Ministério da Educação
Universidade Federal de Pernambuco
Centro de Tecnologia e Geociências
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mineral
PPGEMinas - UFPE

APROVEITAMENTO DE REJEITO DE CALCARIO DO CARIRI CEARENSE NA FORMULAÇÃO DE ARGAMASSA

Achiles Dias Alves da Silva

Engenheiro Civil

Orientador: Prof. Dr. José Lins Rolim Filho.

Recife, 2008

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MINERAL

APROVEITAMENTO DE REJEITO DE CALCARIO DO CARIRI CEARENSE NA FORMULAÇÃO DE ARGAMASSA

Por

Achiles Dias Alves da Silva

Engenheiro Civil

Trabalho realizadono Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mineral-PPGEMinas/CTG/UFPE.

Recife, 2008

APROVEITAMENTO DE REJEITO DE CALCÁRIO DO CARIRI CEARENSE NAFORMULAÇÃO DE ARGAMASSA

DISSERTAÇÃO

Submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mineral da Universidade Federal de Pernambuco como parte dos requisitos para obtenção do Título de:

MESTRE EM ENGENHARIA

Área de concentração: Minerais e Rochas Industriais

por

Achiles Dias Alves da Silva

(Engenheiro Civil)

2008

S586a **Silva, Achiles Dias Alves da.**
Aproveitamento de rejeito de calcário do Cariri Cearense na formulação de argamassa / Achiles Dias Alves da Silva. - Recife: O Autor, 2008.
xv, 79 folhas, il : tabs.,grafs.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mineral, 2008.

Inclui Bibliografia.

1. Engenharia Mineral. 2.Calcário. 3.Industria Cimenteira. 4.Pedra Cariri I. Título.

UFPE

623.26 **BCTG/ 2009-022**

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MINERAL

PARECER DA COMISSÃO EXAMINADORA

DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO DE MESTRADO DE

ACHILES DIAS ALVES DA SILVA

"APROVEITAMENTO DE REJEITO DE CALCÁRIO DO CARIRI CEARENSE NA FORMULAÇÃO DE ARGAMASSA"

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: MINERAIS E ROCHAS INDUSTRIAIS

A comissão examinadora composta pelos professores abaixo, sob a presidência do Dr. José Lins Rolim Filho, considera o candidato.

ACHILES DIAS ALVES DA SILVA, Aprovado.

Recife, 01 de dezembro de 2008.

Dr. José Lins Rolim Filho (Primeiro Examinador-Interno) UFPE

Dr. Francisco Wilson de Hollanda Vidal (Segundo Examinador-Externo)-CETEM

Drª. Felisbela Maria da Costa Oliveira (Terceiro Examinador Interno) – UFPE

Dr. Marcio Luiz de Siqueira Campos Barros (Terceiro Examinador Externo) – UFPE

DEDICATÓRIA

“Toda a sabedoria vem do Senhor Deus, ela sempre esteve com Ele. Ela existe antes de todos os séculos”.

Eclesiástico 1,1

AGRADECIMENTOS

Inúmeras foram as pessoas, empresas e instituições que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização desse trabalho, Registro aqui o meu agradecimento pelo apoio ao final desta importante jornada em minha carreira. Listo aqui aqueles que, sem dúvida, contribuíram de forma mais expressiva:

Primeiramente a Deus, por me dar saúde, disposição e coragem para realizar os meus sonhos e alcançar os objetivos desejados.

A minha esposa Cristina e aos meus filhos, Bruno e Igor, que me proporcionaram condições, e conseguiram transmitir toda coragem e segurança necessária para transpor grande parte dos obstáculos que surgiram ao longo da realização deste trabalho.

Ao meu orientador, Prof. Dr. José Rolim Filho, verdadeiro mestre, que soube compartilhar seus conhecimentos, colaborando para o desenvolvimento deste trabalho e para a minha formação.

Ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Mineral, pela aceitação no referido programa, e por me dar oportunidade, subsídio e incentivo para a conclusão do curso de mestrado, através de seus professores, funcionários e infra-estrutura.

A secretária do Programa PPGMinas, Voleide Barros F. Gomes, pela sua eficiência, dedicação, carinho e paciência, durante todo o desenvolvimento deste trabalho.

Aos Drs. Francisco W. Holanda Vidal, Barral e Maria Angélica B. Lima, verdadeiros mestres e coorientadores, pois souberam compartilhar seus conhecimentos.

Aos Professores do departamento de Engenharia de Minas e de Geologia, Eldemar Menor, Felisbela Maria da Costa Oliveira, Júlio César de Souza, Evenildo Bezerra de Melo, Lucila Ester Prado Borges, Dorival de Carvalho Pinto, Áureo Machado e Márcio Luiz de S. Campos, que direta ou indiretamente, colaboraram para o meu crescimento profissional e para o desenvolvimento desta pesquisa.

Ao Laboratório de Tecnologia Mineral – UFPE, na pessoa do técnico Marcelo Francisco Gomes, por ter colaborado nas análises e classificação do material de estudo.

Á Ezequiel Muniz de Siqueira e a João Maria Cazuza da Rocha, o primeiro técnico de estrutura e o segundo de construção civil, ambos do laboratório de Engenharia Civil da UFPE.

Aos amigos: Adelson Gomes do Prado, Adriana Mauricio Pereira da Silva, Carlos Torres da Silva, Edna Santos, Ely Brasil de A. Luna, Farah Diba da Silva, Oberdan José de Santana, Rosianne Aparecida M. Peixoto, Suely Andrade, pelo companheirismo, paciência, que me ajudaram, direta ou indiretamente, durante todo o tempo em que estive ligado a esta Pós-Graduação.

Aqueles do meio técnico que forneceram informações, contribuindo, direta ou indiretamente, para o enriquecimento do conteúdo desta dissertação, como também, aqueles que iniciaram as pesquisas do assunto deixando suas contribuições.

SUMÁRIO

DEDICATÓRIA..... v
AGRADECIMENTOS..... vi
SUMÁRIO..... viii
LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS..... x
LISTA DE FIGURAS..... xi
LISTA DE GRÁFICOS..... xii
LISTA DE TABELAS..... xiii
RESUMO..... xiv
ABSTRACT..... xv

CAPÍTULO I..... 16

1. INTRODUÇÃO..... 16
1.1 - Generalidade..... 16
1.2 - Justificativa..... 18
1.3 - Objetivo Geral..... 19
1.4 - Objetivo Específico..... 19

CAPÍTULO II..... 20

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA..... 20
2.1 - Estado da Arte..... 20
2.2 - Planejamento Ambiental..... 21
2.3 - Impactos Ambientais..... 22
2.4 - Bacia Sedimentar do Cariri..... 22
2.5 - A Lavra..... 23
2.6 - O Rejeito..... 28
2.7 - O Calcário..... 32
2.8 - A Importância do Rejeito..... 35
2.9 - A Reciclagem..... 35
2.10 - Localização da área de estudo..... 36
2.11 - O Clima..... 38

CAPÍTULO III..... 41

3. MATERIAIS E MÉTODOS..... 41

3.1 - O Material..... 41
3.2 - A Metodologia..... 41
3.2.1 - Homogeneização e quarteamento..... 42
3.2.2 - Pilhas..... 42
3.2.3 - Quarteador Jones..... 43
3.2.4 - Análise Granulométrica..... 45
3.2.5 - Argamassa..... 54
3.2.6 - A mistura..... 56
3,2,7 - O Molde..... 57
3.2.8 - O Enchimento dos Moldes..... 58
3.2.9 - A Cura..... 58
3.2.10 – O Capeamento dos Topos..... 59
3.2.11 – O Ensaio de Resistencia a compressão simples 59
CAPÍTULO IV..... 61

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES..... 61

4.1 - A resistência a compressão..... 61
4.2 - Ângulos de ruptura..... 62
4.3 - Ângulos de atrito interno do material..... 63

CAPÍTULO V..... 69

5. CONCLUSÕES..... 69

5.1 - Conclusões redundantes..... 69
5.2 - Sugestões para trabalhos futuros..... 69

REFERÊNCIAS..... 71

LISTA DE ABREVIATURAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AIA	Avaliação do Impacto Ambiental
APL	Arranjo Produtivo Local
ASTM	American Society For Testing And Materials
CAD	Computer-Aided Design (CAD) desenho auxiliado por computador
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CETEM	Centro de Tecnologia Mineral
CODECE	Companhia de Desenvolvimento do Ceará
DNPM	Departamento Nacional da Produção Mineral
GPS	Sistema de Posicionamento Global
IBACIP	Indústria Barbalhense de Cimento Portland
NBR	Norma Brasileira Registrada
NE	Nordeste
NEG	Laboratório Núcleo de Estudos Geoquímicos
PNMA	Política Nacional do Meio Ambiente
PPGMinas	Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mineral
SE	Sudeste
SUDENE	Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste
UFPE	Universidade Federal de Pernambuco

LISTA DE FIGURAS

2.1 - Método de Lavra manual 24
2.2 - Método de Lavra Semi-mecanizado 24
2.3 - Perfil geológico Esquemático da Jazida 27
2.4 - Carregamento de Rejeito para IBACIP 29
2.5 - Metodologia de Cubagem dos Rejeitos 30
2.6 - Mapa do Ceará 37
2.7 - Nova Olinda – Igreja Matriz 37
2.8 - Santana do Cariri – Localização e Praça 38
2.9 - Classificação de Köppen-Geiger 40
3.1 - Preparação da Pilha Cônica 42
3.2 - A Pilha Cônica 43
3.3 - O Quarteador Jones 44
3.3a - O Quartedor Jones..... 44
3.4 - O Moinho de Rolo 53
3.5 - O Penerador Vibratório 53
3.6 - A Balança 54
3.7a - O Misturador Mecânico 57
3.7b - O Misturador Mecânico 57
3.8 - O Molde 57
3.9 - Câmara Úmida 58
3.10 – Prensa WAM 60
3.11 – Corpo de Prova com substituição da areia por calcário..... 62
3.12 – Corpo de Prova com substituição do cimento por calcário..... 65

LISTA DE GRÁFICOS

3.1 - Análise Granulométrica da amostra 1 49
3.2 - Análise Granulométrica da amostra 2 49
3.3 - Análise Granulométrica da amostra 3 50
3.4 - Material Retido nas amostras representativas 1, 2 e 3 51
3.5 - Material Acumulado nas amostras representativas 1, 2 e 3 51
3.6 - Material Passante nas amostras representativas 1, 2 e 3 52
3.7 - Atrito interno (subst., parcial areia p/calcário) 64
3.8 - Resistência à compressão (subs., parcial areia p/calcário) 64
3.9 - Atrito interno (subst., parcial cimento p/calcário) 67
3.10 - Resistência à compressão (subst., parcial cimento p/calcário) .. 67

LISTA DE TABELAS

2.1 - Reservas medidas do rejeito do calcário Pedra Cariri 31

2.2 - Composição Química do rejeito do calcário Pedra Cariri 31

3.1 - Análise Granulométrica da amostra 1 46

3.2 - Análise Granulométrica da amostra 2 47

3.3 - Análise Granulométrica da amostra 3 48

3.4 - Classificação Granulométrica do total da amostra 52

3.5 - O Traço (substituição parcial da areia por calcário) 55

3.6 - O Traço (substituição parcial do cimento por calcário) 56

3.7 - Resistência à compressão (subst., parcial da areia p/calcário) 61

3.8 - Resistência à compressão (subst., parcial do cimento p/calcário) 61

3.9 - Ângulo de atrito interno (subst., parcial da areia p/calcário) 63

3.10 - Ângulo de atrito interno (subst., parcial do cimento p/calcário) 66

RESUMO

A região do Cariri Cearense na bacia da chapada do Araripe possui um grande potencial de jazidas de calcários de dois tipos: o calcário sedimentar laminado usado como piso e revestimento na construção civil, conhecido comercialmente como Pedra Cariri, e o calcário metamórfico trabalhado em caieiras para fabricação da cal. A mineração é sem dúvida um fator importante no desenvolvimento. Entretanto, os processos de mineração e beneficiamento de calcário sedimentar laminado para fabricação de pisos e revestimentos produzem uma grande quantidade de rejeito responsável por grandes danos ao meio ambiente. Neste trabalho foram feitos ensaios a fim de incorporar o resíduo industrial de calcário em argamassas de cimento e areia de forma a, não só reduzir custos na produção de argamassa, como tornar atrativo o uso deste material por indústrias que possam utilizar esse rejeito como elemento base de seus processos produtivos. O material básico utilizado para este trabalho foi rejeito de calcário sedimentar do Cariri Cearense com granulometria de 48 mesh; cimento Portland CP V-ARI-RS e areia média. O traço utilizado para a argamassa foi de 1:3 com fator água/cimento igual a 0,60. Nesta pesquisa, decidiu-se por realizar a adição do calcário na argamassa em duas etapas distintas: A primeira com substituição da areia pelo calcário em proporções de 5%, 10%, 15%, 20% e 25% do peso da areia, mantendo-se constante o peso do cimento e o fator água/cimento; A segunda com a substituição do cimento pelo calcário, também em proporções de 5%, 10%, 15%, 20% e 25% do peso do cimento, mantendo-se constante o peso da areia e o fator água/pó (cimento + calcário). Tanto na primeira como na segunda etapa foram moldados seis corpos de prova para cada traço, que foram rompidos dois a dois aos 7, 14 e 28 dias. Os resultados obtidos apresentaram condições aceitáveis quando da substituição da areia pelo calcário nas proporções propostas para o trabalho. Conclui-se portanto que é possível compatibilizar a preservação do meio ambiente com o uso de bens minerais, embora rejeito, transformando-os em matéria prima.

Palavras-chaves: Calcário, aproveitamento de rejeitos, indústria cimenteira, Pedra Cariri.

ABSTRACT

The area of Cariri from Ceará in the basin of Araripe possesses a great potencial of two types of limestone: the laminated sedimentary limestone used as floor and covering in the building site, known commercially as Stone of Cariri, and the metamorphic limestone produced in lime-pits for production of the whitewash. The mining is without a doubt an important factor in the development. However the mining and industrialization processes or the sediment laminated limestone for production of floors and coatings, produces a great amount of rejects responsible for great damages to the environment. In this work were made tests in order to incorporate the limestone in cement and sands mortars in way not only to reduce costs but to turn attractive the use of this material for industries that can use this rejects as base element in its productive processes. The material use for this work was a sediment limestone reject of the Cariri from Ceará with 48 mesh size; cement Portland CP V-ARI-RS and sand with medium size. The volumetric line used was of 1:3 with water/cement factor same to 0,60. In this research, was decided to accomplish the addition of the limestone in two different stage: the frist with the substitution of sand for limestone in volumetric proportions of 5%, 10%, 15%, 20% and 25%, staying constant the cement volume and the water/cement factor; and the second with the substitution of cement for limestone, also in volumetric proportions of 5%, 10%, 15%, 20% and 25%, staying constant the volume of de sand and the water/pounder factor (cement + limestone). So much in the first as in the second stage were moulded six proof bodies for each line, that were broken two to two respectively to the 7, 14 and 28 days. The obtained results presebted when the substitution of the cement for the limestone in proportions between 15% and 20% with a small compression resistance loss compared to the line with 0% of limestone addition. We conclude that is possible to make compatible the preservation of the environment with the production of mineral goods, transforming rejects of limestone in raw material.

