

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA  
ÁREA DE CONSTRUÇÕES RURAIS E AMBIÊNCIA**

**MARIA LUIZA DE SOUZA REZENDE**

**ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICA DA UTILIZAÇÃO DO RESÍDUO DE  
CAULIM EM BLOCOS DE VEDAÇÃO**

**Campina Grande - PB**

**2007**

**MARIA LUIZA DE SOUZA REZENDE**

**ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICA DA UTILIZAÇÃO DO RESÍDUO DE  
CAULIM EM BLOCOS DE VEDAÇÃO**

**ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: CONSTRUÇÕES RURAIS**

**Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Campina Grande como requisito para obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola.**

**Orientadores:**

**Prof. D. Sc. Gelmires de Araújo Neve**

**Prof. D.Sc. José Wallace Barbosa do Nascimento**

**Campina Grande - PB**

**2007**

**BANCA EXAMINADORA**

---

**Gelmires de Araújo Neves, D. Sc.**  
**(Orientador - UAEMa/UFCG)**

---

**José Wallace Barbosa do Nascimento, D. Sc.**  
**(Orientador – UAEMa/UFCG)**

---

**Luciana de Figueirêdo Lopes Lucena, Dr<sup>a</sup>. Sc.**  
**(Examinador Interno – UAEMa/UFCG)**

---

**John Kennedy Guedes Rodrigues, D. Sc.**  
**(Examinador Interno – PPGECA/UFCG)**

**Campina Grande - PB**

**2007**

## **DEDICATÓRIA**

A meus pais, **Aldir e Lindalva**, a meu marido e companheiro **Artur**, a meus filhos, **Betânia, Helena, Elizabeth e Artur**, pelo amor, paciência e confiança, e a meus netos, **Maria Clara e Pedro**, por serem para mim um estímulo na busca por um mundo melhor.

## AGRADECIMENTOS

A Deus e a todos os seus anjos, em especial àqueles que me guardam e a todos os que, mesmo estando em outro plano espiritual, continuaram torcendo por mim.

Ao professor Dr. Gelmires de Araújo Neves, pela valiosa orientação, e em especial ao professor Dr. José Wallace Barbosa do Nascimento, não só pela orientação como também pela confiança ao permitir o meu ingresso no programa de pós-graduação em Engenharia Agrícola.

Aos professores, pelos ensinamentos, e aos funcionários, pela atenção e gentileza com que sempre me trataram.

Aos colegas professores da Unidade Acadêmica de Engenharia de Produção, pelo incentivo, e aos colegas alunos do mestrado, pela alegria e companheirismo.

Ao Professor Dr. Marx Prestes Barbosa, pela atenção e pelas imagens TM/LANDSAT-5 utilizadas nesta pesquisa.

Ao CNPq - Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, pela bolsa recebida durante o mestrado.

A CAULISA - Comércio e Beneficiamento de Caulim Ltda., na pessoa do Dr. Eduardo, pela atenção e valiosas informações sobre beneficiamento e exploração de caulim.

A Rocha Pré-moldados, pela moldagem dos blocos utilizados nesta pesquisa.

À Associação Técnico-Científica Ernesto Luiz de Oliveira Júnior - ATECEL<sup>®</sup>, pela indispensável colaboração na realização dos ensaios tecnológicos.

## SUMÁRIO

LISTA DE FLUXOGRAMAS.....	iv
LISTA DE FIGURAS.....	iv
LISTA DE TABELAS.....	vi
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS.....	vii
RESUMO.....	viii
ABSTRACT.....	ix
<b>CAPÍTULO 1</b>	
1.1 - <b>Introdução</b> .....	01
1.2 - <b>Objetivos</b> .....	02
1.2.1 - <b>Objetivo Geral</b> .....	03
1.2.2 - <b>Objetivos Específicos</b> .....	03
1.2.3 - <b>Apresentação da Dissertação</b> .....	03
<b>CAPÍTULO 2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	04
2.1 - <b>Caulim</b> .....	04
2.2 - <b>Beneficiamento do Caulim</b> .....	06
2.3 - <b>O caulim no estado da Paraíba</b> .....	10
2.4 - <b>Resíduos Gerados pelo Beneficiamento</b> .....	13
2.4.1 - <b>Impactos ambientais causados pelo beneficiamento do caulim</b> .....	15
2.4.2 - <b>Alternativas para minimizar o impacto ambiental causado pela extração mineral</b> .....	17
2.5 - <b>Metodologia de projeto de produto</b> .....	21
2.5 - <b>Blocos de concreto para alvenarias de vedação (sem função estrutural)</b> .....	22
<b>CAPÍTULO 3 - MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	26
3.1 - <b>Materiais</b> .....	26
3.2 - <b>Métodos</b> .....	26
3.2.1 - <b>Classificação ambiental</b> .....	27
3.2.1.1 - <b>Obtenção do extrato lixiviado</b> .....	27
3.2.1.2 - <b>Obtenção do extrato solubilizado</b> .....	27
3.2.2 - <b>Caracterização física</b> .....	28

3.2.2.1 - Análise granulométrica.....	28
3.2.2.2 - Massa unitária em estado solto.....	28
3.2.2.3 - Teor de materiais pulverulentos.....	28
3.2.3 - Caracterização mineralógica.....	28
3.2.3.1- Análise termodiferencial (ATD) e termogravimétrica (ATG).....	29
3.2.3.2 - Difração de raios-X.....	29
3.2.3.3 - Análise química.....	29
3.2.4 - Ensaio tecnológicos.....	29
3.2.4.1 - Estudo dos traços.....	30
3.2.4.2 - Moldagem dos blocos.....	30
3.2.4.3 - Cura dos blocos .....	31
3.2.4.4 - Ensaio de resistência à compressão simples.....	31
3.2.4.5 - Determinação da absorção de água.....	32
3.2.5 - Análise de disponibilidade de matéria-prima comercial.....	33
3.2.6 - Análise de custos de produção.....	30
<b>CAPÍTULO 4 - APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS.....</b>	<b>34</b>
<b>4.1 - Classificação ambiental.....</b>	<b>34</b>
<b>4.2 - Caracterização física.....</b>	<b>35</b>
4.2.1 - Areia.....	35
4.2.2 - Resíduo de caulim.....	36
<b>4.3 - Caracterização mineralógica do resíduo de caulim.....</b>	<b>37</b>
4.3.1 - Análise química.....	37
4.3.2 - Difração de raios-X.....	38
4.3.3 - Análises termodiferencial e termogravimétrica.....	39
<b>4.4 - Ensaio tecnológicos.....</b>	<b>40</b>
4.4.1 - Estudo dos Traços.....	40
4.4.2 - Ensaio de resistência à compressão simples.....	41
4.4.3 - Ensaio de absorção de água por imersão.....	42
<b>4.5 - Análise de disponibilidade de matéria-prima.....</b>	<b>43</b>
<b>4.6 - Análise de custos.....</b>	<b>45</b>
4.6.1 - Produção artesanal.....	45

4.6.2 - Análise de custos para implantação de uma fábrica com capacidade de produção de 57.600 blocos mensais.....	46
<b>CAPÍTULO 5 - CONCLUSÕES.....</b>	<b>49</b>
<b>CAPÍTULO 6 - SUGESTÕES PARA FUTURAS PESQUISAS.....</b>	<b>51</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>52</b>
<b>ANEXOS</b>	
<b>ANEXO A - Resultados dos ensaios de resistência a compressão simples</b>	

## LISTA DE FLUXOGRAMAS

Fluxograma 1. Seqüência das etapas do beneficiamento a úmido.....	06
Fluxograma 2. Seqüência das etapas para caracterização e classificação de resíduos sólidos.....	16

