.00	0.0369	Significativa
C	0.00	1.0000	Não Significativa
N	0.00	1.0000	Não Significativa
M.O	0.00	0.9990	Não Significativa
C/N	0.00	1.0000	Não Significativa
P	4.00	0.0593	Não Significativa

Fonte: O Autor.

5. CONCLUSÕES

- O rejeito da Pedra Cariri se mostrou um bom agente neutralizador, pois além de elevar o pH num período de 3 meses de incubação em estufa, foi capaz de reduzir os teores de acidez trocável (Al^{3+}), acidez potencial ($\text{H}^+ + \text{Al}^{3+}$) e saturação por alumínio (m) no solo experimentado.
- Como insumo agrícola, o rejeito da Pedra Cariri mostrou uma boa eficácia, pois elevou os teores de cálcio (Ca^{2+}), de soma bases trocáveis (SB) e saturação por bases (V) do solo experimentado.
- O valor da saturação por bases de 62%, em função da aplicação de 100% da dose recomendada do pó do rejeito da Pedra Cariri no solo, indica que foi alcançado o objetivo de elevação da saturação por bases, determinado no cálculo da Necessidade de Calagem.

Assim, foi comprovado que o rejeito da Pedra Cariri pode ser utilizado para correção da acidez do solo, portanto mais uma aplicação pode ser dada a esses resíduos, no intuito de se diminuir o volume desse material, armazenado em pilhas de rejeitos, no município de Nova Olinda.

REFERÊNCIAS

- ALCARDE, J.C. **Corretivos da acidez dos solos: características e interpretações técnicas.** São Paulo, ANDA, 2005. 24p. (Boletim Técnico, 6).
- ALCARDE, J.C. **Corretivos da acidez dos solos: características e interpretações técnicas.** São Paulo, ANDA, 1992. (Boletim Técnico, 6).
- ALCARDE, J.C.; PAULINO, V.T. & DENARDIN, J.S. Avaliação da reatividade de corretivos da acidez dos solos. **R. bras. Ci. Solo**, Campinas, 13(3):387-392, 1989-b.
- ALCARDE, J. C.; RODELLA, A. A. Qualidade e Legislação de fertilizantes e corretivos. In: **Tópicos em Ciência do Solo**. vol.3. (2003) - Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2003. p.291-334.
- AMARAL, A.S.; ANGHINONI, I. & DESCHAMPS, F.C. Resíduos de plantas de cobertura e mobilidade dos produtos da dissolução do calcário aplicado na superfície do solo. **R. Bras. Ci. Solo**, 28:115-123. 2004.
- ANGHINONI, I.; SALET, R. L. Reaplicação de calcário no sistema plantio direto consolidado. In: KAMINSKI, J. **Uso de corretivos da acidez do solo no plantio direto.** Pelotas: SBCS - Núcleo Regional Sul, 2000. p.41-59.
- ASSINE, M. L., 1992. **Análise Estratigráfica da Bacia do Araripe, nordeste do Brasil.** *Revista Brasileira de Geociência*. Rio de Janeiro, v.22, p 289-300 1992^a.
- Assine, M.L. 2007. **Bacia do Araripe.** *Boletim de Geociências da Petrobras*, 15 (2):371-389.
- ASSINE, M.L. **Sedimentação e Tectônica da Bacia do Araripe, Nordeste do Brasil.** Rio Claro, 1990. 124 p. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista.
- ATLAS dos recursos hídricos subterrâneos do Ceará: Programa Recenseamento de Fontes de Abastecimento por Água Subterrânea no Estado do Ceará.** Fortaleza: CPRM / Serviço Geológico do Brasil, 1999. 1 CD-ROM.
- BELLINGIERI, P.A.; ALCARDE, J.C. & SOUZA, E.C.A. **Avaliação da qualidade de calcários agrícolas através do PRNT.** Anais da Esc. Sup. Agr. “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 45(2):579-588, 1988.
- BELLINGIERI, P.A.; ALCARDE, J.C. & SOUZA, E.C.A. **Eficiência relativa de diferentes frações granulométricas de calcários na neutralização da acidez dos solos, avaliada em laboratório.** Anais da Esc. Sup. Agr. “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 46(2):303-317, 1989.