Word-key: Slime, rejects use, cement industry, Cariri stone.

CAPÍTULO I

1. INTRODUÇÃO

1.1 – Generalidade

O Homem tem causado impactos na Natureza e isto é fonte de grande preocupação para as autoridades governamentais em todas as esferas, federal, estadual e municipal, em virtude de modificações negativas que afetam o equilíbrio ecológico do meio.

O desenvolvimento social e econômico de uma população, quanto ao aspecto de moradia, traz consigo mais exigências no que diz respeito às construções e mudanças no habitat, o que desperta interesse de entidades públicas e particulares no sentido de conciliar as alterações necessárias com o ponto de vista conservacionista.

Existe, no entanto, um confronto entre a falta de modelos globais e as soluções ecológicas que podem mitigar os impactos, sem necessariamente deixar que as obras sejam realizadas. Observa-se na prática, porém, que a ação é levada visando mais o lado econômico imediatista do que a preservação ambiental.

O que vem ocorrendo com a explotação dos calcários laminados, material comercialmente conhecido como Pedra Cariri, consumido no Ceará e estados vizinhos, é um exemplo do que não se deve fazer. Os prejuízos, diretos e indiretos, causados por ineficiência da lavra e o rudimentalismo técnico é muito grande dos pontos de vista econômico social e ecológico. Em geral, enquanto os recursos financeiros e humanos são escassos, os problemas ambientais são múltiplos.

Nas últimas décadas, foram realizados muitos trabalhos de planejamento ambiental, zoneamento ecológico-econômico, ordenação do território, planejamento do meio físico e ecologia da paisagem. Para esse fim adotaram-se diferentes enfoques e metodologias, com foco de atenção em aspectos temáticos e âmbitos geográficos muito distintos.

Um planejamento ambiental inclui o zoneamento geoambiental que tem como objetivo a ordenação territorial do uso dos espaços, segundo suas características bióticas e abióticas (recursos naturais e qualidade ambiental, análise sócio-econômica e padrões de uso da terra).

No entanto, para haver um zoneamento territorial racional e viável, é imprescindível o conhecimento aprofundado do local selecionado. Aliado a isso deve se considerar o fato de que a sociedade atual está exigindo progressivamente uma melhoria na qualidade de vida, o que está intimamente ligado à qualidade do meio.

De acordo com a Lei nº. 6.938, de 31/08/1981 que dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente PNMA, o zoneamento ambiental é um dos instrumentos da Política Nacional do Meio Ambiente, que visa assegurar em longo prazo, a eqüidade de acessos aos recursos ambientais naturais, econômicos e sócios culturais.

Os resíduos da mineração e beneficiamento de rochas estão sendo largamente estudados em virtude do grande impacto ambiental provocado quando descartados indiscriminadamente na natureza e do enorme potencial que possuem como matérias-primas. 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.

A preocupação crescente com este tipo de resíduo baseia-se também nos elevados índices de crescimento do setor mineral em todo mundo, especialmente no que diz respeito às rochas para fins ornamentais. Este fato que, aliado ao elevado desperdício do setor (que pode chegar a 70%, em massa, do total produzido) gera um cenário altamente preocupante tanto para ambientalistas como para a sociedade em geral.

O meio científico vem buscando dar sua contribuição à reciclagem de resíduos industriais, desenvolvendo pesquisas visando o aproveitamento de resíduos minerais, como insumos industriais.

1.2 - Justificativas

O desconhecimento quase que completo de informações sobre esse seguimento industrial, decorrente da falta de estudo e pesquisa sobre o assunto, no âmbito regional, e a falta de comunicação com os demais profissionais envolvidos resulta muitas vezes em um produto final com pouca ou até mesmo sem nenhuma competitividade, com conseqüências imprevisíveis quanto ao desempenho do próprio investimento.

Ciente das grandes reservas, de calcário existente na região e o fato de que a industrialização do calcário é uma atividade econômica em expansão com perspectiva crescente de novos mercados, torna este projeto extremamente atraente do ponto de vista técnico, científico, econômico e social. Pois além de minimizar os danos causados ao meio ambiente, decorrente do uso indevido dos resíduos sólidos da indústria mineradora ou rejeito de mineração, tem por finalidade proporcionar aos pequenos mineradores meios de obtenção de um melhor retorno econômico.

Este material já é utilizado para cimento com resultados excelentes para esta aplicação.

1.3 - Objetivo Geral

O objetivo deste trabalho é mostrar que é possível compatibilizar a preservação do meio ambiente com a produção de bens minerais através da utilização de rejeitos de calcário, como matéria prima industrial.

1.4 - Objetivo específico

O objetivo específico deste trabalho é a utilização do rejeito do calcário sedimentar, da micro região do Cariri Cearense, gerado na produção da Pedra Cariri, como componente economicamente viável na formulação de argamassa.

CAPÍTULO II

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 – Estado da arte

Neste capítulo, a pesquisa bibliográfica priorizou as informações mais recentes e disponíveis, que retratam a geração de rejeitos industriais suas causas e seus efeitos negativos ao meio ambiente, bem como o seu aproveitamento como matéria prima alternativa nos diversos setores da indústria.

Dentre as publicações contemplou-se uma revisão em diversos periódicos técnicos e científicos, teses, consulta a livros textos e artigos atuais relacionados com o tema.

O objetivo final deste estudo é o aproveitamento do rejeito de calcário sedimentar laminado na formulação de argamassa sem que a mesma apresente mudanças que venham a influenciar suas propriedades físicas e resistivas.

Foi dada maior ênfase às publicações em que foram abordados a avaliação do impacto ambiental e o aproveitamento do rejeito para uso como matéria prima alternativa.

Há necessidade urgente de planejamento ambiental para as áreas de extração dos calcários laminados a fim de se evitarem maiores riscos e danos a região (Oliveira 2006).

Dentro do tema planejamento ambiental, segundo Almeida et al. (1984), será dada ênfase ao planejamento ecológico, que constitui expressão bastante restrita e enfatiza o conhecimento dos recursos naturais a fim de garantir a sobrevivência a longo prazo desses bens.

2.2 - Planejamento Ambiental

Nas últimas décadas, foram realizados muitos trabalhos de planejamento ambiental, zoneamento ecológico-econômico, ordenação do território, planejamento do meio físico e ecologia da paisagem. Para esse fim adotaram-se diferentes enfoques e metodologias, com especial atenção em aspectos temáticos e âmbitos geográficos muito distintos.

Segundo Cendrero (1982), o planejamento ambiental ou territorial é definido, de forma ampla e generalizada, como: uma atividade intelectual pela qual se analisam os fatores físico-naturais, econômicos, sociais e políticos de uma zona (um país, uma região, uma província, um município etc.) e se estabelecem as formas de uso que consideram adequadas para ela, definindo sua amplitude, localização e fazendo recomendações sobre normas que devem regulamentar o uso do território e de seus recursos na área considerada.

Um planejamento ambiental inclui o zoneamento geoambiental que tem como objetivo a ordenação territorial do uso dos espaços, segundo suas características bióticas e abióticas (recursos naturais e qualidade ambiental, análise sócio-econômica e padrões de uso da terra).

No entanto, para haver um zoneamento territorial racional e viável, é imprescindível o conhecimento aprofundado do local selecionado. Aliado a isso deve se considerar o fato de que a sociedade atual está exigindo progressivamente uma melhoria na qualidade de vida, o que está intimamente ligado à qualidade do meio ambiente.

De acordo com a Lei nº. 6.938, de 31/08/1981 que dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente PNMA, o zoneamento ambiental é um dos instrumentos da Política Nacional do Meio Ambiente, que visa assegurar em longo prazo, a eqüidade de acessos aos recursos ambientais naturais, econômicos e sócios culturais.

2.3 - Impactos Ambientais

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 auxilio a 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.

2.4 - Bacia Sedimentar do Cariri

A Bacia Sedimentar do Cariri é uma das mais importantes do mundo devido à enorme quantidade e qualidade de preservação de fósseis. Está inserida na formação Santana que se constitui um importante sítio geológico e paleontológico do Brasil, situado na região Nordeste. Esta unidade é parte integrante da bacia sedimentar do Araripe. Litologicamente compõe-se de estratos horizontalizados de calcário intercalados a folhelhos silticos e arenitos, depositados durante o Cretácio Inferior (cerca de 120 milhões de anos) e é uma importante jazida de calcário, atualmente explotado para a indústria de rochas para fins ornamentais.

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 do aumento de zonas de erosão. Esse fato sucinta certa urgência em medidas de preservação como a criação de parques temáticos, incrementando a economia regional com atividades eco-turísticas. (Viana e Newmann 2007).

2.5 - A Lavra

No método e processo de lavra e beneficiamento da Pedra Cariri, na região dos municípios de Nova Olinda e Santana do Cariri, verifica-se, em todas as suas etapas, uma grande quantidade de material desperdiçado, devido à utilização de tecnologias inadequadas às condições das jazidas, além da falta de acompanhamento técnico especializado.

A lavra é conduzida de modo seletivo, a céu aberto, tendo as frentes, normalmente, uma forma de salão, com dimensões de 20 a 30 m de largura por 30 a 40 m de comprimento, podendo, com a retirada do material, se desenvolver para os lados e para baixo. A primeira etapa da lavra consiste na limpeza da cobertura do solo para a retirada da vegetação, camadas argilosas e do calcário intemperizado. Esse volume de material depende de cada afloramento, em alguns casos o capeamento é da ordem centimétrica, atingindo-se logo a rocha sã; em outras atinge cerca de 10 a 15 metros.

O avanço da frente de lavra ocorre de fora para dentro e para baixo, ou seja, qualquer que seja a tecnologia empregada para a retirada das placas, o material não aproveitável (material friável, sobras e placas arqueadas) é retirado manualmente ou através de carro de mão e empilhado próximo da frente de lavra, provocando um estrangulamento da mesma. Com a continuidade do avanço, o volume de rejeito aumenta, formando pilhas de material que chega algumas vezes a ultrapassar o nível de bancada em lavra.

A lavra na década de 90 era então desenvolvida, na sua grande maioria, através de métodos rudimentares resultando num plano de aproveitamento com baixas taxas de recuperação, conforme figura 2.1.

Figura 2.1 – Método de lavra Manual
Fonte: Vidal (2005). Aspecto do aproveitamento dos rejeitos da Pedra Cariri

Contudo, a partir de 2000, essa lavra passou a ser conduzida de forma semimecanizada, através da utilização de máquinas de corte móveis, acionadas por eletricidade, com disco diamantado como mostra a figura 2.2.

Figura 2.2 – Método de lavra semi-mecanizado
Fonte: Vidal (2005). Aspecto do Aproveitamento dos rejeitos da Pedra Cariri

O diâmetro do disco varia de 350 a 400 mm, permitindo um corte em placas de calcário, com profundidade não ultrapassando a espessura de 18

cm. Após esta etapa, as lajes são subdivididas em placas, que são selecionadas e transportadas para o beneficiamento nas serrarias, onde são esquadrejadas em dimensões compatíveis à sua aplicação, geralmente medindo 40 X 40 cm, 50 X 50 cm, 30 X 30 cm, 20 X 20 cm e 15 X 30 cm, ou em tiras, com espessuras das placas variando de 10 a 30mm.

Convém salientar que graças à baixa abrasividade do calcário, este permite a viabilização dessa tecnologia com a vida útil do disco de corte bastante longa.

A atividade descrita gera, nas frentes de explotação, uma grande quantidade de rejeitos, os quais são prejudiciais ao meio-ambiente, formando entulhos, que dificulta a lavra e o acesso ao pátio de movimentação, bem como gerando um impacto visual desagradável. Estima-se que a perda na lavra, com a operação manual, atinge a 90% e, com a utilização da máquina com disco diamantado, reduz-se consideravelmente para 60% (Vidal e Padilha, 2003).

Toda a cadeia produtiva, compreendendo as etapas de lavra e beneficiamento, acarreta uma perda total em torno de 70%. Em ambos os casos, não é dada a devida atenção às características geológicas das jazidas, como fraturas, basculamentos, etc., dificultando a lavra e aumentando consideravelmente a produção de rejeitos. Esse fato foi observado através de visitas técnicas realizadas por técnicos do CETEM/CODECE em pedreiras da região.

De posse dessas informações foi realizada de maneira participativa e cooperativa a organização de oficinas de trabalho, onde foi apresentada a matriz gargalos versus sugestões, ou seja: organização de uma plataforma, através de rede de cooperação com instituições parceiras locais, estaduais e federais, para dar apoio técnico, visando à elaboração de um plano de ação, especifico para o calcário cariri, através das redes dos chamados Arranjos Produtivos Locais – APL´s. (Vidal e Padilha, 2005).

Ainda segundo Vidal (2005), no contexto geral, a *Bacia geológica do Araripe* tem extensão regional, englobando os estados do Ceará, Piauí e Pernambuco, com uma área total de 9.000 km², disposta no sentido Leste-Oeste por cerca de 180 km e Norte-Sul por cerca de 70 km, no seu trecho mais largo.

Os calcários laminados da Formação Santana, por sua abundância, constituem-se em uma das mais importantes representações do Cretáceo cearense.

Esta formação de origem marinho-lacustre apresenta uma seqüência sedimentar estratificada, quase horizontal, com siltitos argilosos, margas com concreções calcárias e bancos calcários, gipsita, calcários laminados, siltitos e folhelhos betuminosos com cerca de 250m de espessura depositada em extensa área, formada no Mesozóico, mais precisamente no período Cretáceo, iniciado há cerca de 135 milhões de anos, prolongando-se por 65 milhões de anos. São 3 (três) as fases de desenvolvimento da Formação Santana, a saber:

A primeira apresenta camadas calcárias argilosas e sílticas, finamente estratificadas e laminadas, que representam um depósito lacustre de água doce;

A segunda é constituída por camadas de gipsita e de calcários fossilíferos sob condições salinares, devido à ingressão marinha, procedente do oeste e a forte evaporação, reinando na época um clima árido;

A terceira é composta de camadas argilosas e sílticas, depositadas sob condições de clima úmido, com dulcificação rápida da Bacia até a fase lacustre final.

Os calcários laminados, Pedra Cariri, alvo deste trabalho, afloram de modo tabular ao longo de rios e riachos, onde processos erosivos revelam com

maior intensidade essas rochas que exibem coloração, predominantemente, creme claro a amarelo intenso, por vezes cinza claro; sua laminação é bastante acentuada, exibindo estratificação horizontalizadas.