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Primeira etapa do beneficiamento do caulim.....	08
Figura 1a. Caulim bruto sendo colocado no tanque para lavagem.....	07
Figura 1b. Transporte do caulim já disperso em água.....	07
Figura 1c. Seleção primária (# ¼").....	07
Figura 1d. Saída das peneiras de ¼".....	07
Figura 1e. Transporte do resíduo através de correias transportadoras.....	07
Figura 1f. Depósito de resíduos a céu aberto.....	07
Figura 1g. Tubulações para transporte da pasta para coberto de peneiramento.....	08
Figura 1h. Coberto de peneiramento.....	08
Figura 2. Tanques de decantação.....	08
Figura 3. Filtração e prensagem da pasta de caulim sedimentada.....	09
Figura 3a. Filtração e prensagem.....	09
Figura 3b. Vista lateral da prensa.....	09
Figura 4. Secagem do caulim prensado.....	10
Figura 4a. Pré-secagem das "tortas".....	10
Figura 4b. Secagem em fornos.....	10
Figura 5. Localização da reserva garimpeira segundo a portaria 1.524-MME, 1982.....	11
Figura 6. Garimpeiro se preparando para descer a uma mina de caulim.....	12
Figura 7. Descida vista pelas galerias iluminadas por vela.....	12
Figura 8. Trabalhadores peneiram o resíduo fino do beneficiamento de caulim para obtenção do "siri", que é utilizado como componente para argamassas.....	13
Figura 9. Resíduo de caulim (1).....	14
Figura 10. Resíduo de caulim (2).....	14

Figura 11. Barreira vegetal em linha única composta de eucaliptos, instalada entre a via de circulação interna e a pilha de estocagem.....	19
Figura 12. Modelos de blocos pré-moldados de concreto para alvenaria.....	23
Figura 13. Argamassa em bancada e forma devidamente untada com óleo.....	31
Figura 14. Forma sendo preenchida, vibrada e compactada manualmente.....	31
Figura 15. Desmoldagem.....	31
Figura 16. Acomodação dos blocos.....	31
Figura 17. Difratoograma do resíduo de caulim.....	38
Figura 18. Curva de análise termodiferencial.....	39
Figura 19. Curva de análise termogravimétrica.....	40
Figura 20. Resistência à compressão simples aos 7, 28 e 63 dias de cura.....	42
Figura 21. Imagens de depósitos de rejeitos de caulim nos municípios de Assunção e Juazeirinho.....	44
Figura 22. Imagens de depósitos de rejeitos de caulim nos municípios de Tenório e Junco do Seridó.....	44
Figura 23. Localização da região em que se localizam as empresas de beneficiamento de caulim.....	46

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Hierarquia de gerenciamento de resíduos.....	18
Tabela 2. Dimensões reais (cm) para blocos de concreto simples.....	23
Tabela 3. Resultados da análise química do extrato lixiviado e limites ABNT.....	34
Tabela 4. Resultados da análise de extrato solubilizado e limites ABNT.....	35
Tabela 5. Características físicas da areia.....	35
Tabela 6. Composição granulométrica da areia.....	36
Tabela 7. Características físicas do resíduo de caulim.....	36
Tabela 8. Composição granulométrica do resíduo de caulim.....	37
Tabela 9. Composição química do resíduo de caulim (%)......	37
Tabela 10. Traço convencional 1:6 e com incorporação de resíduo.....	40
Tabela 11. Material utilizado para moldagem de 3 blocos.....	41
Tabela 12. Média de resistência a compressão simples.....	41
Tabela 13. Testes de absorção por imersão.....	42
Tabela 14. Relação das empresas que beneficiam caulim no estado da Paraíba e produção mensal de resíduos.....	43
Tabela 15. Quantitativo dos depósitos de rejeito de caulim apresentados nas Figura 21 e 22.....	45
Tabela 16. Composição de custo para fabricação artesanal de 2.000 blocos.....	46
Tabela 17. Investimento inicial para instalação de uma unidade de produção de blocos com capacidade para fabricação de 57.600 blocos mensais.....	48

## ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

$A_b$  - Absorção de Água

A/C - Fator Água/Cimento

ATD - Análise Térmica Diferencial

ATECEL - Associação Técnico Científica Ernesto Luiz de Oliveira Junior

ATG - Análise Termogravimétrica

CAGEPA – Companhia de Água e Esgoto da Paraíba

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente

DNPM - Departamento Nacional de Produção Mineral

EIAs - Estudos de Impactos Ambientais

HABITARE – Programa de Tecnologia da Habitação

IBPS - Instituto Brasileiro de Produção Sustentável e Direito Ambiental

LO - Licença de Operação

MME - Ministério de Minas e Energia

$M_s$  - Massa seca

$M_{SAT}$  - Massa saturada

PR - Perda ao Rubro

PRADs - Plano de Recuperação de Áreas Degradadas

RI - Resíduo Insolúvel

RIMAs - Relatório de Impactos Ambientais

SINAPROCIM - Sindicato Nacional das Indústrias de Produtos de Cimento

SUDEMA - Superintendência de Administração do Meio Ambiente

# ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICA DA UTILIZAÇÃO DO RESÍDUO DE CAULIM EM BLOCOS DE VEDAÇÃO

## RESUMO

A extração de minerais não metálicos no Estado da Paraíba foi classificada pela Superintendência de Administração do Meio Ambiente como a segunda maior atividade geradora de resíduos sólidos industriais no estado. Desta pesquisa se objetivou principalmente caracterizar o resíduo gerado pelas empresas de beneficiamento de caulim quanto às suas características físicas e mineralógicas, quanto aos riscos ao meio ambiente e estudar também a viabilidade técnica da utilização deste resíduo na produção de blocos de vedação sem função estrutural. O resíduo foi classificado, segundo a norma da ABNT NBR-10004/04, como II-A, material não inerte, necessitando de aterros pelo fato de possuir cádmio e manganês em quantidades acima do especificado pela norma. A caracterização física foi realizada através dos ensaios: massa específica aparente e análise granulométrica, a caracterização mineralógica pela difração de raios-X, análises térmicas (ATD e ATG) e análise química. Para os ensaios tecnológicos de resistência a compressão e absorção de água, foram moldados blocos com dimensões de 9x19x39cm, no traço 1:6 com incorporação de resíduo nas proporções de 40, 70 e 100% em relação à massa do agregado miúdo. Verificou-se, após a análise dos resultados, que os blocos nos quais se utilizaram 40 e 70% de resíduo em substituição à areia apresentaram, aos 28 dias de cura, valores dentro dos limites estabelecidos pela norma ABNT NBR-7171/92, sendo o de 70% o mais recomendado pelo fato de utilizar maior quantidade de resíduo. O volume de resíduo gerado mensalmente permite a fabricação mensal de 2.000.000 de blocos o suficiente, portanto, para se construir 1.000 habitações de interesse social.

Palavras-chave: Caulim, Resíduo Sólido, Meio Ambiente

# **STUDY OF TECHNICAL VIABILITY OF THE USE OF THE RESIDUE OF KAOLIN IN BLOCKS OF MASONRY**

## **ABSTRACT**

The extraction of minerals non metallic in the State of Paraíba was classified by the Superintendency of Administration of the environment as the second largest generating activity of industrial solid residues in the state. This research was accomplished with the objective principal of characterizing the residue generated by the companies of kaolin improvement with relationship to your physical and mineralogical characteristics, with relationship to the risks to the environment and to also study the technical viability of the use of this residue in the production of fencing blocks without structural function. The residue was classified according to ABNT NBR-10004/04'S norm as II-TO, material non inert, needing embankments for the fact of possessing cadmium and manganese in amounts above specified by the norm. The physical characterization was accomplished through the rehearsals: apparent specific mass and grain size distribution, the mineralogical characterization for the X ray diffraction, thermal analyses (ATD and ATG) and chemical analysis. For the technological rehearsals of resistance to the compression and absorption of water were moulded blocks with dimensions of 9x19x39cm, in the line 1:6 with residue incorporation in the proportions of 40, 70 and 100% in relation to the small aggregate. After the analysis of the results, it was verified that the blocks us which 40 and 70% of residue were used in substitution to the sand, they presented inside to the 28 days of cure values of the established limits for the norm ABNT NBR-7171/92, being it of 70% the more recommended by the fact of using larger amount of residue. The residue volume generated monthly it allows the monthly production of 2.000.000 of blocks, enough to build 1.000 houses of social interest.