BEURLEN, K. **A Geologia da Chapada do Araripe**. Academia Brasileira de Ciências, Rio de Janeiro, v.34, n.3, p. 365-370. 1962.

BEURLEN, K. **As condições ecológicas e Faciológicas da Formação Santana, na Chapada do Araripe (Nordeste do Brasil)**. Academia Brasileira de Ciências, Rio de Janeiro, v.43. Suplemento, p.411-415. 1971

BOOS, D.S.; VEGA, C.S. 2011. **Paleofauna de vertebrados registrada na Formação Santana (Cretáceo), Bacia do Araripe, nordeste do Brasil**. Acta Biol. Par., Curitiba, 40 (3-4): 119-127. Depto Geologia, Centro Politécnico, Universidade Federal do Paraná.

BOTTJER, D. J.; W. ETTER; J. W. HAGADORN & C. M. TANG. 2002. **Fossil-Lagerstätten: jewels of the fossil record**. In: BOTTJER, D. J. (ed) Exceptional fossil preservation: a unique view on the evolution of marine life 1-10.

BRASIL. **Decreto-lei nº 4.146, de 4 de março de 1942**. LEX: Dispõe sobre a proteção dos depósitos fossilíferos. Rio de Janeiro, v. 7, 1942.

BRASIL. **Decreto-lei nº 2.848, de 7 de dezembro de 1940**. Código penal brasileiro. LEX. Rio de Janeiro, v. 7, 1940.

BRASIL. Ministério da Agricultura. Secretaria Nacional de Defesa Agropecuária. **Análise de corretivos, fertilizantes e inoculantes: métodos oficiais**. Brasília: LANARV, 1983. 104p.

BRASIL, 2004. **Instrução Normativa no 4, de 02/08/2004**. Secretaria de Apoio Rural e Cooperativismo (SARC). Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA)

CAMPOS, D.A.& KELLNER, A.W.A. 1985. **Panorama of the flying reptiles study in Brazil and South America**. *An. Acad. bras. Cienc.*, **57**(4):453-466.

CONAMA – Conselho Nacional de Meio Ambiente. **Dispõe sobre critérios básicos e diretrizes gerais para a avaliação de impacto ambiental**. Resolução nº 1, de 23 de janeiro de 1986.

CORREIA, J.C.G; VIDAL, F.W.H; RIBEIRO, R.C.C. Caracterização tecnológica dos calcários do Cariri do Ceará. Recife, **Anais do V Simpósio de Rochas Ornamentais do Nordeste**. 65-73p, Pernambuco, 2006.

CRPM – Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. **Perspectivas do Meio Ambiente do Brasil – Uso do Subsolo**. MME - Ministério de Minas e Energia, 2002. Disponível em <http://www.cprm.gov.br/>. Acesso em 14 Ago 2015.

FRANCHINI, J.C.L.; MIYAZAWA, M.; PAVAN, M.A. & MALAVOLTA, E. **Dinâmica de íons em solo ácido lixiviado com extratos de resíduos de adubos verdes e soluções puras de ácidos orgânicos**. *Pesq. Agropec. Bras.*, 34:2267-2276, 1999.

GONZALEZ ERICO, E. **Effect of depth of line incorporation on the growth of corn in Oxisols of central Brazil**. Raleigh, North Carolina State University. 1976. 126p.

HASHIMOTO, A.T.; APPI, C.J.; SOLDAN, A.L.; CERQUEIRA, J.R. 1987. **O neo-Alagoas nas Bacias do Ceará, Araripe e Potiguar (Brasil): caracterização estratigráfica e paleoambiental**. *Rev. Bras. Geoc.*, 17(2): 118-122.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2010. **Censo Populacional 2010**. Disponível em <http://www.ibge.gov.br>, acessado em 15-01-2016.

JUNIOR, J.A.L; SILVA, A.L.P. Estudo do processo de salinização para indicar medidas de prevenção de solos salinos. **Enciclopédia Biosfera, Centro Científico Conhecer**, Goiânia, vol.6, N.11, p. 7, 2010.

KAMINSKI, J.; VOLKWEISS, S. J.; BECKER, F. **Corretivos da acidez do solo**. **Anais do II Seminário**. Santa Maria: UFSM/Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1989. 224 p.