Segundo dados oficiais do DNPM/2004, as reservas do calcário laminado nos municípios de Nova Olinda e Santana do Cariri, é da ordem de 114,5 milhões de metros cúbicos, o que equivale a 275 milhões de toneladas.

Um Perfil Geológico Esquemático da jazida pode ser visualizado na figura 2.3.

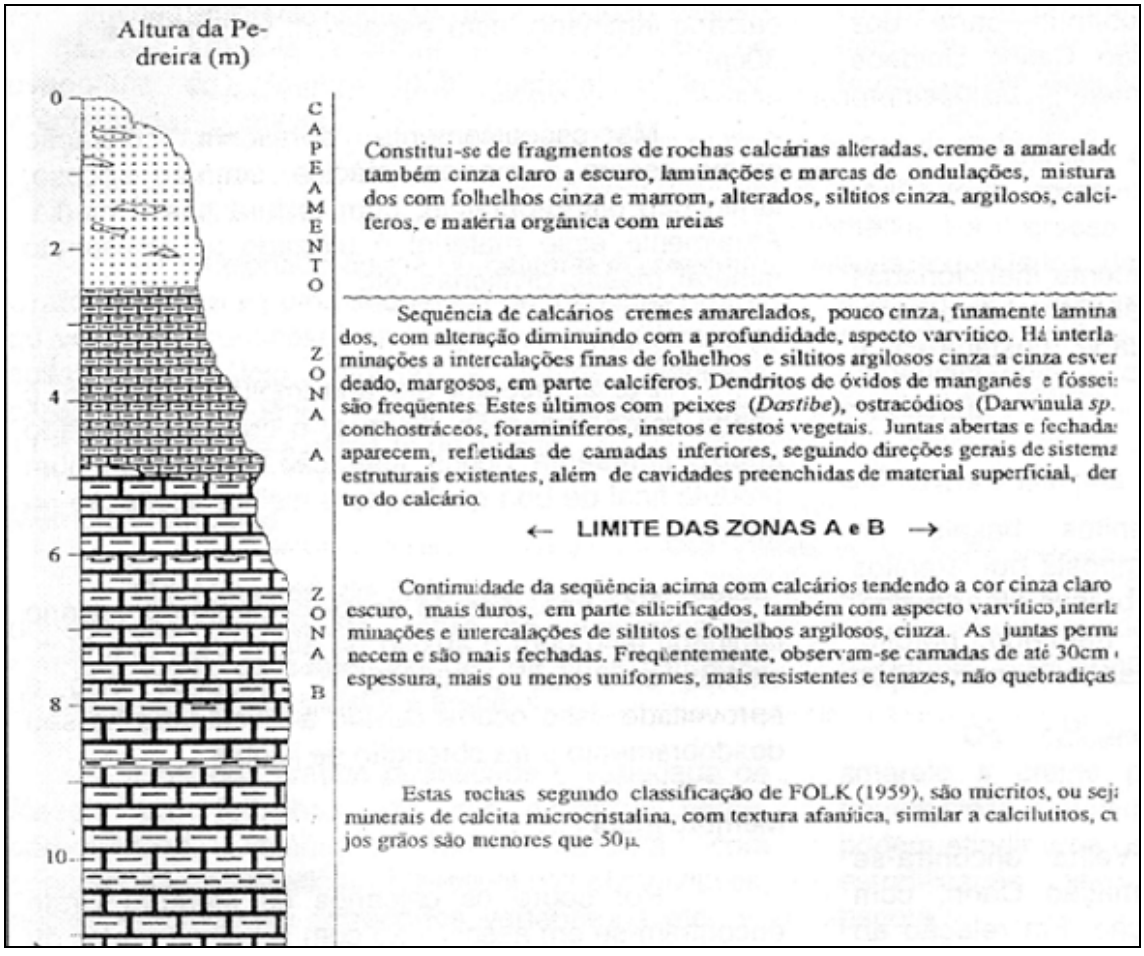

Figura 2.3 - Perfil Geológico Esquemático da jazida
Fonte: Vidal (2005). Aspecto do Aproveitamento dos Rejeitos da Pedra Cariri

2.6 - O Rejeito

Vários são os resíduos industriais absorvidos pela indústria da construção civil, podendo-se citar os resíduos da indústria da mineração, indústria metalúrgica etc. que independentemente de sua origem, tem utilização cada dia maior como matéria-prima alternativa.

O rejeito aqui estudado é o de calcário sedimentar laminado produzido na modelagem da Pedra Cariri.

Estimativas indicam que a quantidade de material gerado e não aproveitado na fabricação desses 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 substancias minerais, as rochas carbonáticas detém vasta gama de usos e outras condições que as classificam como excelentes para serem usadas (Oliveira 2006).

Os rejeitos gerados, na modelagem da Pedra Cariri, têm hoje seu emprego restrito a aterros e melhoria das estradas vicinais nos períodos chuvosos e como uso mais nobre na fabricação de cimento, através da IBACIP, Indústria Barbalhense de Cimento Portland, hoje ITAPUÍ, pertencente ao grupo João Santos.

No ano de 1998, a IBACIP, hoje ITAPUÍ, firmou uma parceria com a Associação dos Produtores de Lajes e Rochas para fins Ornamentais de Nova Olinda, onde os rejeitos são retirados mecanicamente, utilizando-se escavadeiras e caminhões, sendo transportados para a indústria de cimento localizada na cidade de Barbalha, que dista 70,0 km do local de extração, sem

nenhuma remuneração para mineradores da Pedra Cariri. Atualmente, estima-se que a IBACIP consome cerca de 7.000 toneladas/mês de rejeito.

O processo de carregamento e transporte do rejeito de calcário para a IBACIP (ITAPUÍ), é mostrado na figura 2.4.

Figura 2.4 – Carregamento de rejeito para IBACIP
Fonte: Vidal (2005). Aspecto do Aproveitamento dos Rejeitos da Pedra Cariri

Para a avaliação dos volumes de rejeitos gerados na atividade de produção da Pedra Cariri tomou-se como base o trabalho “Aspecto do Aproveitamento dos Rejeitos da Pedra Cariri”, autoria de (Vidal, Francisco W. H.; Padilha, Manuel W. M.; Oliveira, R. R. - 2005).

No trabalho de Vidal, os estudos foram realizados nos municípios de Nova Olinda e Santana do Cariri em duas etapas, a saber:

Na primeira etapa foi realizado levantamento de campo nas principais frentes de lavra que geram uma maior quantidade de rejeitos, caracterização destas frentes, e análises dos métodos de extração. Nestas foram ainda observadas as questões relacionadas ao minerador, produção da pedreira, beneficiamento, especificações técnicas da cava e produtos gerados;

Na segunda etapa obteve-se a base topográfica, tendo como referência a folha planialtimétrica de Santana do Cariri, Índice de nomenclatura: SB. 24 – Y– D – II, elaborada pela SUDENE, ano de 1972, com transposição da escala 1:100.000, para a escala 1:5.000 através do software CAD 2000, nesses foram plotados os locais de rejeitos.

Para obtenção do volume dessas frentes de lavra, utilizou-se a seguinte metodologia em cada pedreira selecionada. Foram marcados, através de GPS, pontos que delimitavam os rejeitos, sendo a altura obtida por altímetro digital. Utilizou-se dois altímetros, ficando um fixo, junto à base dos rejeitos, em um ponto de cota arbitrada, enquanto que com o outro foram coletadas as cotas dos pontos de interesse, no caso os pontos intermediários e outros no topo, tendo-se então as diferenças de cotas que determinaram, juntamente com as coordenadas obtidas, o formato do material a ser calculado; com este procedimento obteve-se maior precisão no cálculo dos volumes (figura 2.5).

Figura 2.5 – Metodologia de cubagem dos rejeitos
Fonte: Vidal (2005). Aspecto do Aproveitamento dos Rejeitos da Pedra Cariri

De posse desses dados, após plotados no mapa base, formaram-se figuras geométricas sendo suas áreas calculadas através do software CAD,

obtendo-se assim os volumes com uma pequena margem de erro (<1m^3) esses procedimentos foram realizados nas principais frentes de lavra localizadas nos municípios de Nova Olinda e Santana do Cariri. Concomitantes a este procedimento foram coletadas amostras de rejeito das pedreiras para posterior análise química em laboratórios do CETEM.

Para cada município, somou-se a quantidade dos rejeitos calculados, segundo a metodologia descrita, estando os resultados a seguir apresentados na tabela 2.1.

Tabela 2.1 – Reservas Medidas dos Rejeitos do Calcário da Pedra Cariri

MUNICÍPIO	VOLUME (m³)
Nova Olinda	755.000,00
Santana do Cariri	275.000,00

Posteriormente, também para cada município, foi analisada a composição química dos rejeitos de calcário, estando representados a média dos resultados desta análise química na tabela 2.2.

Tabela 2.2 – Composição Química média dos Rejeitos do Calcário da Pedra Cariri

LOCAL	COMPOSIÇÃO QUÍMICA DO CALCÁRIO CARIRI (%)							
	Cão	MgO	SiO_2	PF*	$Al2O_3$	Fe_2O_3	K_2O	P_2O_5
Nova olinda	53,6	0,75	1,1	42,8	0,29	0,4	0,05	0,04
Santana do Cariri	54	0,88	0,44	43,3	0,09	0,48	0,02	0,08
(*) Perda por calcinação								

A atividade alvo deste trabalho é pesquisar a possibilidade de uso dos rejeitos, de calcário, proveniente da lavra e beneficiamento da Pedra Cariri como revestimento, na formulação de argamassa. Neste trabalho foram feitos ensaios a fim de incorporar o rejeito em argamassas de cimento e areia, buscando não só reduzir custos, como tornar atrativo o uso deste material por indústrias no aproveitamento do rejeito como elemento base de seu processo produtivo.

2.7 – O Calcário

O Calcário é uma rocha predominantemente formada por carbonato de cálcio, sendo que ele pode aparecer na forma de calcita ou aragonita.

A aragonita ($CaCO_3$) possui a mesma composição química da calcita ($CaCO_3$), entretanto, difere na estrutura cristalina. Seu aproveitamento econômico acontece apenas para os depósitos de conchas calcárias e oolitas. Trata-se de um mineral metaestável, cuja alteração resulta na calcita, a forma mais estável. Outros minerais carbonatados, notadamente, siderita ($FeCO_3$), ankerita ($Ca_2MgFe(CO_3)_4$) e a magnesita ($MgCO_3$), estão comumente associados ao calcário e ao dolomito, contudo em menor quantidade.

Na crosta terrestre praticamente inexiste calcários compostos unicamente por carbonato de cálcio, uma vez que, com freqüência, há substituição do cálcio por outros cátions (Holanda et al. 1987).

Os Calcários, conforme sua origem, são classificados em metamórficos e sedimentares. Os minerais mais freqüentemente encontrados nos calcários metamórficos são os seguintes: dolomita, silicatos de cálcio (actinolita/tremolita, diopsídio, epidoto), grafite e mica. Nos calcários sedimentares, que foi o tipo utilizado neste trabalho, é comum a presença de minerais tais como: dolomita, quartzo, micas e argilominerais (Holanda et al. 1987).

A presença destas impurezas, nos dois tipos de calcários, foi o que motivou a maioria das classificações das rochas calcárias. Assim, segundo Holanda et al. 1987, Pettijohn subdividiu os calcários em cinco classes, de acordo com o teor de óxido de magnésio no calcário, conforme a saber: a) calcário calcítico (0,0 a 1,1% MgO); b) calcário magnesiano (1,1 a 2,1% MgO); c) calcário dolomítico (2,1 a 10,8% MgO); d) dolomítico calcítico (10,8 a 19,5% MgO); e; e) dolomito (19,5 a 21% MgO).

Para Klein (2002), o calcário é uma rocha composta basicamente pelo mineral calcita, cuja fórmula química teórica é ($CaCO_3$), carbonato de cálcio. No entanto, na prática, a calcita apresenta uma estrutura cristalina e composição química ligeiramente diferente da teórica, uma vez que o cálcio é substituído em soluções sólidas por cátions de ferro, zinco, manganês, estrôncio e, principalmente, magnésio. Em relação ao cristal ideal de calcita ($CaCO_3$), cada uma destas diferenças influenciam nas propriedades do calcário e sua composição.

Ainda de acordo com Klein (2002), na natureza são encontrados mais de 200 espécies diferentes de minerais portadores de carbonatos, entre os quais destacam-se a siderita, aragonita, azurita, rodocrosita, malaquita, cerussita, estrocianita. Todavia, os minerais carbonatados mais comumente presentes nas argilas são: calcita ($CaCO_3$), dolomita $CaMg(CO_3)_2$) e magnesita ($MgCO_3$).

Viana apud Neumann et al (2007), diz que a atividade mineira nos calcários de Nova Olinda e Santana do Cariri vem proporcionando, além da destruição do patrimônio fossilífero, a degradação da paisagem local, através do assoreamento de riachos e do aumento de zonas de erosão.

Segundo Vidal, et al (2005), a atividade mineira para produção da Pedra Cariri se constitui na economia básica dos municípios de Nova Olinda e Santana do Cariri, visto que a atividade agropecuária tem apenas um caráter de subsistência. No entanto essa atividade gera uma grande quantidade de rejeitos prejudiciais ao meio ambiente, formando entulhos, dificultando a lavra e o acesso ao pátio bem como gerando impacto visual desagradável. Com o aproveitamento dos rejeitos gerados, a renda dos mineradores teria um substancial incremento.

Menezes et al. (2002) afirmam que os resíduos industriais sejam mineiros ou não, bem como os resíduos urbanos, vêm-se tornando um dos mais sérios problemas que a sociedade moderna enfrenta. Sua deposição de

forma inadequada provoca a degradação do meio ambiente e a contaminação da água e do solo.

Nos últimos anos, a pesquisa sobre a reciclagem de resíduos industriais vem sendo intensificada em todo mundo. Na América do Norte e Europa, a reciclagem é vista, pela iniciativa privada, como um mercado altamente rentável.

Pfaltzgraff, (2005), diz que a quantidade de rejeitos gerada no processo de beneficiamento de rochas para fins ornamentais é muito elevada, causando impactos ao meio ambiente devido a seu descarte sem nenhum planejamento, sendo uma problemática não só nacional quanto mundial.

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.

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.

O meio científico vem buscando dar sua contribuição à reciclagem de resíduos industriais, desenvolvendo pesquisas visando o aproveitamento de resíduos minerais, como insumos industriais.

2.8 - A Importância do Rejeito

Do ponto de vista da engenharia civil, 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.

O aproveitamento dos rejeitos industriais para uso como material alternativo não é novo e tem dado certo em vários paises 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 põe 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).