Key-words: Kaolin, Solid Residue, Environment

## CAPÍTULO 1

### 1.1 – Introdução

A vedação vertical ocupa posição estratégica na construção de edificações, quer sejam residenciais ou industriais, rurais ou urbanas. É o subsistema que tem, como principais funções, compartimentar a edificação e propiciar aos ambientes características que permitam o desenvolvimento adequado das atividades para as quais eles foram projetados. Apesar da incidência do custo da produção dos vedos no orçamento do edifício não ser o item de maior importância, quando se considera conjuntamente toda a vedação vertical e as interfaces que fazem com os demais subsistemas do edifício, este conjunto representa, normalmente, o maior item de custo de produção. Ainda é na produção da vedação vertical, sobretudo dos vedos e revestimentos, que se observam os maiores índices de desperdícios, tanto de materiais como de mão-de-obra empregada (SILVA & SILVA, 2003).

O relatório final da Primeira Conferência Nacional Sobre o Meio Ambiente, 2003, destaca a necessidade da elaboração de políticas de controle ambiental e de recomposição do meio físico e biótico de áreas impactadas pela mineração, estimulando a reutilização, a reciclagem e o aproveitamento de resíduos e rejeitos de mineração na construção civil, na produção de artesanato mineral e de materiais agrogeológicos (SCLIAR, 2003).

O acúmulo de resíduos no beneficiamento do caulim vem-se tornando motivo de estudos em diversas áreas de conhecimento. No estado da Paraíba a disposição deste material vem sendo realizada de forma desordenada, causando danos ambientais que necessitam ser minimizados ou, até mesmo, eliminados, quer seja pela otimização do método de exploração e armazenamento ou pela apresentação de soluções de utilização do rejeito como matéria-prima principal ou secundária em produtos. Pesquisas sobre reciclagem e aproveitamento de resíduos, em particular os de mineração, vêm sendo desenvolvidas por vários pesquisadores em todo o mundo. Segundo Neves et al. (2002), as razões que motivam essas pesquisas são de maneira geral: redução do impacto ambiental, esgotamento de matérias-primas não renováveis, redução de custos e consumo de energia além de melhoria na saúde da população.

Um dos agravantes ao depósito dos resíduos é que, não havendo aproveitamento, o resíduo é cumulativo e não se pode precisar os efeitos futuros, uma vez que, a cada lote beneficiado, o dobro do seu volume é gerado em resíduo (SUDEMA, 2004). Tal levantamento se refere, porém, a toda a exploração de minerais não metálicos. No caso específico do caulim, a quantidade estimada de resíduos no beneficiamento está na faixa de 80 a 90% do

volume bruto explorado, dos quais 70% gerado na primeira etapa do processo e denominado resíduo grosso, e o restante que fica retido na peneira de nº. 200, ou seja, o resíduo fino; esses resíduos são depositados nos terrenos das empresas, estradas e sobre a vegetação nativa, sendo geralmente compostos de grande quantidade de sílica e uma pequena proporção de feldspato e mica (LIMA, 2005).

Estudos em áreas de beneficiamento do caulim no Estado de Minas Gerais, onde este mineral é da mesma classificação que o da Paraíba, isto é, residual, comprovaram enriquecimento de águas e sedimentos em margens de rios, por Alumínio, Ferro e Zinco bem acima dos limites estabelecidos pela norma ABNT NBR-10004:1987 (JORDÃO, PEREIRA, PEREIRA, 2002). Aos danos ambientais causados pelo depósito a céu aberto dos resíduos, se somam os problemas sociais causados pela extração e beneficiamento de caulim na Paraíba. A região em que se concentram as empresas não é propícia à agricultura e, sendo uma reserva garimpeira, a falta de empregos incentiva o garimpo clandestino e à exploração do “siri”, material resultante do peneiramento da borra do caulim, resíduo fino acumulado das indústrias de beneficiamento e composto, basicamente, de silício, como únicas alternativas de geração de renda. A inalação deste material, que é altamente pulverulento, provoca doenças pulmonares e o contato com a pele ocasiona dermatites (SAKAMOTO, 2003).

As exigências de gerenciamento e manejo de resíduos impostas pelas leis e tarifas ambientais, além de trazerem grande preocupação e custos aos empresários, vêm motivando pesquisas sobre reciclagem. Para que haja uma possível utilização racional do resíduo na tentativa de minimizar tais problemas, é necessário que se faça um levantamento não apenas da quantidade de resíduos gerados nos pólos de beneficiamento mas, também das características físicas, químicas e mineralógicas desses materiais.

## 1.2 – Objetivos

Neste subitem são descritos o objetivo geral e os objetivos específicos aos quais se destina esta pesquisa.

### 1.2.1 - Objetivo geral

Com esta pesquisa se objetivou, em primeiro plano, classificar o resíduo de beneficiamento do caulim do estado da Paraíba e estudar a viabilidade técnica da sua utilização como material para fabricação de blocos de vedação sem função estrutural.

### 1.2.2 - Objetivos específicos

- Classificar o resíduo sólido do caulim, segundo a norma ABNT NBR-10004 (ABNT, 2004 a)
- Identificar as empresas de beneficiamento de caulim dos municípios de Juazeirinho, Junco do Seridó e Tenório, no Estado da Paraíba, e sua capacidade de geração de resíduo
- Estimar a quantidade de resíduo acumulada na região
- Determinar as características físicas e mineralógicas das matérias-primas convencionais e alternativas (resíduos)
- Realizar ensaios tecnológicos dos blocos convencionais e alternativos, de acordo com as normas da ABNT NBR-7171 (ABNT, 1992)
- Estudar a viabilidade técnica da utilização do resíduo na produção de blocos de vedação sem função estrutural

### 1.2.3 - Apresentação da dissertação

Este trabalho está dividido em 6 capítulos, em que o capítulo 1 contém a introdução ao tema, o objetivo geral e os objetivos específicos.

No capítulo 2 se faz uma revisão bibliográfica sobre a exploração e beneficiamento do caulim, impactos ambientais causados pelo resíduo e tecnologias aplicadas para a minimização desses problemas, além de uma breve revisão sobre a utilização e técnicas de fabricação de blocos de vedação.

No capítulo 3 são descritos os materiais e a metodologia experimental, abordando-se tópicos como caracterização dos materiais e ensaios tecnológicos.

No capítulo 4 se descrevem e se analisam os resultados dos ensaios descritos no capítulo 3, enquanto no capítulo 5 são apresentadas as conclusões do trabalho, e no capítulo 6, sugestões para futuras pesquisas. As referências e anexos se encontram ao final da dissertação.

## CAPÍTULO 2

### REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo se apresentam os aspectos mais relevantes da literatura sobre o caulim, processo de beneficiamento e resíduos gerados durante este processo, no Estado da Paraíba. São abordados, também, os impactos ambientais causados por este resíduo e apresentadas algumas alternativas para redução dos efeitos, dentre elas o aproveitamento na construção civil, cujos tópicos mais relevantes sobre blocos de vedação sem função estrutural, são descritos a seguir.

#### 2.1 – Caulim

O caulim é uma das argilas industriais mais utilizadas mundialmente, sendo que a expressão argila industrial designa as argilas que existem em quantidades economicamente suficientes para a exploração industrial (SANTOS, 1989). Segundo DNPM (2001), na profundidade de 0 a 10 metros, é um dos mais importantes e, provavelmente, um dos seis minerais mais abundantes da crosta terrestre; trata-se de um material inorgânico, atóxico, incombustível, insolúvel em água, imputrescível, neutro, imune ao ataque de microrganismos e mudanças bruscas de temperatura (COMIG, 1994, apud SILVA, 2001).

O termo caulim, ou “china clay”, deriva da palavra chinesa Kauling (colina alta) e se refere a uma colina de Jauchau Fu, ao norte da China, onde o material foi originalmente obtido. Entende-se por caulim do material formado por um grupo de silicatos hidratados de alumínio, principalmente caulinita e haloisita (SILVA, 2001), que queima a 1250 °C, com cor branca ou clara, em virtude do baixo teor de ferro (MOURA, 1981). Embora o mineral caulinita ( $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) seja o principal constituinte do caulim, podem ocorrer outros minerais do grupo da caulinita com outras substâncias, sob a forma de impurezas, tais como areia, quartzo, mica, feldspato, óxido de ferro, óxido de titânio, etc. A fórmula química dos minerais do grupo da caulinita é  $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot m\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ , em que m varia de 1 a 3 e n de 2 a 4 (DNPM, 2001).