KOCHE, A.; HANASHIRO, J.; SANTOS, A.R.; ROMERO, A.M.S.; LAVIGNE, M.; GUIDOLIN, J.A. & ALCARDE, J.C. **Análise de corretivos agrícolas**. Editora pela associação Nacional para Difusão de Adubos (ANDA), São Paulo-SP, 1989, 30p.

LEONARDI, G. & BORGOMANERO, G. 1981. Sobre uma possível ocorrência de Omithischia na Formação Santana, Chapada do Araripe (Ceará). **Rev. Bras. Geoc.**, 11:1-4.

- LUZ, A.B; LINS, F.A.F. **Rochas e Minerais Industriais: Usos e Especificações**. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2005.
- MABESOONE, J.M. & TINOCO, LM. 1973. **Paleoecology of Aptian Santana Formation (Northeastern Brazil)**. *Palaeogeogr., Palaeoclim., Palaeocol*, 14(2):87-118.
- MACHADO, R.V. **Utilização de rejeitos oriundos do corte de rochas ornamentais na correção da acidez e adubação de solos tropicais**. XVI Jornada de Iniciação Científica – CETEM. Rio de Janeiro, 2015.
- MAISEY, J.G. 1994. **Predador-prey relationships and the trophic level reconstitution in a fossil fish community**. *Environmental Biology of Fishes*. 40: 1-22.
- MAISEY, J.G. 1991. **Santana Fossils: an illustrated atlas**. Tropical Fish Hobbyist Publications, Inc., New Jersey, USA, 459p.
- MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA (Brasil). **Identificação e Caracterização de Arranjos Produtivos de Base Mineral e de Demanda Mineral Significativa no Brasil**. nov. 2006. Disponível em: <<http://www.mct.gov.br/index.php/content/view/40039.html>>.
- MEDEIROS, J. de Deus, 1995. Avaliação de Impacto Ambiental In: **REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA PARA O PROGRESSO DA CIÊNCIA**, 47, 1995, Anais.
- MENEZES, R. R.; NEVES, G. de A; FERREIRA, H. C., 2002. O estado da arte sobre o uso de resíduos como matérias-primas cerâmicas alternativas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** – vol. 6 n°2. Campina Grande.
- NEUMANN, V. H.; CABRERA, L. Una nueva propuesta estratigráfica para la tectonosecuencia post-rifte de la Cuenca de Araripe, nordeste de Brasil. In: **SIMPÓSIO SOBRE O CRETÁCEO DO BRASIL**, 5., 1999, Serra Negra.
- NEUMANN, Virgínio Henrique de Miranda Lopes. **Estratigrafía, sedimentología, geoquímica y diagénesis de los sistemas lacustres Aptienses-Albienses de la Cuenca de Araripe: (Noroeste de Brasil)**. 1999. 294f il. Tesis (Doutorado) - Departamento de Estratigrafía, Paleontología i Geoquímica, Petrología i Prospecció Geológica, Facultat de Geologia, Universitat de Barcelona, Barcelona, (Espanha), 1999.
- NOLLA, A. Correção da acidez do solo com silicatos. In: **SIMPÓSIO SOBRE SILÍCIO NA AGRICULTURA**. 3., Uberlândia, 2004. Palestras. Uberlândia, GPSi/ICIAG/UFU, 2004. CD-ROM.
- OLIVEIRA, A. A., 2006. **Impactos Antrópicos nos Carbonatos Aptianos da Região de Nova Olinda e Santana do Cariri – CE**. Centro de Tecnologia e Geociência da UFPE, 200p. (Tese de Doutorado).
- PAVAN, M.A. **Movimentação de calcário no solo através de técnicas de manejo da cobertura vegetal em pomares de macieira**. *R. Bras. Frutic.*, 16:86-91, 1994.

PONS, D.; Berthou, P.Y. & Campos, D.A. 1990. **Quelques observations sur la palynologie de l'Aptien supérieur et de l'Albien du Bassin d' Araripe.** 241 – 252.

PONTE, F. C. & APPI, C.J. 1990. Proposta de revisão da coluna litoestratigráfica da Bacia do Araripe. In: **CONOR. BRAS. GEOL.**, 36. Natal, 1990. Anais... Natal, SBG. v. I. p. 211-226.