2.9 – Reciclagem

Os resíduos industriais e urbanos vêm-se tornando um dos mais sérios problemas que a sociedade moderna enfrenta. Sua deposição de forma inadequada provoca a degradação do meio ambiente e a contaminação dos mananciais, água e solo. Por outro lado, técnicos da indústria da construção civil se deparam com a escassez de reservas de matéria-prima de boa qualidade em locais economicamente viáveis de explotação.

A Reciclagem é definida, como o conjunto de técnicas cuja finalidade é aproveitar detritos e rejeitos e reintroduzi-los no ciclo de produção. Independentemente do seu tipo, ela pode apresentar várias vantagens em relação à utilização de recursos naturais “virgens”, dentre as quais se tem: redução do volume de extração matéria prima, redução do consumo de energia, menores emissões de poluentes e melhoria da saúde e segurança da

população. E sua principal vantagem consiste na preservação dos recursos naturais, prolongando sua vida útil e reduzindo a destruição da paisagem, fauna e flora (Menezes 2002).

Nos últimos anos, a pesquisa sobre a reciclagem de resíduos industriais vem sendo intensificada em todo o mundo. Na América do Norte e Europa, a reciclagem é vista, pela iniciativa privada, como um mercado altamente rentável. Muitas empresas investem em pesquisa e tecnologia, o que aumenta a qualidade do produto reciclado e propicia maior eficiência do sistema produtivo.

A reciclagem de resíduos industriais ainda possui índices insignificantes frente ao montante produzido e, a cada dia, os rejeitos agridem mais o meio ambiente, em virtude da falta de tratamento adequado e fiscalização sobre a manipulação e descarte desses rejeitos.

2.10 - Localização da Área de Estudo

O calcário sedimentar da Chapada do Araripe, situada no sul do Estado do Ceará (figura 2.6), mais precisamente nas cidades de Nova Olinda e Santana do Cariri, formado essencialmente de carbonato de cálcio, é utilizado como rocha para fins ornamentais, em forma de lajotas conhecida comercialmente como Pedra Cariri. (Vidal 2005).

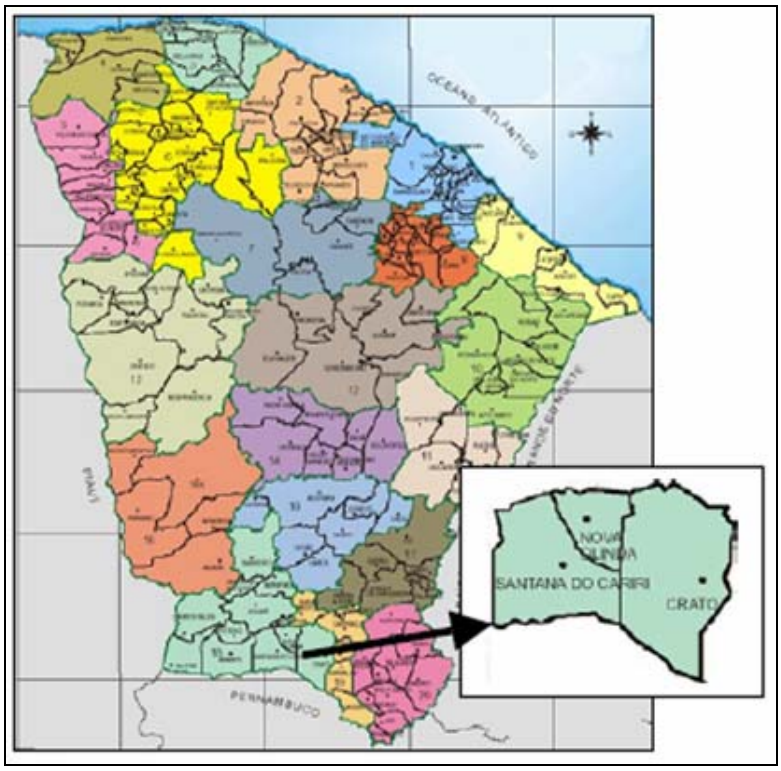

Figura 2.6 – Mapa do Estado do Ceará

Nova Olinda (figura 2,7), é uma cidade e um município do Ceará, Brasil. Localizada na micro região do Cariri, mesoregião do Sul Cearense, distante de 560 Km da capital Fortaleza.

Figura 2.7 – Nova Olinda – Igreja Matriz
Fonte: Google Imagem

Santana do Cariri (figura 2.8), é uma pequena cidade localizada no sul do Estado do Ceará no Nordeste do Brasil, distante de 550 Km da capital Fortaleza e próximo a centros como Crato (cerca de 50 Km) e Juazeiro do Norte (cerca de 65 Km).

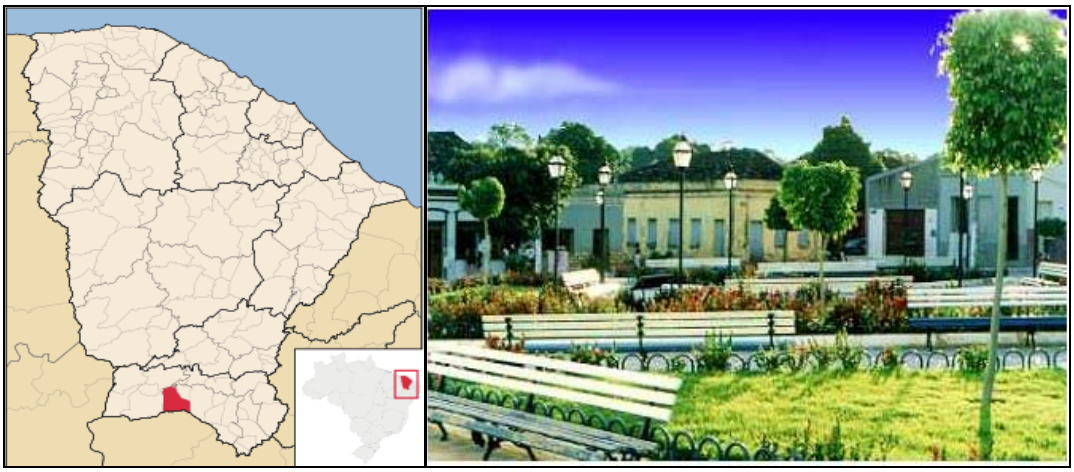

Figura 2.8 - Santana do Cariri – Localização e Praça.

2.11 – O Cilma

O clima neste setor nordeste da bacia é tropical úmido, correspondente à classificação Aw de Köppen, com regime pluviométrico de 700 a 1000 mm/ano. A temperatura média anual é de cerca de 27ºC. (Viana e Neumann 2007).

A classificação climática de Köppen-Geiger, mais conhecida por classificação climática de Köppen, é o sistema de classificação global dos tipos climáticos mais utilizados em geografia, climatologia e ecologia. Esta classificação foi proposta em 1900 pelo climatologista alemão Wlademir Köppen, tendo sido por ele aperfeiçoada em 1918, 1927 e 1936 com a colaboração de Rudolf Geiger (daí o nome Köppen-Geiger).

A classificação de Köppen-Geiger divide os climas em 5 grandes grupos (“A”, “B”, “C”, “D”, e “E”) e diversos tipos de subtipos. Cada clima é

representado por um conjunto variável de letras (com 2 ou 3 caracteres) com a seguinte significação:

A primeira letra – uma maiúscula (“A”, “B”, “C”, “D”, “E”) que denota a característica geral do clima de uma região, constituindo o indicador do grupo climático (em grandes linhas, os climas mundiais escalonam-se de “A” a “E”, indo do equador aos pólos).

A segunda letra – uma minúscula, que estabelece o tipo de clima dentro do grupo e denota as particularidades do regime pluviométrico, isto é a quantidade e distribuição da precipitação (apenas utilizada caso a primeira letra seja “A”, “C” ou “D”). Nos grupos cuja primeira letra seja “B” ou “E”, a segunda letra é também uma maiúscula, denotando a quantidade de precipitações total anual (no caso de “B”) ou a temperatura média anual do ar (no caso de “E”).

A terceira letra – minúscula, denotando a temperatura média do ar dos meses mais quentes (nos casos em que a primeira letra seja “C” ou “D”) ou a temperatura média anual do ar (no caso da primeira letra ser “B”)

O clima do Brasil pode ser classificado, em geral como equatorial, tropical e subtropical, mas dentro do território brasileiro há muitas diferenças quanto ao clima em mesmas regiões. Na visão global, o Brasil esta localizado em duas áreas climáticas. 92% do território esta acima do trópico de capricórnio, sendo então da zona tropical. Apenas a região sul e o sul de São Paulo se localizam na zona temperada. Veja abaixo um mapa de classificação mais precisa (figura 2.9) feita por Koppen - Geiger.

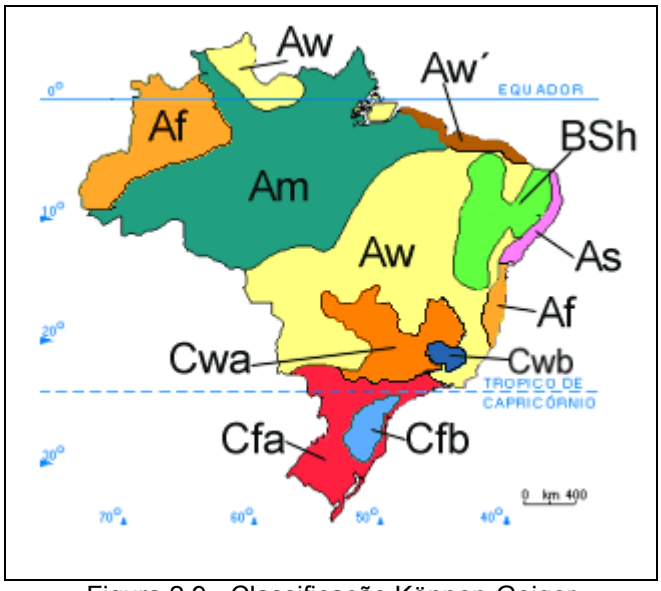

Figura 2.9 - Classificação Köppen-Geiger

Em razão do clima brasileiro a vegetação é diversificada e muito rica, tendo destaque internacionalmente como reservas biológicas. Esta variedade de vegetação da ao Brasil o titulo de uma das regiões do mundo com maior riqueza e biodiversidade vegetal.

CAPÍTULO III

3. MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia empregada surgiu da disponibilidade de material, em volume e granulometria de forma a utilizar os rejeitos sem que para tanto, sejam necessários investimentos de grandes vultos.

Visando coletar informações para avaliar mais diretamente os problemas que dizem respeito a esse seguimento, amostras foram recolhidas em volume e granulometria de forma a utilizar os “rejeitos de calcário” sem necessidade de investimentos de grandes vultos, ou seja, a não necessidade de processos de fragmentação. Para tanto, foi realizada uma análise granulométrica do material *in natura*, descartando-se o material extremamente grosseiro assim como o excessivamente fino (argila) o que sairia de especificações rígidas para à argamassa então produzida a partir desta matéria prima.

3.1 – O Material

O material utilizado para este trabalho foi uma amostra do rejeito de calcário sedimentar laminar proveniente de Santana do Cariri, cidade e município da micro região do Cariri cearense, com granulometria retida na peneira de 48 mesh; cimento Portland CP V-ARI-SR (alta resistência inicial e resistente a sulfatos) e areia média. O traço utilizado para a formulação da argamassas foi de 1:3 com fator água/cimento igual a 0,60.

3.2 – A Metodologia

Na formulação da argamassa, a adição de calcário foi feita em duas etapas distintas: A primeira etapa com substituição de parte da areia pelo calcário em proporções variadas, mantendo-se constante o volume de cimento

e o fator água/cimento. Na segunda etapa a adição do calcário foi em substituição a parte do cimento, também em proporções variadas, mantendo-se constante o volume da areia o fator água/pó (cimento + calcário). Tanto na primeira como na segunda etapa foram realizados testes de resistência a compressão simples em corpos de prova, que foram rompidos aos 7, 14 e 28 dias respectivamente conforme procedimento da NBR 7215.

3.2.1- Homogeneização e Quarteamento

Todas as etapas de preparação das amostras foram feitas observando-se técnicas de homogeneização e quarteamento. Para isso, utilizam-se o processo de pilhas e/ou equipamentos auxiliares. As pilhas para a homogeneização e o equipamento auxiliar (Quarteador Jones) para o quarteamento.

3.2.2 - Pilhas

As pilhas mais empregadas nos processos para homogeneização de minério em laboratório são as dos tipos cônica e alongada (chevron). O processo escolhido para este trabalho foi da pilha cônica, figura 3.1, pois na sua própria preparação, obtem-se uma boa homogeneização do material.

Figura 3.1 – Preparação da pilha cônica.

A pilha cônica propriamente dita é mostrada na figura 3.2.

Figura 3.2 – Pilha cônica.

3.2.3 - Quarteador Jones

O quarteamento é feito através de um equipamento denominado quarteador Jones.

Esse equipamento, figura 3.3, é constituído por uma série de calhas inclinadas, ora para um lado ora para o outro. Quanto maior o número de calhas mais confiável são as amostras obtidas.

Figura 3.3 – Quarteador Jones

As calhas são de aço, com uma inclinação maior que 45º, e não possuem ângulos vivos. O número de calhas é par e todas tem a mesma largura, maior que 2d + 5mm (d = diâmetro da maior partícula).

A amostra do rejeito de calcário da Pedra Cariri a ser quarteada estava seca e foi colocada no quarteador de maneira lenta e contínua, através de um terceiro recipiente coletor de amostra conforme (figura 3.4). A amostra foi quarteada em duas partes, retornando-se uma das partes para um novo quarteamento e, assim sucessivamente até se obter a alíquota na quantidade necessária aos ensaios de peneiramento.

Figura 3.4 - Quarteamento

3.2.4 - Análise Granulométrica

Três amostras, pesando cerca de 6.500 gramas cada uma, do rejeito de calcário sedimentar do Cariri foram retiradas de diferentes localidades aqui denominadas de amostras 1, 2 e 3.

A amostra 1 foi coletada no município de Santana do Cariri, na área do minerador André Félix, cujas coordenadas UTM são: 422883 e 9212643.

A amostra 2 foi coletada no município de Nova Olinda, na área do minerador Antônio Felipe, cujas coordenadas UTM são: 409161 e 9212596.

A amostra 3 foi coletada no município de Nova Olinda, na área do minerador Gecildo, cujas coordenadas UTM são: 417026 e 9203678.

De cada uma das três amostras coletadas, foi retirada uma amostra representativa para ser submetida a análise granulométrica.

Os resultados das análises das amostras representativas 1, 2 e 3, estão representados nas tabelas 3.1, 3.2 e 3.3 respectivamente.

Tabela 3.1 – Analise granulométrica da amostra representativa1.