O caulim é o produto resultante de alterações hidrotérmicas (processos que ocorreram em fase líquida, geralmente aquosa, acima da temperatura ambiente) ou pela ação de intemperismo (água de chuva, águas em movimento) sobre rochas feldspáticas; quando se encontra no local original da rocha, ou seja, quando não há deslocamento

considerável do material, é denominado caulim primário ou residual. Quando ocorre transporte por correntes fluviais e posterior sedimentação, o caulim é denominado sedimentar (SANTOS, 1989).

Nos caulins residuais o teor de argilominerais é baixo atingindo, às vezes, a faixa de 10 a 15%, contendo grandes quantidades de resto da rocha matriz; já nos caulins sedimentares o material grosseiro da rocha matriz é eliminado e o caulim se torna rico em argilominerais, atingindo teores superiores a 90%. São denominados argilominerais os minerais constituintes característicos das argilas, geralmente cristalinos; quimicamente, são silicatos de alumínio hidratados contendo, em certos tipos, outros elementos como magnésio, ferro, cálcio, sódio, potássio, lítio e outros (SANTOS, 1989).

O uso do caulim se baseia em suas propriedades naturais, tais como: brancura, granulometria muito fina das partículas, pequena abrasão e grande inércia ou estabilidade química (MOURA, 1981), sendo a primeira utilização industrial a fabricação de artigos cerâmicos de porcelana, há muitos séculos atrás; somente a partir da década de 1920 é que teve início a aplicação do caulim na indústria do papel, precedida pelo uso na indústria da borracha; posteriormente, o caulim passou a ser utilizado em plásticos, pesticidas, rações, produtos alimentícios e farmacêuticos, fertilizantes e outros tendo, atualmente, uma variedade muito grande de aplicações industriais (DNPM, 2001).

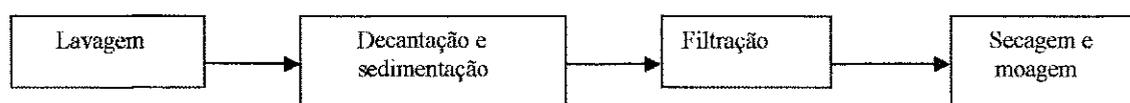
A atividade de mineração do caulim se inicia com a pesquisa para caracterização do corpo e da qualidade do minério e se estende até o beneficiamento e transporte dos resíduos. Os trabalhos de lavra podem ser manuais, semi-mecanizados ou mecanizados, podendo ser a céu aberto, subterrâneos ou mistos. Em todas as fases desta atividade, se encontram impactos negativos aos meios físico, biológico e antrópico (VIDAL, 2001). A partir de 1986, pelas exigências legais e também pela pressão ecológica por parte da população, a obtenção da LO (Licença de Operação) pelas empresas de mineração, está vinculada à apresentação de Estudos de Impactos Ambientais (EIAs) e Relatório de Impactos Ambientais (RIMAs); esses documentos devem ser acompanhados do Plano de Recuperação de Áreas Degradadas (PRADs) este último a ser implantado simultaneamente ao desenvolvimento das atividades impactantes (FARIAS & COELHO, 2002); tais exigências, no entanto, não podem ser aplicadas a atividades de garimpo devido à informalidade em que as mesmas se desenvolvem.

A recuperação de áreas degradadas na exploração do caulim se torna complexa pelo fato de que a usina de beneficiamento nem sempre está localizada na área de exploração, dificultando a reposição dos resíduos e a recomposição do solo.

O Balanço Mineral Brasileiro de 2001 apresenta dados que demonstram que o Brasil produziu, em 2000, cerca de 1.735.000 toneladas de caulim beneficiado. No período de 1988 a 2000, a produção bruta passou de 2,1 milhões para 3,7 milhões de toneladas, registrando um aumento de 76,2%, enquanto a beneficiada passou de 796 mil para 1,7 milhão de toneladas, acusando um aumento de 135,7%, considerando-se os extremos do período em análise, o que representa crescimentos anuais de 4,83% e 6,53%, respectivamente (SILVA, 2001).

## 2.2 - Beneficiamento do caulim

Os métodos mais utilizados, são: processo a seco e processo a úmido. O processo a seco, também conhecido como Processo de Flutuação pelo Ar (Air-Floated) consiste de um moinho tipo ciclone, ou seja, um moinho de bolas ou de atrito e um separador de ar (ciclone). As partículas mais finas são retiradas por coletores e as mais grossas são recicladas no moinho, sendo as muito finas coletadas com o uso de filtros a seco. No Brasil, o processo a úmido é mais difundido e, apesar de ser um processo mais complexo, os caulins assim obtidos são altamente refinados, possuindo propriedades mais controladas. De maneira geral, o Fluxograma 1 mostra a seqüência das etapas do processo de beneficiamento do caulim (MOURA, 1981).



Fluxograma 1 - Seqüência das etapas do beneficiamento a úmido

- **Lavagem:** O material é disperso em água e transportado através de canaletas por gravidade, até o local de peneiramento, denominado “coberto de peneiramento”. O primeiro resíduo ou resíduo grosso, é gerado (em grande quantidade) no transporte da mistura, quando este é separado com a finalidade de facilitar o peneiramento para classificação do caulim, de acordo com as dimensões das partículas; em seguida, o material é transportado através de tubulação para um conjunto de peneiras nº. 200, de abertura 0,074mm (para fins cerâmicos) e nº. 325, de abertura 0,044mm (para indústrias de papel). O material retido nas peneiras de nº. 200 é rejeitado e consiste no resíduo fino da cadeia produtiva do caulim; este material é conhecido, usualmente, como “borra do caulim” (GUIMARÃES, 2004, apud LIMA, 2005). A Figura 1 (1a a 1h) mostra a primeira etapa do processo de beneficiamento do caulim (CAULISA-

Comércio e Beneficiamento de Caulim Ltda. Juazeirinho, PB).

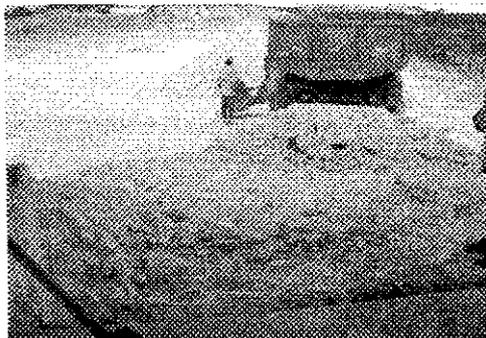


Figura 1a - Caulim bruto sendo colocado no tanque para lavagem

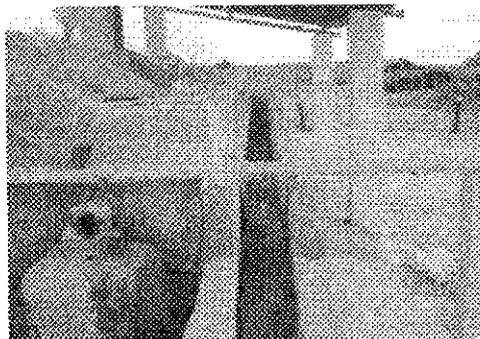


Figura 1b - Transporte do caulim já disperso em água



Figura 1c - Seleção primária (# 1/4")

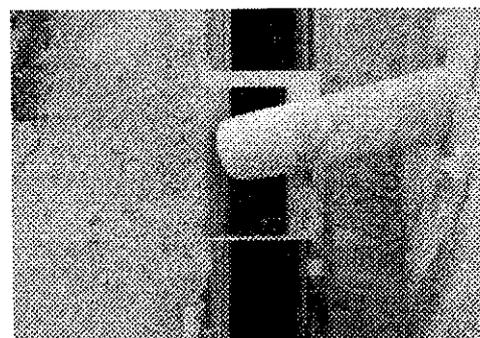


Figura 1d - Saída das peneiras de 1/4"