PONTE, F.C. Sistemas deposicionais na Bacia do Araripe, Nordeste do Brasil. In: **SIMPÓSIO SOBRE AS BACIAS CRETÁCIAS BRASILEIRAS**, 2, 1992, Rio Claro. Resumos Expandidos... Rio Claro, UNESP, 1992, p. 81-84.

PONTE, F.C. & PONTE FILHO, F.C. **Estrutura geológica e evolução tectônica da Bacia do Araripe**. Recife: Departamento Nacional da Produção Mineral, 4º e 10º Distritos Regionais, Delegacias do Ministério das Minas e Energia em Pernambuco e Ceará, 68 p., 1996.

PRICE, L.1.1971. **A presença de Pterosauria no Cretáceo Inferior da Chapada do Araripe, Brasil.** An. Acad. bras. Ciênc., 43(supl.):s451-461.

PRICE, L.1.1973. Quelônio Amphychelidia no Cretáceo Inferior do Nordeste do Brasil. **Rev. Bras. Geoc.**, 3(2):84-95.

RIBEIRO, A. C; ALVAREZ, V. H.; GUIMARÃES, P. T. G. **Comissão de fertilidade do solo de Minas Gerais.** Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais – 5º Aproximação, Viçosa, MG, 1999 p.359.

RONQUIM, C. C. Conceitos de fertilidade do solo e manejo adequado para as regiões tropicais. **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento.** Embrapa Monitoramento por Satélite, Campinas: 26 p. 2010.

REDESIST. Rede de Pesquisa em Sistemas e Arranjos Produtivos e Inovativos Locais – **Instituto de Economia da Universidade Federal do Rio de Janeiro** – (2005) – Disponível em: <<http://www.redesist.ie.ufrj.br/>> Acessado em: 13 jan 2016.

SÁ, J.C.M. **Manejo da Fertilidade do solo no plantio direto.** Castro, Fundação ABC, 1993. 94p.

SANTI, A. M. Moura; FILHO, A. O. Sevá. **Combustíveis e riscos ambientais na fabricação de cimento; casos na região do calcário ao norte de Belo Horizonte e possíveis generalizações.** Universidade de Campinas. Campinas, 2004.

SILVA, A.D.A. **Aproveitamento de rejeito de calcário do Cariri cearense na formulação de argamassa.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Mineral) – UFPE/ Centro de Tecnologia e Geociências, Recife, 2008.

SILVA SANTOS, R. & VALENÇA, J.G. 1968. **A Formação Santana e sua paleoictiofauna.** An. Acad. bras. Ciênc., 40(3):339-360.

SOUSA, D.M.G *et al.* **Acidez do solo e sua correlação. Fertilidade do Solo.** SBCS, Viçosa: 70 p. 2007.

TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C. **Escolha do corretivo da acidez do solo**. In: KAMINSKI, J. Uso de corretivos da acidez do solo no plantio direto. Pelotas: SBCS - Núcleo Regional Sul, 2000. p.95-113.

VIDAL, F.L.H. 2010. **Oportunidades e desafios para o fortalecimento do APL calcário Cariri-CE**. Dissertação (Especialização para Formação de Agentes Gestores de Arranjos Produtivos Locais). Universidade de Fortaleza – UNIFOR.

VIDAL, F. W.H; PADILHA, M. W. M. **A indústria extrativa da pedra cariri no estado do Ceará**. Fortaleza, **Anais do IV Simpósio de Rochas Ornamentais do Nordeste**. 199-210p, Ceará, 2003.

VIDAL, F.W.H; PADILHA, M.W.M; OLIVEIRA, R.R. Aspectos geológicos da Bacia do Araripe e do aproveitamento dos rejeitos da Pedra Cariri – Ceará. Recife, **Anais do V Simpósio de Rochas Ornamentais do Nordeste**. 31-36p, Pernambuco, 2006.

VIDAL, F.W.H; CASTRO, N.F. **ARRANJO PRODUTIVO LOCAL (APL) DE BASE MINERAL DOS CALCÁRIOS DO CARIRI – CE**. Relatório Técnico Final de Atividades Realizadas (2005-2009).

VITTI, G.C.; WIT, A. & FERNANDES, B.E.P. **Eficiência agronômica dos termofosfatos e fosfatos alternativos**. In: YAMADA, T. & ABDALLA, S.R.S., eds. Fósforo na agricultura brasileira. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 2004. p.688-726.