Análise Granulométrica					
Amostra 1		Rejeito de calcário sedimentar do Cariri - CE. 418 gramas.			
faixa Tyler	mm	Peso retido (g)	Retido (%)	Acumulado (%)	Passante (%)
3/8#	9,5	101,72	24,57	24,57	75,43
3#	6,7	31,17	7,53	32,1	67,9
4#	4,75	13,04	3,15	35,25	64,75
7#	2,8	56,11	13,56	48,81	51,19
8#	2,36	6,54	1,58	50,39	49,61
9#	2	22,52	5,44	55,83	44,17
12#	1,4	29,24	7,06	62,89	37,11
16#	1	23,89	5,77	68,66	31,34
20#	0,85	6,63	1,6	70,26	29,74
28#	0,592	13,35	3,23	73,49	26,51
35#	0,419	9,56	2,31	75,8	24,2
48#	0,296	5,82	1,41	77,21	22,79
65#	0,209	8,98	2,17	79,38	20,62
100#	0,148	6,31	1,52	80,9	19,1
150#	0,105	4,76	1,15	82,05	17,95
200#	0,074	3,09	0,75	82,8	17,2
270#	0,052	4,15	1	83,8	16,2
325#	0,044	1,17	0,28	84,08	15,92
(-) 325#		65,91	15,92	100	0
Total		413,93			

Tabela 3.2 – Análise granulométrica da amostra representativa 2

Análise Granulométrica					
Amostra 2		Rejeito de calcário sedimentar do Cariri - CE 474 gramas			
faixa Tyler	mm	Peso retido (g)	Retido (%)	Acumulado (%)	Passante (%)
3/8#	9,5	153,99	32,64	32,64	67,36
3#	6,7	35,3	7,48	40,12	59,88
4#	4,75	13,85	2,94	43,06	56,94
7#	2,8	61,37	13,01	56,07	43,93
8#	2,36	10,59	2,25	58,32	41,68
9#	2	20,96	4,44	62,76	37,24
12#	1,4	29,25	6,2	68,96	31,04
16#	1	22,55	4,78	73,74	26,26
20#	0,85	7,08	1,5	75,24	24,76
28#	0,592	13,29	2,82	78,06	21,94
35#	0,419	8,19	1,74	79,8	20,2
48#	0,296	6,38	1,35	81,15	18,85
65#	0,209	7,74	1,64	82,79	17,21
100#	0,148	4,69	0,99	83,78	16,22
150#	0,105	4,54	0,96	84,74	15,26
200#	0,074	3,18	0,67	85,41	14,59
270#	0,052	3,64	0,77	86,18	13,82
325#	0,044	1,2	0,26	86,44	13,56
(-) 325#		63,97	13,56	100	0
Total		471,76			

Tabela 3.3 – analise granulométrica da amostra representativa 3

Análise Granulométrica					
Amostra 3		Rejeito de calcário sedimentar do Cariri - CE 455 gramas			
faixa Tyler	mm	Peso retido (g)	Retido (%)	Acumulado (%)	Passante (%)
3/8#	9,5	154,56	34,24	34,24	65,76
3#	6,7	42,76	9,47	43,71	56,29
4#	4,75	17,75	3,93	47,64	52,36
7#	2,8	49,92	11,06	58,7	41,3
8#	2,36	7,62	1,69	60,39	39,61
9#	2	19,49	4,32	64,71	35,29
12#	1,4	26,4	5,85	70,56	29,44
16#	1	18,26	4,05	74,61	25,39
20#	0,85	8,45	1,87	76,48	23,52
28#	0,592	12,18	2,7	79,18	20,82
35#	0,419	7,97	1,77	80,95	19,05
48#	0,296	5,16	1,14	82,09	17,91
65#	0,209	8,13	1,8	83,89	16,11
100#	0,148	4,27	0,95	84,84	15,16
150#	0,105	4,26	0,94	85,78	14,22
200#	0,074	3,26	0,72	86,5	13,5
270#	0,052	3,07	0,68	87,18	12,82
325#	0,044	0,73	0,16	87,34	12,66
(-) 325#		57,12	12,66	100	0
Total		451,36			

Com os dados obtidos nas tabelas de análise granulométrica das 3 amostras representativas do rejeito de calcário de Santana do Cariri e Nova Olinda, gerado na lavra e beneficiamento da Pedra Cariri, foram construídos 3 gráficos, uma para cada análise granulométrica, onde se visualizam o percentual retido; o percentual acumulado e o percentual passante.

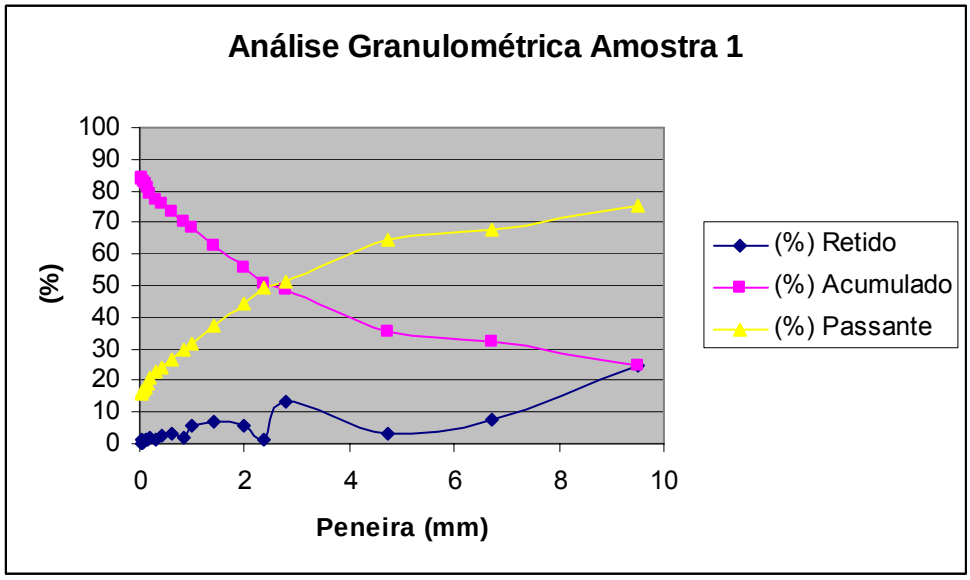

Gráfico 3.1 – Analise granulométrica da amostra 1.

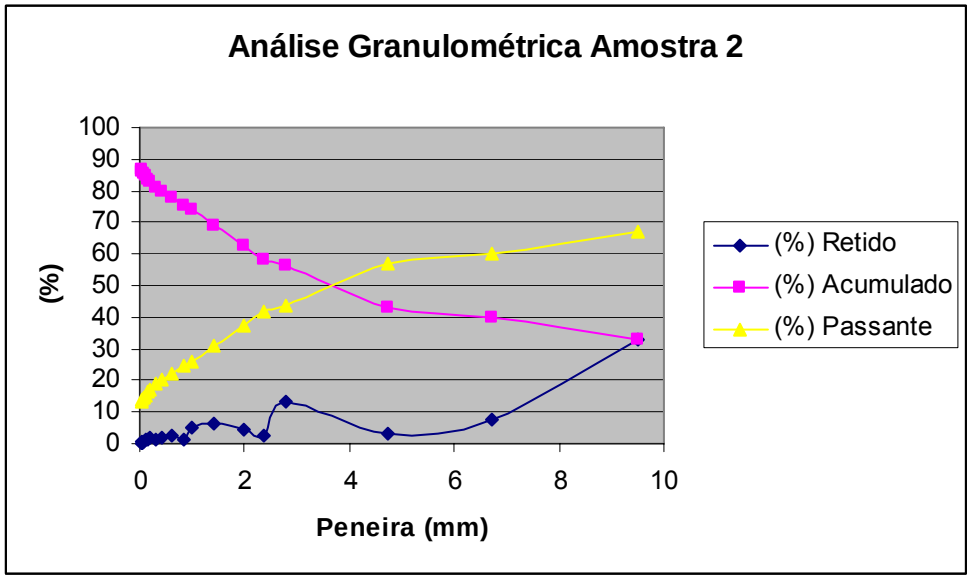

Gráfico 3.2 – Analise granulométrica da amostra 2.

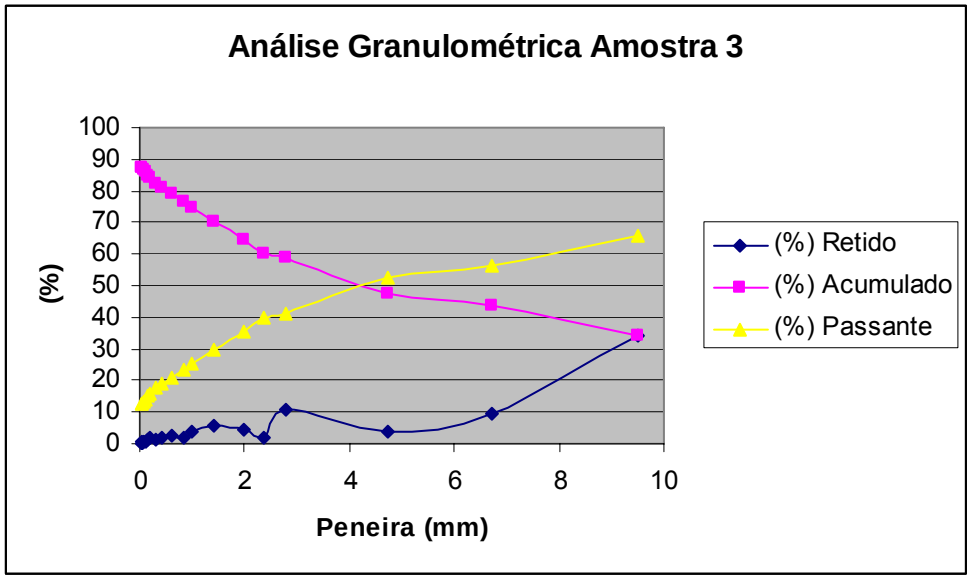

Gráfico 3.3 – Analise granulométrica da amostra 3.

Fazendo-se a transposição dos gráficos obtidos através dos valores contidos nos percentuais de material retido, acumulado e passante das análises granulométricas, verifica-se que as 3 amostras representativas do rejeito de calcário de Santana do Cariri e Nova Olinda, gerado na fabricação de pisos e revestimentos, apresentam características granulométricas semelhantes entre si.

A visualização desta transposição esta representada nos gráficos 3.4 (material retido), 3.5 (material acumulado) e 3.6 (material passante) respectivamente.

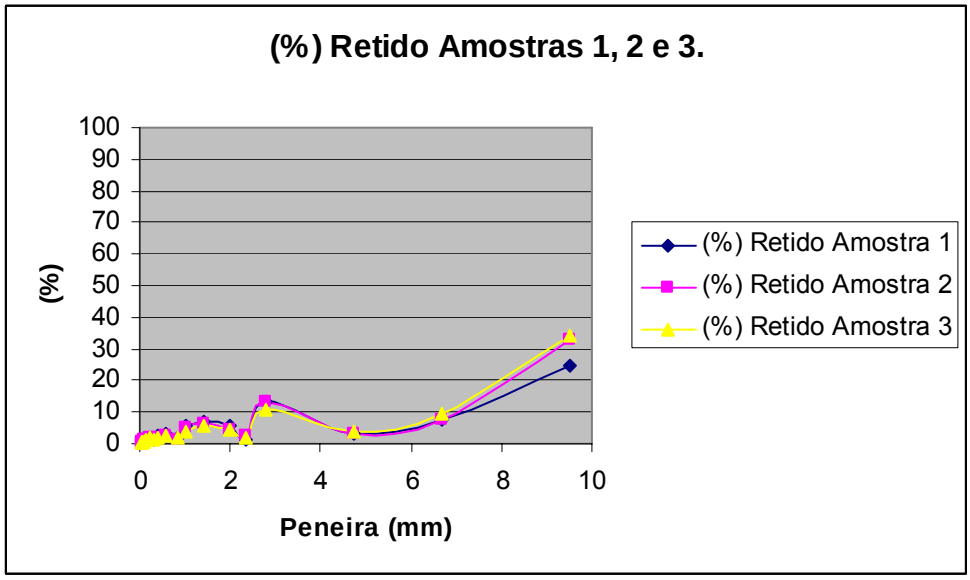

Gráfico 3.4 – Material Retido nas amostras representativas 1, 2 e 3.

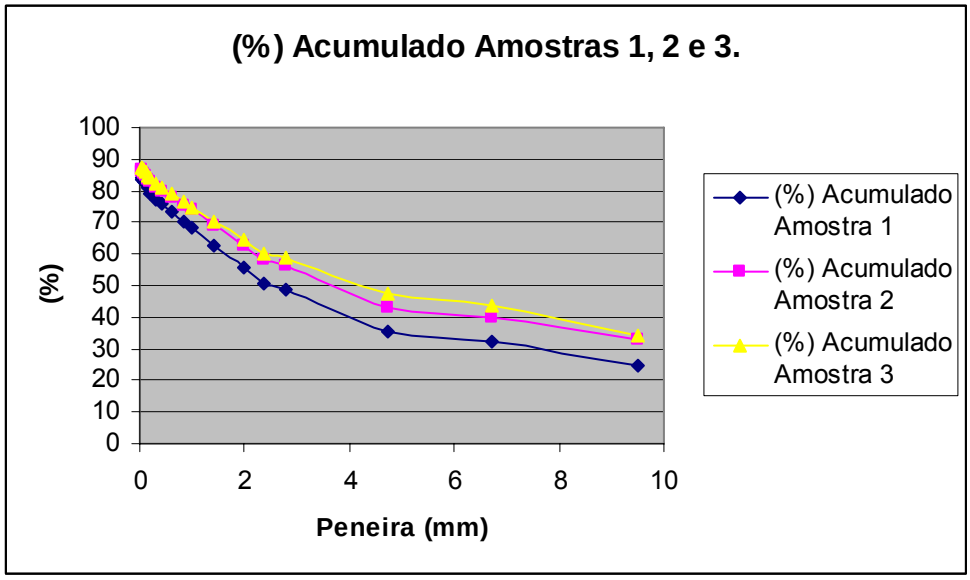

Gráfico 3.5 – Material Acumulado nas amostras representativas 1, 2 e 3.