Figura 1e - Transporte do resíduo através de correias transportadoras

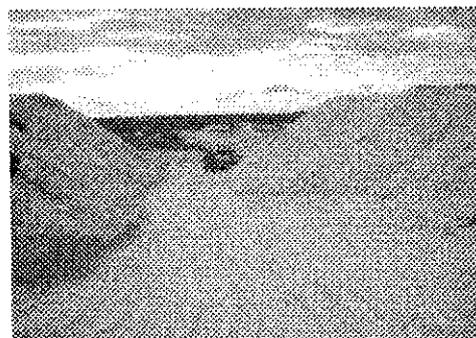


Figura 1f - Depósito a céu aberto de resíduos

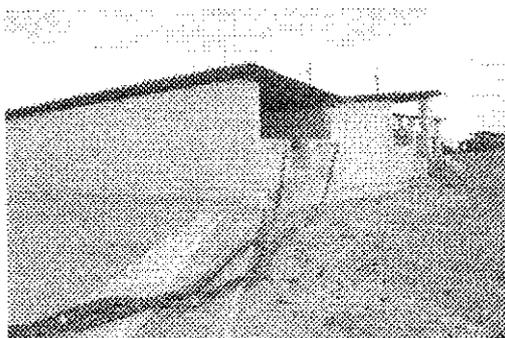


Figura 1g - Transpor da pasta para coberto de peneiramento

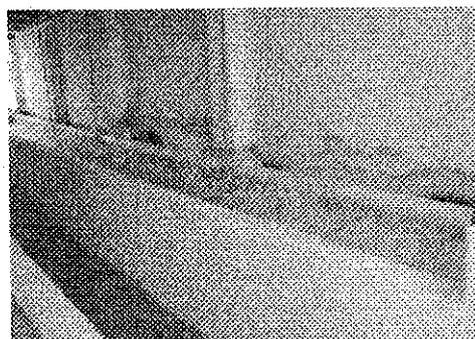


Figura 1h - Coberto de peneiramento

Figura 1 - Primeira etapa do beneficiamento do caulim

- Decantação e sedimentação: Nesta fase ocorre a segunda lavagem do material, o qual, devidamente peneirado, é bombeado por gravidade através de tubulações para tanques de decantação, sistema este formado por tanques com desníveis gradativos de altura; o primeiro tanque recebe a mistura e é preenchido totalmente com água destilada, nele ocorrendo a separação da fração de maior granulometria, através de sedimentação. A fração mais fina, que se posiciona na região superficial, passa para o segundo tanque, que apresenta um desnível de altura em relação ao primeiro. O processo se repete até o último tanque (concentração para 30 a 32% de sólidos em todo o processo). A água superficial que não transborda é vazada para outro tanque de onde é reciclada para a fase inicial de dispersão do minério bruto. O material sedimentado (cada tanque apresenta uma granulometria diferente) é levado para filtração e posterior secagem e moagem (GUIMARÃES, 2004, apud LIMA, 2005). A Figura 2 mostra tanques de decantação para o beneficiamento do caulim na empresa CAULISA – Juazeirinho, PB.



Figura 2 - Tanques de decantação

A maioria dos caulins, por apresentar contaminantes que comprometem sua alvura (qualidade), pode sofrer branqueamento pela adição de produtos químicos. Caso a quantidade de ferro presente no caulim seja superior a 1,0%, utiliza-se ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ) (MOURA, 1981), ou hidrossulfito de zinco ou, ainda, zinco metálico (SILVA, PEREIRA, VITAL., 2001) e posterior neutralização com hidrossulfito de sódio ( $Na_2S_2O_4$ ) (MOURA, 1981).

- Filtração: Neste processo é retirada, com o maior aproveitamento possível, a água misturada com o caulim proveniente do tanque de vazamento, reduzindo assim a umidade do mineral. Através de uma bomba a mistura é recalçada para dentro de uma prensa na qual, através de prensagem, é retirado o máximo possível da água contida na

mistura (30 a 35%) (MOURA, 1981). A mistura retida é prensada, a água é eliminada da mistura, os vazios são compactados e o caulim fica armazenado na forma de blocos, também denominados “tortas” (LIMA, 2005). As Figuras 3a e 3b mostram os equipamentos para filtração e prensagem (CAULISA – Juazeirinho, PB).

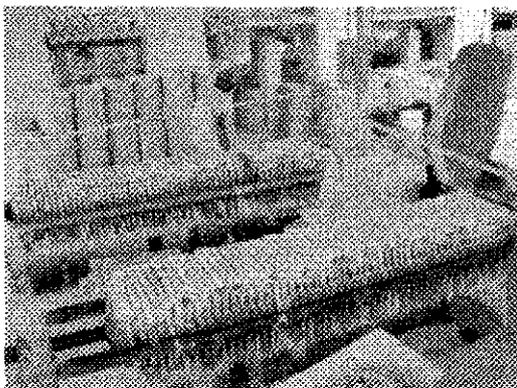


Figura 3<sup>a</sup> - Filtração e prensagem

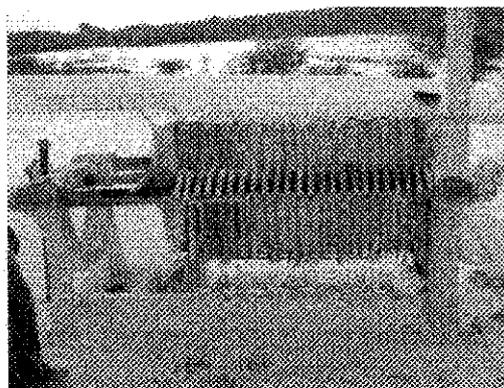


Figura 3b - Vista lateral da prensa para compactação

Figura 3 - Filtração e prensagem da pasta de caulim sedimentada

- Secagem e Moagem: Os blocos compactados pelas prensas de filtração (denominados tortas) são levados para uma pré-secagem ao ar livre. A secagem completa é feita em fornos e, nesta etapa, ocorre a desagregação das partículas com a desidratação concluída (Figuras 4a e 4b). Para facilitar a moagem é feito o destorroamento. O produto final coletado dos moinhos corresponde ao caulim beneficiado, que é finalmente ensacado e destinado à comercialização.



Figura 4a - Pré-secagem das “tortas”  
(CAULISA- Juazeirinho, PB)



Figura 4b - Secagem em fornos  
(CAULISA- Juazeirinho, PB)

Figura 4 - Secagem do caulim prensado

### 2.3 - O caulim no Estado da Paraíba

O caulim da Paraíba é o produto resultante da alteração por intemperismo dos feldspatos contidos nos pegmatitos e é considerado de natureza residual, ou seja, é encontrado no local da rocha matriz. Devido a esta característica possui baixos teores de argilominerais, sendo gerados do seu beneficiamento grandes volumes de resíduos.

A qualificação industrial do caulim oriundo do Estado da Paraíba é considerada boa, devido ao baixo teor de  $Fe_2O_3$ , que raramente ultrapassa 0,22%, não comprometendo a sua alvura e se prestando para a indústria de refratários, cerâmica branca e cargas industriais (SANTOS, 2002). A ausência de haloisita lhe confere granulometria muito fina prestando-se, nesses casos, à indústria de papel (Wilson et al., 1998). Existem 14 ocorrências e/ou depósitos de caulim localizados principalmente nos municípios de Junco do Seridó (principal pólo produtor), Juazeirinho, Salgadinho e Pedra Lavrada (SANTOS, 2002).

As reservas de caulim no estado da Paraíba estão estimadas em 357.275 toneladas, segundo o Balanço Mineral Brasileiro de 2001-DNPM, representando 0,62% da produção mineral no estado e 0,23% da produção de caulim no Brasil (Santos, 2002). Conflitando com o baixo percentual em relação à produção mineral do estado, a produção de resíduo sólido gerado pela extração de minerais não-metálicos (classe a que pertence o caulim) é de 34,05% da produção estadual desse tipo de resíduo e 12,49% dos resíduos inventariados no estado, suplantado apenas pelo vinhoto e bagaço de cana (SUDEMA, 2004). Na região do Seridó e do Cariri, representada pelos municípios de Santa Luzia, Juazeirinho, Boa Vista, Junco do Seridó, Soledade e São José do Sabugi, a atividade econômica predominante é a extração de minerais não metálicos.

O setor de extração mineral, conforme já citado, indica um passivo ambiental representado pela degradação ambiental; entretanto existe, por parte das empresas de beneficiamento, um esforço e tendência de solucionar tais problemas no sentido de minimizar esses impactos através do reaproveitamento de minérios e na redução do desperdício. Em alguns casos, como o beneficiamento do caulim, 85% do material extraído não são aproveitados. Os municípios de Juazeirinho e Junco do Seridó geram mais resíduos sólidos industriais que a cidade de Campina Grande (SUDEMA, 2004). Todo o resíduo é depositado a céu aberto, pois as indústrias de beneficiamento não se preocupam em construir tanques de disposição, lançando a imensa quantidade de rejeito no meio ambiente, uma vez que o material em si não é tóxico (LIMA, 2005).

De acordo com a Portaria nº. 1.524, de 27 de outubro de 1982, do Ministério das Minas e Energia, a atividade de mineração nos Distritos e Municípios de Junco do Seridó, Juazeirinho e Assunção, só pode ser executada exclusivamente por trabalhos de garimpagem, faiscação, faiscação ou cata, sendo proibida a lavra mecanizada (BRASIL, 2005). O intuito foi de evitar conflitos entre mineradores e garimpeiros, os últimos há muitos anos garantindo a sua subsistência na região, através do garimpo; tal resolução vem acarretando um grave problema ambiental: o garimpeiro, que não beneficia o minério e, logo, não tem responsabilidade com o resíduo gerado nas etapas de beneficiamento e as empresas de beneficiamento ficam impossibilitadas de remover o resíduo para as cavas de lavras, pois não têm acesso às mesmas. O próprio órgão de fiscalização não tem como impor tarifas ao acúmulo de rejeitos em beneficiamentos porque não pode indicar o aproveitamento ou destino dos mesmos.

A Figura 5 mostra a localização da área de reserva garimpeira.

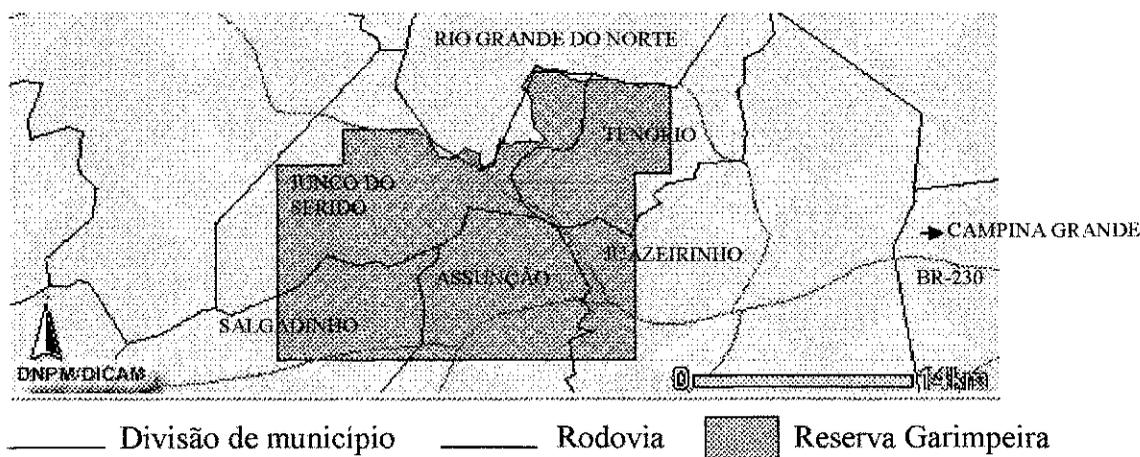


Figura 5 - Localização da reserva garimpeira segundo a Portaria 1.524-MME, 1982

Fonte: DNPM, SIGMINE, Títulos Minerários do Estado da Paraíba, jan. 2007

Aos danos ambientais causados pelo depósito a céu aberto dos resíduos, pode-se acrescentar os problemas sociais originados pela exploração de caulim nesses municípios; tal atividade, executada através de garimpo, como citado anteriormente, é realizada por meio de equipamentos rudimentares, a exemplo dos guindastes manuais que são empregados para retirada do material de dentro dos túneis, cuja exploração se dá até quando as áreas se aprofundam em demasia; são pequenas galerias verticais e, geralmente, a partir de 4 ou 5 metros ou quando se esgotam as possibilidades de retirar os materiais extraídos, a extração se torna inviável sem o auxílio de equipamentos mais sofisticados que os utilizados pelos garimpeiros e a cava então é abandonada. A fabricação do guindaste é artesanal, muitas vezes

feita pelos próprios garimpeiros, constituído de madeira e, em raras exceções, possuem estrutura de ferro; no centro há um carretel por onde passa uma corda, geralmente de sisal . As Figuras 6 e 7 mostram a precariedade de condições às quais os garimpeiros se submetem.



Figura 6 - Garimpeiro se preparando para descer a uma mina de caulim  
Fonte: Sakamoto, 2003



Figura 7 - Descida vista pelas galerias iluminadas por vela  
Fonte: Sakamoto, 2003

Devido a uma característica genética do corpo pegmatítico, as áreas de extração possuem disposição vertical, denominadas banquetas. Oferecem sérios riscos para quem fica na parte inferior, sobretudo no momento em que os materiais são removidos pelo guindaste manual. Dependendo das condições de conservação do equipamento pode ocorrer o rompimento de cordas, quebra do carretel; pode, ainda, ocasionar o desmoronamento da base de sustentação, queda de material rochoso que sobe no “camburão” (recipiente feito de pneus de automóveis, que fica na ponta da corda) e/ou mesmo força física insuficiente de quem fica na parte superior, removendo os materiais, (a tração do guindaste é humana). Toda esta operação pode provocar sérios acidentes envolvendo, muitas vezes, casos fatais.

Para fugir dos riscos das banquetas (cavas verticais para exploração), muitos se têm dedicado à exploração do “siri”, material obtido do peneirando do resíduo fino das indústrias de beneficiamento (Figura 8) o qual, misturado ao cal, é comercializado como componente para argamassas e composto basicamente de silício, podendo provocar doenças, como a silicose, decorrente da exposição constante a partículas sólidas muito pequenas provocando enrijecimento do tecido pulmonar (SAKAMOTO, 2003).



Figura 8 - Trabalhadores peneiram o resíduo fino do beneficiamento de caulim, para a obtenção do “siri” que é utilizado como componente para argamassas.

Fonte: Sakamoto, 2003.

Para que sejam desenvolvidos projetos para aproveitamento deste resíduo, faz-se necessário um estudo não só da capacidade de produção mas também da sua composição, visando a uma provável reciclagem e proporcionando não só a conservação do meio ambiente e uma opção de renda para a população desses municípios.

#### 2.4 - Resíduos gerados pelo beneficiamento

No beneficiamento do caulim ocorre a produção de resíduos líquidos (que são lançados nos rios) e sólidos (geralmente aterrados). É durante a fase de lavagem e classificação do tamanho das partículas da mistura que se tem a geração do resíduo da cadeia produtiva do caulim, estimado em 70% da matéria-prima bruta (BARATA, 1998, apud LIMA, 2005). Tal referência de produção de resíduo está relacionada ao beneficiamento de caulins residuais, haja vista pesquisas em beneficiamento de caulins sedimentares da região amazônica que estimam a geração de resíduos em 34% (BARATA & DAL MOLIN, 2002). Esses resíduos, quando secos, devido à baixa granulometria, se espalham pela ação dos ventos, pelas ruas e avenidas, poluindo o ar e comprometendo o aspecto visual do local onde a empresa atua; do ponto de vista ambiental, deve-se levar em consideração, também, as águas residuais resultantes de todo o processo de beneficiamento, pois são utilizados para alveijamento produtos que podem conter alto grau de toxicidade. Pode-se observar, nas Figuras 9 e 10, imagens de depósitos de rejeitos de caulim.