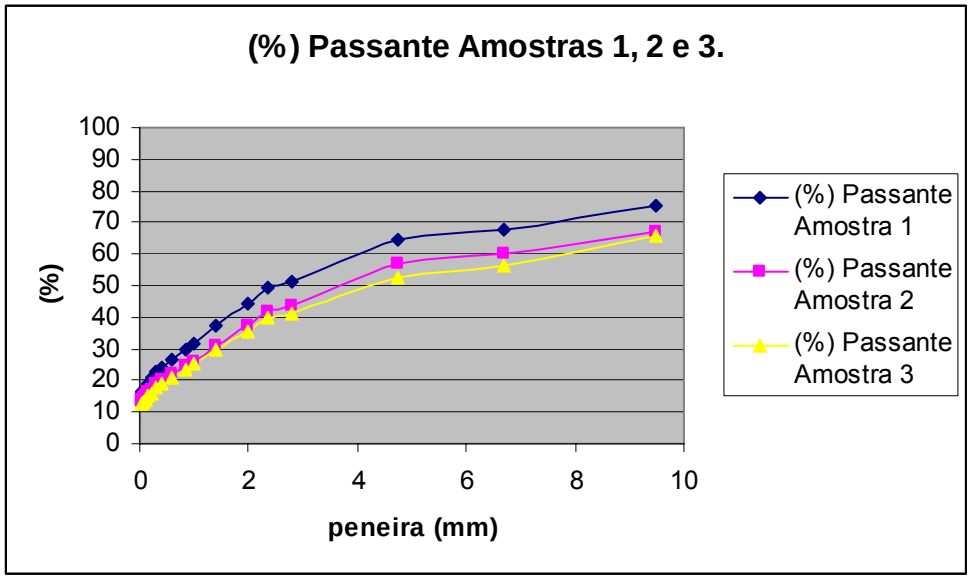

Gráfico 3.6 – Material Passante nas amostras representativas 1, 2 e 3.

Posteriormente foi feita uma classificação granulométrica de todo o material. cujo resultado é apresentado na (tabela 3.4).

Tabela 3.4 – Classificação granulométrica do total da amostra

Classificação Granulométrica					
Total da amostra do rejeito de calcário sedimentar do Cariri-CE 19.428,86 gramas					
Faixa Tiler	mm.	Peso retido (g)	Retido (%)	Acumulado (%)	Passante (%)
48#	0,296	5.927,00	30,50	30,50	69,50
65#	0,209	1.744,00	8,98	39,48	60,52
100#	0,148	626,00	3,22	42,70	57,30
150#	0,105	299,89	1,54	44,24	55,76
200#	0,074	355,25	1,83	46,07	53,93
325#	0,044	327,72	1,69	47,76	52,24
-325#	0,044	10.150,00	52,24	100,00	00,00
		19.429,86			

Para atender a esta classificação o material foi moído em um britador de rolos da marca DENVER, mod. Deco B 714 1A (figura 3.4), fabricado pela Denver Equipamen Company Colorado USA.

Figura 3.4 – Britador de rolos

Apos moído o material foi peneirado mecanicamente, em um penerador vibratório da Marca Denver, modelo Deco F 856 B (figura 3.5) fabricado pela Denver Equipamen Company Colorado USA, e classificado entre as faixas de 48 a 325 mesh.

Figura 3.5 - Peneirador vibratório

Após essa classificação, foi escolhido o material retido na peneira 48# pois nesta malha o volume do material *in natura* era o mínimo suficiente para formulação da argamassa pretendida.

A pesagem do material classificado foi feita em uma balança Ohaus made in USA com capacidade para 2000 gramas e precisão de centésimo de grama (figura 3.6).

Figura 3.6 – Balança Ohaus

3.2.5 – A Argamassa

A argamassa é uma mistura de cimento, areia, água e, em alguns casos, de um outro material (cal, saibro, caulim, etc.). Assim como o concreto, as argamassas são moles nas primeiras horas, e endurecem com o tempo ganhando elevada resistência e durabilidade.

Segundo a sua finalidade as argamassas são classificadas em: argamassa para assentamento e argamassa para revestimento.

As argamassas para assentamento são usadas para unir blocos ou tijolos das alvenarias. Servem também para colocação de azulejos, tacos, ladrilhos e cerâmicas.

As argamassas para revestimento são utilizadas para impermeabilizar, revestir e proteger a parede contra a penetração da umidade.

O material utilizado para a formulação da argamassa deste trabalho foi uma amostra do rejeito de calcário sedimentar laminar proveniente de Santana do Cariri e Nova Olinda, cidades e municípios da micro-região do Cariri Cearense, com granulometria retida na peneira de 48 mesh; cimento Portland CP V-ARI-RS (alta resistência inicial e resistente a sulfatos) e areia média. O traço utilizado para a argamassa foi de 1:3 com fator água/cimento igual a 0,60.

Nesta pesquisa, decidiu-se por realizar a adição do calcário na formulação de argamassa em duas etapas distintas:

A primeira etapa com substituição da areia pelo calcário em proporções de 5%, 10%, 15%, 20% e 25% do peso da areia, mantendo-se constante o peso do cimento e o fator água/cimento, (tabela 3.5);

Tabela 3.5 – substituição da areia pelo calcário

O traço				
Composição	Cimento	Areia	Calcário	Água
traço 1 (0%)	300gr.	900gr.	0gr.	180ml.
traço 2 (5%)	300gr.	855gr.	45gr.	180ml.
traço 3 (10%)	300gr.	810gr.	90gr.	180ml.
traço 4 (15%)	300gr.	765gr.	135gr.	180ml.
traço 5 (20%)	300gr.	720gr.	180gr.	180ml.
traço 6 (25%)	300gr.	675gr.	225gr.	180ml.

A segunda etapa com a substituição do cimento pelo calcário, também em proporções de 5%, 10%, 15%, 20% e 25% do peso do cimento, mantendo-se constante o peso da areia e o fator água/pó (cimento + calcário), conforme (tabela 3.6).

Tabela 3.6 – substituição do cimento pelo calcário.

Composição	Cimento	Areia	Calcário	Água
traço 1 (0%)	300gr.	900gr.	0gr.	180ml.
traço 2 (5%)	285gr.	900gr.	15gr.	180ml.
traço 3 (10%)	270gr.	900gr.	30gr.	180ml.
traço 4 (15%)	255gr.	900gr.	45gr.	180ml.
traço 5 (20%)	240gr.	900gr.	60gr.	180ml.
traço 6 (25%)	225gr.	900gr.	75gr.	180ml.

Tanto na primeira como na segunda etapa, foram moldados seis corpos de prova para cada traço, que foram rompidos dois a dois aos 7, 14, e 28 dias respectivamente.

3.2.6 - A Mistura (NBR 7215)

A mistura da argamassa foi feita com misturador mecânico, da marca Eberle Brasil, modelo SD 71 B, com motor de indução trifásico, provido de uma cuba de aço com capacidade de aproximadamente 5 litros e de uma pá de metal que gira em torno de si mesma, e em movimento planetário em torno do eixo da cuba, movimento estes em sentidos opostos (figura 3.7a.b.).

Figura 3.7a. – misturador mecânico

Figura 3.7b. – misturador mecânico

O procedimento da mistura e homogeneização dos componentes da argamassa segue o seguinte roteiro: Primeiro foi colocado na cuba todo o volume de água pré-estabelecida para a mistura, seguido do cimento e por último a areia.

3.2.7 – O Molde (NBR 7215)

Os corpos de prova foram moldados em uma forma cilíndrica com base rosqueada, ambas de metal não corrosível e obedecendo às seguintes dimensões: diâmetro interno de 50mm com variação de mais ou menos 0,1mm, e altura de 100mm com variação de mais ou menos 0,2mm., (Figura 3.8).

Figura 3.8 - Moldes

3.2.8 – O Enchimento dos moldes (NBR 7215)

A colocação da argamassa na forma foi feita com o auxílio de uma espátula, em quatro camadas, de alturas aproximadamente iguais, recebendo cada camada 30 golpes uniformes com um soquete normal, homogeneamente distribuído.

3.2.9 - A Cura

Todos os corpos de prova foram submetidos a um período de cura inicial ao ar livre e a um período final em câmara úmida conforme procedimento abaixo:

Cura inicial ao ar – após moldados, os corpos de prova ainda nos moldes permaneceram em local abrigado por um período de 24 horas.

Cura final – terminado o período inicial de cura, os corpos de prova foram retirados das formas, identificados e colocados em câmara úmida, (figura 3.9), onde permaneceram ate o momento do ensaio.

Figura 3.9 – Câmara úmida. UFPE

3.2.10 – O Capeamento dos topos

Antes dos ensaios, todos os corpos de prova foram capeados com uma mistura à quente de enxofre e cimento de maneira que a camada formada em cada topo satisfaça às condições geométricas indicadas no item 3.3.2 da NBR 7215 e apresentasse espessura máxima de 2 mm.

Após o capeamento, os corpos de prova foram colocados diretamente sobre o prato inferior da prensa, centrados em relação ao eixo do carregamento e executado o ensaio.

3.2.11 – O Ensaio de Resistência a compressão simples.

O Ensaio de Resistência à compressão simples foi realizado conforme NBR 7215, em uma prensa da marca: WAM, modelo: Série 218/9, fabricada em 1970 – Alemanha. (figura 3.10). O corpo de prova foi colocado diretamente no prato inferior da prensa, rigorosamente centrado em relação ao eixo do carregamento. A velocidade de carregamento da maquina de ensaio ao transmitir a carga de compressão ao corpo de prova foi equivalente a (0,25±0,05) MPa, por segundo. O calculo da resistência à compressão, em MPa, de cada corpo de prova foi feito dividindo-se a carga de ruptura pela área da secção transversal do corpo de prova.

Figura 3.10 - Prensa da marca: WAM, modelo: Série 218/9,

CAPÍTULO IV

4. Resultados e Discussões

4.1 – Resistência à compressão

O resultado dos testes de resistência de pico a compressão simples em corpos de prova de argamassa contendo adição de calcário em substituição a parte da areia, nos percentuais de 5%, 10%, 15%, 20% e 25%, do peso da areia, estão registrados na (tabelas 3.7).

Tabela 3.7 – Substituição de parte da areia por calcário

TESTE DE RESISTENCIA A COMPRESSÃO (MPa)			
Amostra de Calcário do Cariri Cearense			
Traço/adição	7 dias	14 dias	28 dias
0%	15,73	18,99	17,24
5%	9,49	14,24	16,49
10%	11,42	19,24	14,24
15%	14,99	18,49	14,24
20%	16,23	13,74	13,49
25%	14,74	13,99	15,74

O resultado do teste de resistência de pico a compressão simples em corpos de prova de argamassa contendo adição de calcário em substituição a parte do cimento, nos percentuais de 5%, 10%, 15%, 20% e 25%, do peso do cimento, estão registrados na (tabela 3.8).

Tabela 3.8 – Substituição de parte do cimento por calcário

TESTE DE RESISTENCIA A COMPRESSÃO (MPa)			
Amostra de Calcário do Cariri Cearense			
Traço/adição	7 dias	14 dias	28 dias
0%	15,62	15,44	19,94
5%	12,77	13,64	13,57
10%	10,28	13,74	13,52
15%	13,27	13,19	15,37
20%	8,82	10,49	14,54
25%	7,5	10,49	10,83

4.2 – Ângulos de ruptura

Após os ensaios, foram determinados os ângulos de ruptura (Ø), dos corpos de prova rompidos com idade de 28 dias em cada uma das duas etapas.

A determinação dos ângulos de ruptura (Ø), em corpos de prova moldados com substituição parcial de areia por calcário (1ª etapa), em teste de compressão simples, estão representados nas (figuras 3.10a;b;c;d;e;f).

Figura 3.10a.

Figura 3.10b.

Figura 3.10c.

Figura 3.10d.

Figura 3.10e.

Figura 3.10f.

4.3 – Ângulos de atrito interno

Com os ângulos de ruptura (Ø) dos corpos de prova determinados, foram calculados os valores dos ângulos de atrito interno (φ) dos materiais dos corpos de prova através da fórmula:

$$45° + \varphi/2 = Ø \quad \rightarrow \quad \varphi = 2Ø - 90°,$$

cujos resultados estão representados na tabela 3.9, abaixo:

Tabela 3.9 – Ângulos de atrito interno dos corpos de provas moldados com substituição parcial da areia por calcário

Analise das rupturas dos corpos de prova						
Com substituição de parte da areia por calcário						
7 dias			14 dias		28 dias	
Adição	Ø	φ	Ø	φ	Ø	φ
0%	75º	60°	70º	50°	70°	50°
5%	70º	50°	60º	30°	65°	40°
10%	80º	70°	70º	50°	60°	30°
15%	60º	30°	75º	60°	60°	30°
20%	70º	50°	65°	40°	55°	20°
25%	65º	40°	70°	50°	65°	40°

Os valores dos ângulos de atrito interno (gráfico - 3.7) foram comparados com os valores da resistência a compressão (gráfico - 3.8) dos corpos de prova moldados com adição de calcário em substituição parcial a areia.

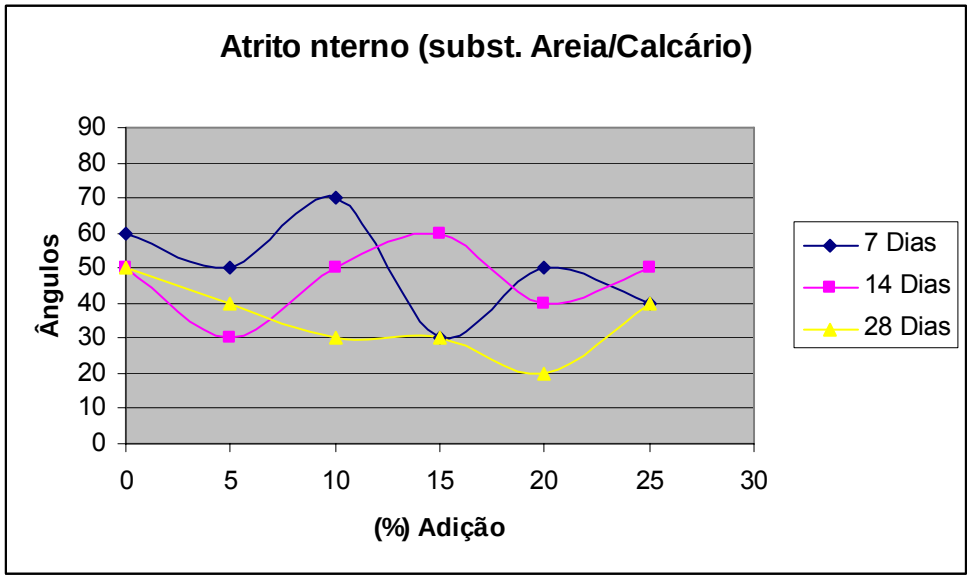

Gráfico 3.7 - Atrito interno (subst. areia por calcário)

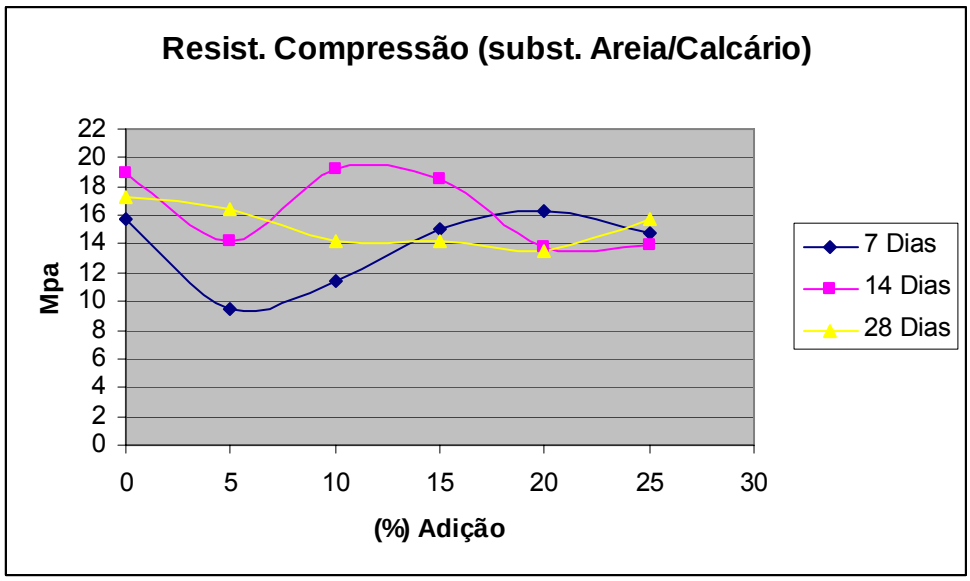

Gráfico 3.8 - Resistência à compressão (subst. areia por calcário)

Analisando comparativamente os gráficos de resistência à compressão e o de atrito interno do material, verifica-se que aos 7 dias com adição de calcário em substituição a areia em percentuais de 5, e 10%, a resistência e o atrito interno se comportaram de maneira semelhante, ou seja, a resistência diminuiu e aumentou proporcionalmente ao atrito interno do material. Com adição de 15% houve um aumento na resistência, porém uma queda no atrito interno isto ocorreu devido a uma maior coesão da massa. Entre 20 e 25% houve

novamente um comportamento semelhante entre os gráficos de resistência e atrito.