Figura 9 - Resíduo de caulim (1)  
Juazeirinho, PB



Figura 10 - Resíduo de caulim (2)  
Juazeirinho, PB

A análise de um projeto, no entanto, não deve ser restrita ao aspecto dos impactos ambientais, pois se corre o risco de gerar um outro impacto negativo, que é o da não implantação do empreendimento, barrando-se o desenvolvimento e o progresso. Através de soluções econômicas procura-se estabelecer através de taxas e subsídios o equilíbrio buscado pela aplicação dos instrumentos legais. Existem dois tipos de abordagem: a tradicional, em que é feita a análise custo-benefício (poluidor-pagador) e a alternativa, em que se analisa o custo-efetividade (beneficiário-pagador). O setor mineral está na base da pirâmide produtiva, sendo produtor de bens, gerador de empregos diretos e indiretos. Além disto, gera divisas aos países e uma boa parcela de arrecadação de impostos a estados e municípios. Portanto, dentro da abordagem econômica, o princípio beneficiário-pagador seria o mais adequado ao setor, porém o princípio poluidor-pagador deve também ser considerado para o abatimento parcial dos custos de poluição. O ideal, portanto, seria um equilíbrio entre os dois princípios (NETO & PETTER, 2005).

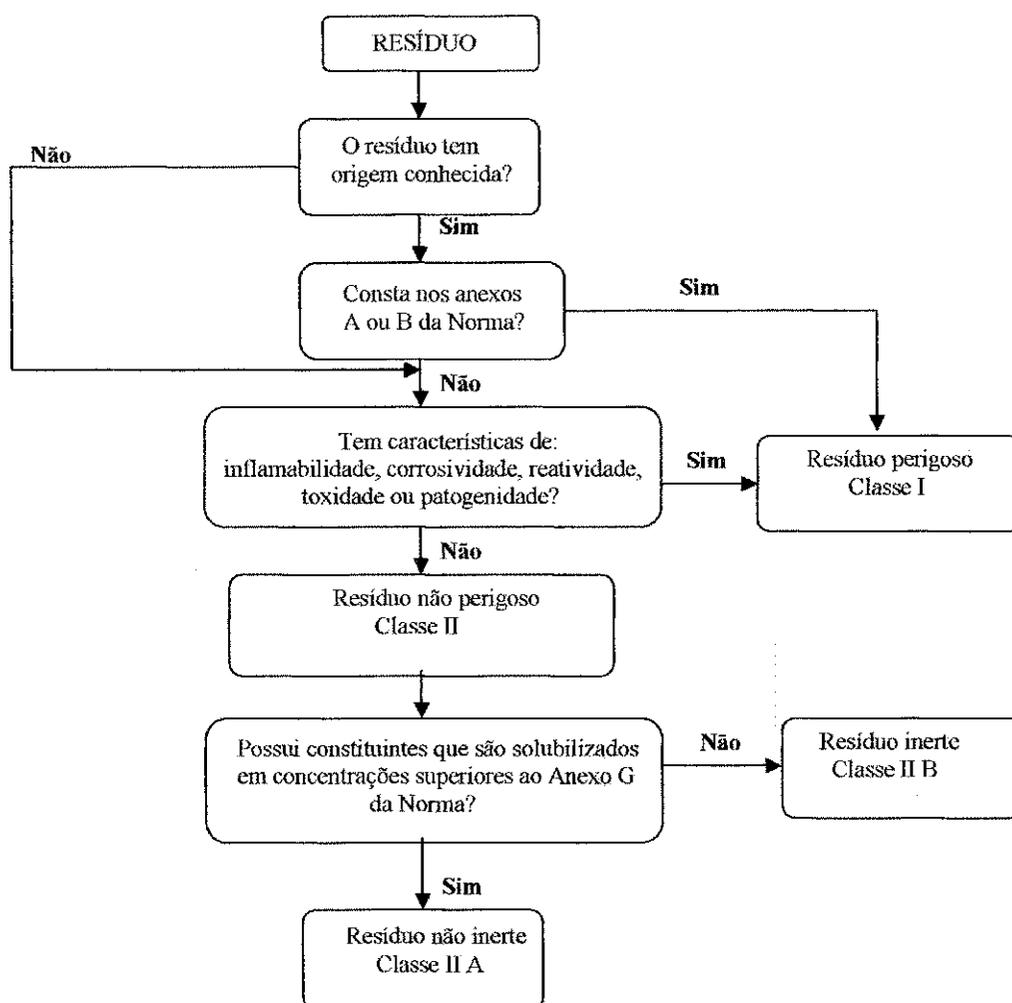
#### 2.4.1 - Impactos ambientais causados pelos resíduos do beneficiamento de caulim

Segundo a Resolução 01/86, do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA, 2005), o impacto ambiental pode ser definido como sendo qualquer alteração nas características físicas, químicas e/ou naturais do meio ambiente, causadas por qualquer forma de matéria ou energia resultante de atividades humanas que, direta ou indiretamente, afetam:

- a saúde, segurança e o bem estar da população
- as atividades sociais e econômicas
- o conjunto de plantas e animais de determinada área
- as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente
- a qualidade dos recursos naturais.

Devido à sua própria natureza, a atividade mineradora de caulim, altera as condições ambientais. A extração de um volume expressivo de argila e de materiais rochosos, em todas as suas fases, envolve atividades que provocam impactos para o meio físico e biótico e acarretam problemas socioeconômicos; alguns desses impactos dependem de fatores como tipo de minério, técnicas de extração e beneficiamento, o que requer diferentes medidas para a recuperação ambiental. Embora exista uma preocupação ambiental por parte das empresas e dos órgãos ambientais, a indústria do caulim ainda causa transtornos, tais como a produção excessiva de particulados gerados durante o transporte de caulim (matéria-prima bruta) e produção de rejeitos (resíduos) durante o beneficiamento (SILVA, PEREIRA, VITAL, 2001).

Uma das normas utilizadas para se avaliar um resíduo quanto à sua periculosidade ao meio ambiente, é a norma da ABNT NBR 10004 (ABNT 2004a), utilizada para classificar os resíduos sólidos quanto aos seus riscos potenciais ao meio ambiente e à saúde pública, para que possam ser gerenciados adequadamente. No Fluxograma 2 pode-se observar, de forma sintetizada, a seqüência para caracterização e classificação de resíduos sólidos.



Fluxograma 2 - Sequência de etapas para caracterização e classificação de resíduos Sólidos

Fonte: NBR 10004 (ABNT, 2004a)

Os resíduos provenientes das indústrias beneficiadoras do caulim são distribuídos em quantidade considerável, diretamente no meio ambiente, sem critérios de proteção, causadores portanto, de impactos ambientais. O resíduo do caulim causa alterações significativas na qualidade dos recursos hídricos, sendo responsável pela contaminação das águas dos rios, deixando-as esbranquiçadas e turvas.

Além de outros contaminantes, o resíduo do caulim pode conter concentração de metais como o Ferro (Fe), Alumínio (Al), Zinco (Zn) e Cádmi (Cd), acima do permitido pela legislação. Os reflexos dessa contaminação extravasam freqüentemente os limites das áreas de trabalho, atingindo também a topografia, flora, fauna, sistema hídrico, morfofisiologia do solo, etc. (AUMOND & BALISTIERI, 1997, apud LIMA, 2005).

O alumínio, embora seja o terceiro elemento mais abundante da crosta terrestre, possui

reduzida ação biológica, haja vista que, no homem, concentrações elevadas desse metal podem acarretar, entre outros distúrbios, perda de memória e surgimento de demência como as provocadas pela doença de Alzheimer (ALLOWAY & AYRES, 1994, apud SILVA, PEREIRA, VIDAL., 2001).

O Ferro é um elemento essencial envolvido em vários processos bioquímicos e enzimáticos. Altas concentrações de Fe no organismo podem aumentar a produção de radicais livres que são responsáveis por doenças degenerativas e também pelo processo de envelhecimento (JORDÃO, PEREIRA, PEREIRA., 2002).