Aos 14 e 28 dias verifica-se que os gráficos de resistência e atrito apresentam comportamentos semelhantes.

Conclui-se nos gráficos de substituição de areia por calcário que o teor ideal de trabalho á depender dos custos seria 5 e 25%, isto porque embora a resistência da partícula da areia seja maior que a do calcário, a reatividade do calcário cimento é maior que a reatividade do cimento areia, resultando em teores distintos de qualidade resistiva da massa.

A determinação dos ângulos de ruptura (Ø), em corpos de prova moldados com substituição parcial do cimento por calcário (2ª etapa), em teste de compressão simples, estão representados nas (figuras 3.11a;b;c;d;e;f).

Figura 11a

Figura 11b

Figura 11c

Figura 11d

Figura 11e

Figura 11f

Com os ângulos de ruptura (Ø) dos corpos de prova determinados, foram calculados os valores dos ângulos de atrito interno (φ) dos corpos de prova, cujos valores estão representados na (tabela 3.10).

Tabela 3.10 – Ângulos de atrito interno dos corpos de prova moldados com substituição parcial do cimento pelo calcário

Analise das rupturas dos corpos de prova						
Substituição de parte do cimento por calcário						
7 dias			14 dias		28 dias	
Adição	Ø	φ	Ø	φ	Ø	φ
0%	80º	70°	70º	50°	65°	40°
5%	60º	30°	70º	50°	60°	30°
10%	70º	50°	60º	30°	60°	30°
15%	70º	50°	60º	30°	70°	50°
20%	70º	50°	70°	50°	65°	40°
25%	70º	50°	70°	50°	60°	30°

Os valores dos ângulos de atrito interno (gráfico - 3.9) foram comparados com os valores da resistência a compressão (gráfico – 3.10) dos corpos de prova moldados com adição de calcário em substituição parcial ao cimento.

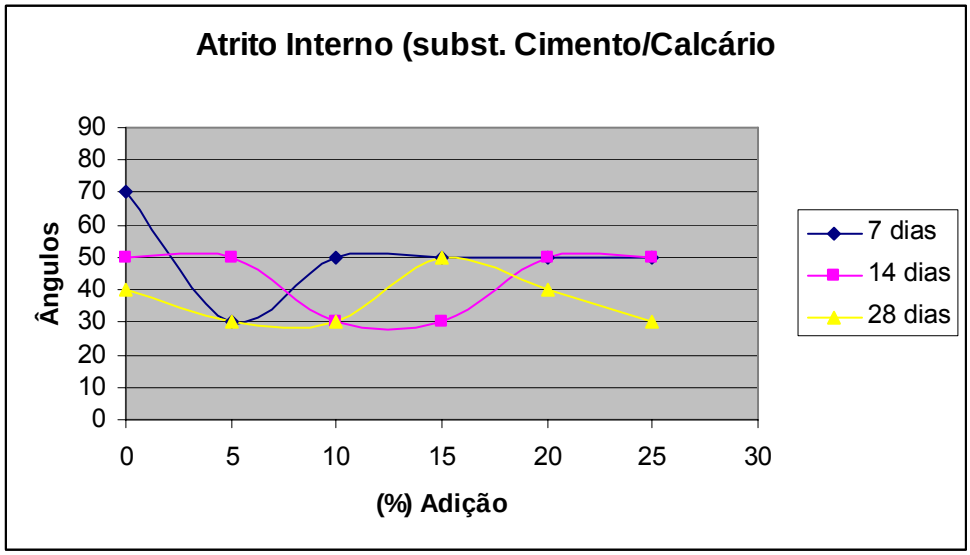

Gráfico 3.9 - Atrito interno (subst. cimento por calcário)

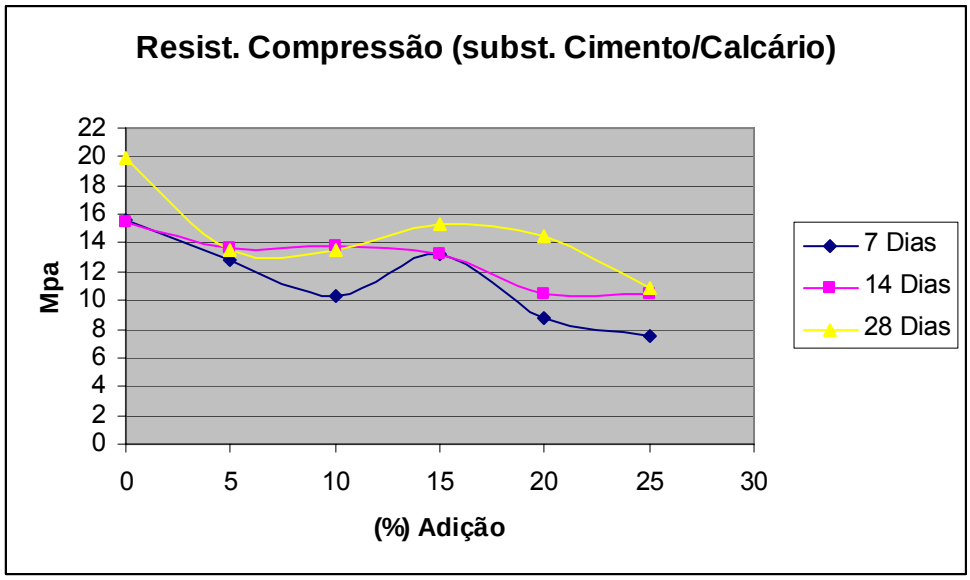

Gráfico 3.10 - Resistência à compressão (subst. cimento por calcário)

Analisando comparativamente os gráficos de resistência à compressão e o de atrito interno do material, verifica-se que aos 7 dias com adição de calcário em substituição ao cimento em percentuais de 5, e 10%, a resistência caiu e o atrito interno aumentou este fato é decorrente da redução de coesão cimento areia, sendo compensado pelo efeito calcário. A partir de 10% de adição de calcário na massa o atrito interno permaneceu constante o que implica na grande influência do grão do calcário no parâmetro atrito interno, e consequentemente ocasionando oscilações na resistência a partir desse valor.

Analisado o gráfico de 28 dias verifica-se que o teor ideal de trabalho do calcário e que atende as especificações normativas é entre 15 e 20%, ou seja, resistência superior a 14Mpa.

CAPÍTULO V

5. CONCLUSÕES

5.1 – Conclusões redundantes

Este trabalho, apesar do pouco número de ensaio, permitiu tirar as seguintes conclusões:

1. A utilização do rejeito de calcário da Pedra Cariri na formulação de argamassa como substituto parcial da areia, é possível, pois o mesmo apresentou uma pequena queda na resistência à compressão, comparado com o traço sem adição, permanecendo com valores acima de 14 Mpa em quase todos os blended. Com exceção do traço com adição de 20%.

2. O aproveitamento do rejeito de calcário da Pedra Cariri na formulação de argamassa como substituto parcial do cimento, não atende as normas da ABNT, pois houve queda na resistência com o aumento da idade de rompimento, exceto quando o teor de adição de calcário entre 15 e 20% do cimento

5.2 – Sugestões para trabalhos futuros

Os trabalhos desenvolvidos para esta pesquisa nos apontam novos direcionamentos, tais como;

5.2.1. - Aumentar o número de ensaios.

5.2.2. - Fazer ensaios para testar o efeito do calcário na impermeabilização da argamassa.

5.2.3. - Determinar índices físicos da massa antes e após ensaio

5.2.4. - Executar teste de arrancamento na aplicação de cerâmicas e rochas ornamentais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADEODATO, F. J. F; VIDAL, F. W. H. 2005. Desenvolvimento de Máquinas e Equipamentos para a Produção da Pedra Cariri. Trabalho apresentado no I Congresso Internacional de Rochas Ornamentais realizado no período de 20 a 23 de fevereiro de 2005, Guarapari, ES.

ALMEIDA, F. F. M. de & Hasui, Y. (coords). 1984. O Pré-Cambriano do Brasil. São Paulo. Edgard Blucher. 378pp.

ARAI, M. & COIMBRA, J. C. 1990. Análise Paleoecológica do Registro das primeiras ingressões marinhas na formação Santana: Cretáceo Inferior da Chapada do Araripe. In: Simpósio sobre a Bacia do Araripe e Bacias Interiores do Nordeste, 1, 1990, Crato, CE. Atlas Crato: DNPM/PICGG/CPCA/SBG-NF. Pp. 225-239.

ASSINE, M. L. 1992. Análise Estratigráfica da Bacia do Araripe. Revista Brasileira de Geociência. Rio de Janeiro, v. 22, p 289-300 1992a.

ASSINE, M. L. 1990. Sedimentação e Tectônica da Bacia do Araripe, Nordeste do Brasil. Rio Claro. 124p. (Dissertação de Mestrado, IGCE/UNESP).

BARRETO, M. L. 2001. Mineração e desenvolvimento sustentável: desafios para o Brasil. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2001 a. 210p.

BERTHOU, P. 1990. Lê bassin d'Araripe et lês petits bassins intracontinentaux voisins (N.E. du Brésil): formation et evolution dans lê cadre de l'ouverture de l'Atlantique Equatorial. Comparasion avec lês basins ouest-Africains situes dans lê même context. In: SIMPÓSIO SOBRE A BACIA DO ARARIPE E BACIAS INTERIORES DO NORDESTE, 1, Crato, 1990. Atlas... Crato, p. 113-134.

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

BEURLEN, K. – 1963. Geologia e Estratigrafia da Chapada do Araripe. In: Congresso Brasileiro de Geologia. Recife. Anais... Recife: SBG/SUDENE. 47p. (Suplemento).

BEURLEN, K. - 1966. Novos Equinóides no Cretáceo do Nordeste do Brasil. *An. Acad. Bra. Cienc*., 389(3/4):455-464.

BEURLEN, K. – 1971 – As condições ecológicas e Faciológicas da Formação Santana, na Chapada do Araripe (Nordeste do Brasil). Na. Acad. Brás. Ciênc., Rio de Janeiro, V. 43. Suplemento, p. 411-415.

CALCÁRIOS DE PERNAMBUCO 1987. Rocha para fins Industriais. Governo do Estado de Pernambuco Secretaria de Industria, Comercio e Minas Minérios de Pernambuco S/A. Recife, Janeiro de 1987 p.29-52.

CARVALHO, E. G. O 2003. Setor de Rochas Ornamentais do Ceará: reflexões e desafios. 2003. 445 p. Dissertação (Mestrado em Economia) – Universidade de Fortaleza: UNIFOR, Fortaleza/Ce.

CENDRERO, A. 1982. Técnicas e instrumentos de análise para evaluación, planificación y gestión del médio ambiente. [Apresentado ao Seminário sobre Ciência, Investigación y Médio Ambiente. 1982 jan. 25-30; Bogotá (CO)].p.3.

CODECE. 1997. Relatório Único de Pesquisa de Calcário Laminado de Santana do Cariri. Processos DNPM nos. 800123/92 a 800130/92. Fortaleza: 55p. il.

CODECE. 2001. Relatório Final Único de Calcário Laminado de Nova Olinda. Processos DNPM n° 800024/98 a 800026/98. Fortaleza: 52p. il.

HOLANDA, C. J. N.; GOMES, A. E. P.; MELO, E. B. de; Maranhão, R. J. L.; & outros. 1987. Calcários de Pernambuco: rochas para fins industriais, p. 29. Minérios de Pernambuco. Recife – PE.

KLEIN, C. 2002. Mineral Science. 22nd Edition, p. 411-413. ISBN: 0-471-25177-1. The University of New México.

LIMAVERDE, J. de A.; SOUZA, e.t. de & GOMES, F. de A.L. 1987 A Indústria de Calcário e Dolomito no Nordeste. Fortaleza: BNB/ETENE. Pp 303. (Série Estudos Econômicos e Sociais, 34).

LUZ, B; LINS, A. F. 2005. Rochas & Minerais Industriais – Usos E Especificações. CETEM-MCT Rio de Janeiro, 2005 p 327 - 350 .

MABESOONE, J. M. & TINOCO, L. M. 1973. Paleoecology of Apitan Santana Formation (Northeastern Brazil). Palaeogeogr., Paleoeocol, 14 (2): 87-118.

MEDEIROS, J. de Deus. 1995. Avaliação de Impacto Ambiental In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA PARA O PROGRESSO DA CIÊNCIA, 47, 1995, Anais.

MEDEIROS, R. A. 1990. Estratigrafia da Chapada do Araripe – o estado da arte. In: SIMP. SOBRE A BACIA DO ARARIPE E BACIAS INTERIORES DO NORDESTE, 1, 1990, Anais... Crato, DNPM, p. 43-51.

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 nº.2 Campina Grande.

NUTEC. 1998. Relatório Técnico Protótipo da Máquina de Corte para Lavra do Calcário Laminado. Fortaleza – CE. 30p. il.

OLIVEIRA, A. A. de; BRITO, A. de L. F. de; SANTOS, M. E. C. M. dos & SARDENBERG, M. 1979 Projeto Chapada do Araripe. Fortaleza: DNPM/CPRM. V.5. il. Relatório final.

OLIVEIRA, A. A. 1998. Calcários Laminados do Cariri: Estudo para redução de perdas na lavra e aproveitamento do rejeito mineral. Fortaleza: UFC. Centro de Ciências, Departamento de Geologia. Curso de Mestrado em Geologia, 160p. il. (Dissertação de mestrado em Geologia).

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).

PONS, D.; BERTHOU, P. Y. E CAMPOS, D. A. 1990. Quelques observations sur la palynologie de l1Aptien Supérieur el de l1Albien du bassin d1Araripe (N>E> du Brézil): 1 st Simpósio sobre a Bacia do Araripe e Bacias Interiores do Nordeste, Crato, Atas, pp. 241-252.

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

RAND, H. M. & MANSO, V. A. V. 1984. Levantamento gravimétrico e magnetométrico da Bacia do Araripe. In: CONG. BRAS. GEOL., 33. Rio de Janeiro, 1984. Anais... Rio de Janeiro, SBG. V. 4, p. 2011-2016.

ROBERTO. F. A. da C. 2005 Projeto Cadastramento de pedreiras de calcário laminado nos municípios de Nova Olinda e Santana do Cariri. Fortaleza, DNPM 10º Distrito. Relatório Final.

SILVA, M. A. M. 1988. Evaporitos do Cretácio da Bacia do Araripe: ambientes de deposição e história diagenética. Bol. Geoc. PETROBRÀS, 2 (1): 53-63.

SILVA, M. A. M. 1983. The Araripe Basin, Northeastern Brazil: Regional Geology and Fades Analysis of a Lower Cretaceous Evaporitic Depositional Complex. EUA. 290p. (Tese de Doutorado, Columbia University).

VIANA, M. S. S. 1990 Estratigafia e Paleontologia da Formação Santana, Cretácio Inferior da Bacia do Araripe,, Nordeste do Brasil. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Universidade federal do. Instituto de Geociências. Rio de Janeiro.

VIANA, M. S. S. & CAVALCANTE, V. M. M. 1991 Sobre a estratigrafia da Formação Santana, Bacia do Araripe. Revista Geologia. Fortaleza, v.4.pp. 51-60.

VIANA, M. S. S. 1992 Um Perfil Paleoecológico no Membro Crato da Formalçaoi Santana. In: Simpósio sobre Bacias Cretácias Brasileiras, 2, 1992. Rio Claro. Anais... Rio Claro: UNESP?IGCE?DGS. pp. 55-58. il.

VIANA, M. S. S.; NEUMANN, V. H. L. 2002. Membro Crato da Formação Santana, Chapada do Araripe, CE. Riquíssimo registro de fauna e flora do Cretáceo. SIGEP 5, Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil. http//:www.unb.br/ig/sigep/sítios.htm#5. Pp. 113-120.

VIANA, M. S. S.; NEUMANN, V. H. L. 2007. Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil – O Membro Crato da Formação Santana. http//:www.geocities.com/cariri_ce/http - fev. 2007.

VIDAL, F. W. H. 1995. A indústria extrativo de rochas ornamentais no Ceará, 178p. Dissertação de (Mestrado), Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1995.

VIDAL, F. W. H.; ROBERTO, F. A. COSTA. 2001. Rochas Ornamentais do Estado do Ceará. Avanços e Transferência Tecnológica em Rochas

Ornamentais: CETEM/MCT, Rio de Janeiro, p.93-106. (Série Rochas e Minerais Industriais n°4).

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

VIDAL, F. W. H.; PADILHA, M. W. M.; OLIVEIRA, R. R. 2005. Estudo de Explotação Preliminar dos Rejeitos da Pedra Cariri – CE. In: Anais do I CONGRESSO INTERNACIONAL DE ROCHAS ORNAMENTAIS / II SIMPÓSIO BRASILEIRO DE ROCHAS ORNAMENTAIS, CD Rom., Guarapari, Espírito Santo.

VIDAL, F. W. H.; PADILHA, M. W. M.; OLIVEIRA, R. R. 2005. Aspectos do Aproveitamento dos Rejeitos da Pedra Cariri. Trabalho apresentado no I Congresso Internacional de Rochas Ornamentais realizado no período de 20 a 23 de fevereiro de 2005, Guarapari, ES.

VIDAL, F. W. H et al 2005. Aspectos Geológicos da Bacia do Araripe e do Aproveitamento dos Rejeitos da Pedra Cariri – Ceara. Vº Simpósio de Rochas Ornamentais do Nordeste. Recife, (nov-2005) p 31-36.

VIDAL, F. W. H.; SOUZA, J. F. de. 2005. Rochas e Minerais Industriais do Ceará., Rochas Carbonáticas: CETEM/MCT e FUNCAP/Fortaleza, p.49-66.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADEODATO, F. J. F; VIDAL, F. W. H. 2005. Desenvolvimento de Máquinas e Equipamentos para a Produção da Pedra Cariri. Trabalho apresentado no I Congresso Internacional de Rochas Ornamentais realizado no período de 20 a 23 de fevereiro de 2005, Guarapari, ES.

ALMEIDA, F. F. M. de & Hasui, Y. (coords). 1984. O Pré-Cambriano do Brasil. São Paulo. Edgard Blucher. 378pp.

ARAI, M. & COIMBRA, J. C. 1990 Análise Paleoecológica do Registro das primeiras ingressões marinhas na formação Santana: Cretáceo Inferior da Chapada do Araripe. In: Simpósio sobre a Bacia do Araripe e Bacias Interiores do Nordeste, 1, 1990, Crato, CE. Atlas Crato: DNPM/PICGG/CPCA/SBG-NF. Pp. 225-239.

ASSINE, M. L. 1992. Análise Estratigráfica daBacia do Araripe. Revista Brasileira de Geociência. Rio de Janeiro, v. 22, p 289-300 1992ª.

ASSINE, M. L. 1990. Sedimentação e Tectônica da Bacia do Araripe, Nordeste do Brasil. Rio Claro. 124p. (Dissertação de Mestrado, IGCE/UNESP).

BARRETO, M. L. 2001. Mineração e desenvolvimento sustentável: desafios para o Brasil. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2001 a. 210p.

BERTHOU, P. 1990. Lê bassin d'Araripe ET lês petits bassins intracontinentaux voisins (N.E. Du Brésil): formation et evolution dans lê cadre de l'ouverture de l'Atlantique Equatorial. Comparasion avec lês basins ouest-Africains situes dans lê même context. In: SIMPÒSIO SOBRE A BACIA DO ARARIPE E BACIAS INTERIORES DO NORDESTE, 1, Crato, 1990. Atlas... Crato, p. 113-134.

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

BEURLEN, K. – 1993. Geologia e Estratigrafia da Chapada do Araripe. In: Congresso Brasileiro de Geologia. Recife. Anais... Recife: SBG/SUDENE. 47p. (Suplemento).

BEURLEN, K. – 1966. Novos Equinóides no Cretácio do Nordeste do Brasil. Na. Acad. Bra. Cienc., 389(3/4):455-464.

BEURLEN, K. – 1971. As condições ecológicas e Faciológicas da Formação Santana, na Chapada do Araripe (Nordeste do Brasil). Na. Acad. Brás. Ciênc., Rio de Janeiro, V. 43. Suplemento, p. 411-415.

CALCÁRIO DE PERNAMBUCO – 1987. Rochas para fins Industriais. Governo do Estado de Pernambuco Secretaria da Industria, Comercio e Minas Minérios de Pernambuco S/A. Recife, Janeiro de 1987 p.29-52.

CARVALHO, E.G. - 2003. O Setor de Rochas Ornamentais do Ceará: reflexões e desafios. 2003. 445 p. Dissertação (Mestrado em Economia) – Universidade de Fortaleza: UNIFOR, Fortaleza/Ce, 2003.

CENDRERO, A. Técnicas e instrumentos de análise para evaluación, planificación y gestión del médio ambiente. [Apresentado ao Seminário sobre Ciência, Investigación y Médio Ambiente. 1982 jan. 25-30; Bogotá (CO)].p.3.

CODECE 1997 Relatório Único de Pesquisa de Calcário Laminado. Processos DNPM nos. 800123/92 a 800130/92. Fortaleza. 55p. il.

CODECE. 2001. Relatório Final Único de Calcário Laminado de Nova Olinda. Processos DNPM nº 800024/98 a 800026/98. Fortaleza: 52p. Il.

HOLANDA, C. J. N.; GOMES, A. E. P.; MELO, E. B. de; MARANHÃO, R. J. L.; & outros. Calcários de Pernambuco: rochas para fins industriais, p. 29. Minérios de Pernambuco. Recife – PE, 1987

KLEIN, C. 2002. Mineral Science. 22nd Edition, p. 411-413. ISBN: 0-471-25177-1. The University of New México, 2002.

LIMAVERDE, J. de A.; SOUZA, e.t. de & GOMES, F. de A.L. 1987 A Indústria de Calcário e Dolomito no Nordeste. Fortaleza: BNB/ETENE. Pp 303. (Série Estudos Econômicos e Sociais, 34).

LUZ, B; LINS, A. F. 2005. Rochas & Minerais Industriais – Usos E Especificações. CETEM-MCT Rio de Janeiro, 2005 p 327 - 350 .

MABESOONE, J. M. & TINOCO, L. M. 1973. Paleoecology of Apitan Santana Formation (Northeastern Brazil). Palaeogeogr., Paleoeocol, 14 (2): 87-118.

MEDEIROS, J. de Deus. 1995. Avaliação de Impacto Ambiental In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA PARA O PROGRESSO DA CIÊNCIA, 47, 1995, Anais.

MEDEIROS, R. A. 1990. Estratigrafia da Chapada do Araripe – o estado da arte. In: SIMP. SOBRE BACIA DO ARARIPE E BACIAS INTERIORES DO NORDESTE, 1, 1990, Anais... Crato, DNPM, p. 43-51.

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 nº.2 Campina Grande 2002.

NUTEC. 1998. Relatório Técnico Protótipo da Máquina de Corte para Lavra do Calcário Laminado. Fortaleza – CE. 30p. Il.

OLIVEIRA, A. A. de; BRITO, A. de L. F. de; SANTOS, M. E. C. M. dos & SARDENBERG, M. 1979 Projeto Chapada do Araripe. Fortaleza: DNPM/CPRM. V.5. il. Relatório final.

OLIVEIRA, A. A. 1998. Calcários Laminados do Cariri: Estudo para redução de perdas na lavra e aproveitamento do rejeito mineral. Fortaleza: UFC. Centro de Ciências, Departamento de Geologia. Curso de Mestrado em Geologia, 1998, 160p. il. (Dissertação de mestrado em Geologia).

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 2006, 200p. (Tese de Doutorado).

PONS, D.; BERTHOU, P. Y. E CAMPOS, D. A. 1990. Quelques observations sur La palynologie de l'Aptien Supérieur el de l'Albien Du bassins d'Araripe (NE du Brézil): 1 st Simpósio sobre a Bacia do Araripe e Bacias Interiores do Nordeste, Crato, Atlas, pp. 241-252.

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

RAND, H. M. & MANSO, V. A. V. 1984. Levantamento Gravimétrico e magnetométrico da Bacia di Araripe. In: CONG. BRAS. GEOL., 33. Rio de Janeiro, 1984. Anais... Rio de Janeiro, SBG. V. 4, p. 2011-2016.

ROBERTO. F.A. da C. 2005 Projeto Cadastramento de pedreiras de calcário laminado nos municípios de Nova Olinda e Santana do Cariri. Fortaleza, DNPM 10º Distrito. Relatório Final.

SILVA, M. A. M. 1988. Evaporitos do Cretácio da Bacia do Araripe: ambientes de deposição e história diagenética. Bol. Geoc. PETROBRAS, 2 (1): 53-63.

SILVA, M. A. M. 1983. The Araripe Basin, Northeastern Brazil: Regional Geology and Fades Analysis of a Lower Cretaceous Evaporitic Depositional Complex. EUA. 290p. (Tese de Doutorado, Columbia University).

VIANA, M. S. S. 1990 Estratigafia e Paleontologia da Formação Santana, Cretácio Inferior da Bacia do Araripe,, Nordeste do Brasil. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Universidade federal do. Instituto de Geociências. Rio de Janeiro.

VIANA, M. S. S. & CAVALCANTE, V. M. M. 1991 Sobre a estratigrafia da Formação Santana, Bacia do Araripe. Revista Geologia. Fortaleza, v.4.pp. 51-60.

VIANA, M. S. S. 1992 Um Perfil Paleoecológico no Membro Crato da Formalçaoi Santana. In: Simpósio sobre Bacias Cretácias Brasileiras, 2, 1992. Rio Claro. Anais... Rio Claro: UNESP?IGCE?DGS. pp. 55-58. il.

VIANA, M. S. S.; NEUMANN, V. H. L. 2002. Membro Carto da Formação Santana, Chapada do Araripe, CE. Riquíssimo registro de fauna e flora do Cretácio. SIGEP 5, Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil. HTTP//:WWW.unb.br/ig/sigep/sítios.htm#5. Pp. 113-120.

VIANA, M. S. S; NEUMANN, V. H. L. 2007. Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil – O Membro Crato da Formação Santana. HTTP//:WWW.geocities.com/cariri_ce/http - fev. 2007.

VIDAL, F. W. H. 1995. A indústria extrativa de rochas ornamentais do Ceará, 178p. Dissertação de (Mestrado), Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1995.

VIDAL, F. W. H.; ROBERTO, F. A. COSTA. 2001. Rochas Ornamentais do Estado do Ceará. Avanços e Transferências Tecnológicas em Rochas

Ornamentais: CETEM/MCT, Rio de Janeiro, p.93-106. (Série Rochas e Minerais Industriais nº4).

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

VIDAL, F. W. H.; PADILHA, M. W. M.; OLIVEIRA, R. R. 2005. Estudo de Explotação Preliminar dos Rejeitos da Pedra Cariri – CE. In: Anais do I CONGRESSO INTERNACIONAL DE ROCHAS ORNAMENTAIS / II SIMPÓSIO BRASILEIRO DE ROCHAS ORNAMENTAIS, CD Rom., Guarapari, Espírito Santo.

VIDAL, F. W. H; PADILHA, M. W. M; OLIVEIRA, R. R. 2005. Aspectos do Aproveitamento dos Rejeitos da Pedra Cariri. Trabalho apresentado no I Congresso Internacional de Rochas Ornamentais realizado no período de 20 a 23 de fevereiro de 2005, Guarapari, ES.

VIDAL, F. W. H et al 2005. Aspectos Geológicos da Bacia do Araripe e do Aproveitamento dos Rejeitos da Pedra Cariri – Ceara. Vº Simpósio de Rochas Ornamentais do Nordeste. Recife, (nov-2005) p 31-36.

VIDAL, F. W. H.; SOUSA, J. F. de. 2005. Rochas e Minerais Industriais do Ceará., Rochas Carbonáticas: CETEM/MCT e FUNCAP/Fortaleza, p.49-66.