O zinco, em níveis-traço, é um elemento essencial aos seres humanos, animais e vegetais superiores, organismos nos quais a deficiência de zinco provoca depressão, lesões de pele e infertilidade; por outro lado, o seu excesso pode acarretar redução de cobre no organismo, provocando surgimento de dor muscular, anorexia, sangramento intestinal e anomalias cerebrais. A gravidade da poluição pelo zinco é acentuada pela possibilidade de sua associação com o cádmio, que não possui uma função biológica definida mas é altamente tóxico às plantas e aos animais (ALLOWAY, 1993, SHIMMA, 1995, apud SILVA, PEREIRA, VIDAL, 2001).

Além da contaminação de metal pesado, descargas de efluentes inadequadamente tratados nos fluxos de água também alteram o pH da água devido ao uso de ácido sulfúrico durante o processamento do caulim. O valor de pH que excede ao recomendado para a saúde pública, pode afetar flora e fauna, mudar o sabor da água e conduzir a corrosão pesada em tubulações (JORDÃO, PEREIRA, PEREIRA, 2002).

#### 2.4.2 - Alternativas para minimizar o impacto ambiental causado pelos resíduos na extração mineral

Uma das definições de desenvolvimento sustentável é que este deve atender às necessidades básicas de toda a população e garantir a todos a oportunidade de satisfazer suas aspirações para uma vida melhor sem, no entanto, comprometer a habilidade das gerações futuras em atenderem as suas próprias necessidades (CHEN & CHAMBER, 1999 apud LIMA, 2005).

O crescimento econômico aliado à preservação da natureza e a justiça social, são as principais metas do desenvolvimento sustentável. As visões de sustentabilidade diferem, no entanto, pela maneira como os diferentes componentes podem ser substituídos um pelo outro.

As várias abordagens têm sido classificadas, por economistas, de sustentabilidade fraca, sensível, forte e muito forte. A sustentabilidade fraca não está preocupada com as partes mas apenas com o todo ou a soma total do sistema; dessa maneira, a qualidade ambiental pode declinar de forma isolada, porém pode ser compensada pelo incremento na qualidade de vida humana. A sustentabilidade sensível está essencialmente interessada na manutenção do todo; no entanto, dá alguma atenção para as partes envolvidas. As partes são reconhecidas como substituíveis até certo ponto e a partir deste ponto mínimo, não se pode prever os efeitos provocados, o que leva a certo grau de prudência ecológica (BELLEN, 2003).

As técnicas de minimização de resíduos se baseiam em duas categorias: na redução/eliminação na fonte e na reciclagem. A redução/eliminação na fonte depende de boas práticas operacionais ou tecnologias limpas, tais como: treinamento de pessoal e manutenção preventiva e alteração de caráter técnico, podendo essas medidas ser implantadas de maneira rápida e simples e com baixos investimentos relativos ao ganho de produção e competitividade (THIENSEN, 2001). Referidas técnicas seguem a hierarquia apresentada na Tabela 1.

Tabela 1 - Hierarquia de gerenciamento de resíduos

Eliminação	Completa eliminação de resíduos.
Redução na fonte	Evitar, reduzir ou eliminar o resíduo, geralmente dentro da unidade de produção, através de mudanças no processo ou nos procedimentos industriais.
Reciclagem	É o uso, reuso e reciclagem de resíduos para propósitos originais ou outros propósitos. A utilização de matéria-prima em outro processo, na recuperação de materiais ou na produção de energia.
Tratamento	A destruição, desinfecção e neutralização dos resíduos em substâncias menos nocivas.
Disposição	A liberação de resíduos no ar, água ou solo em formas apropriadas de controle, ou seja, formas seguras para diminuir sua periculosidade. A disposição segura do resíduo no solo envolve a redução de volume, a concentração do lixiviado, o encapsulamento e técnicas de monitoramento.

Fonte: THIENSEN, 2001

### Redução/eliminação na fonte

Em geral, a aplicação das medidas se fundamenta em métodos e técnicas convencionais, raramente envolvendo inovações. Em seu trabalho de avaliação de áreas degradadas na região metropolitana de São Paulo, Bitar (1997) recomenda as seguintes medidas de recuperação para áreas de mineração e beneficiamento de caulim:

- Instalação de barreiras vegetais e arborização dispersa na área do empreendimento, com a finalidade de atenuar o impacto visual e reduzir os incômodos causados pelo material particulado em suspensão no ar (Figura 11).

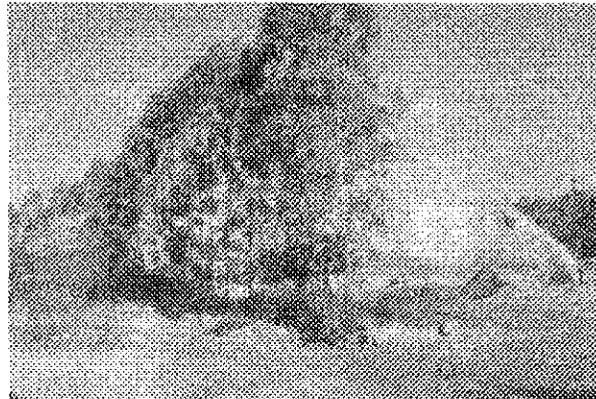


Figura 11 - Barreira vegetal em linha única composta de eucaliptos, instalada entre a via de circulação interna e a pilha de estocagem, Itapeccerica da Serra, SP.

Fonte: Bitar (1997)

- Remoção dirigida de estéreis e preenchimento de cavas: Esta medida compreende a remoção dirigida de material estéril ( inclusive resíduos sólidos oriundos do beneficiamento) utilizando-o para preenchimento de cavas abandonadas.

Existem ainda algumas medidas que, eventualmente, poderiam ser classificadas de recuperação, como a retenção e a contenção de material particulado por meio de umedecimento com uso de aspersão de água ou o redimensionamento do plano de desmonte, porém, estes e outros tipos de medida geralmente têm caráter preventivo, enquanto a medida de recuperação possui uma relação intrínseca com processos de degradação, formulada com a finalidade de estabilizá-los ou corrigi-los (BITAR, 1997).

#### Reciclagem/aproveitamento de rejeitos

Embora a redução na geração de resíduo seja sempre uma ação necessária, ela é limitada, uma vez que existem impurezas na matéria-prima, envolve custos e patamares de desenvolvimento tecnológico (LIMA, 2005).

O fechamento do ciclo produtivo gerando novos produtos a partir da reciclagem dos resíduos, é uma alternativa para atingir o desenvolvimento sustentável; para tanto, a inovação tecnológica para reciclagens eficientes e seguras, que resultem em produtos com qualidades técnicas adequadas, é um constante desafio, inclusive do ponto de vista metodológico (CAVALCANTE & CHEIRIAF, 1996, apud LIMA, 2005).

Existe cada vez mais uma constante busca por parte do setor da construção civil, ao desenvolvimento de suas atividades, aliada a preservação do meio ambiente mas o consumo dos recursos naturais por este setor chega a atingir 50% do total consumido por todos os outros setores (LIMA, 2005). Visando ao aproveitamento do resíduo de caulim na construção civil vários trabalhos foram desenvolvidos nas últimas décadas, dentre os quais são citados:

FLORES & NEVES (1997) chegaram à conclusão de que a metodologia de produção de alumina através da utilização de rejeito no beneficiamento de caulim, é tecnicamente viável, segundo os parâmetros de calcinação, lixiviação e neutralização/cristalização adotados em sua pesquisa. O estudo foi desenvolvido utilizando-se rejeito de caulim residual (sedimentar) oriundo da CADAM – Caulim da Amazônia.

BARATA & DAL MOLIM (2002) avaliaram as potencialidades do emprego do resíduo caulínico das indústrias de beneficiamento de caulim como matéria-prima na produção de uma metacaulinita altamente reativa. Para o concreto moldado com um percentual de adição de 10%, o índice de atividade pozolânica da metacaulinita foi de 103% semelhante ao da sílica ativa. Os testes de resistência a compressão e absorção capilar, apresentaram resultados também semelhantes ao concreto com adição de sílica ativa, comprovando a viabilidade na utilização deste resíduo como aditivo alternativo para o concreto.

LIMA (2005) estudou a utilização do resíduo de caulim para uso em blocos de concreto simples sem função estrutural. Para os ensaios foram estudados os traços convencionais 1:4; 1:6 e 1:8 e os mesmos traços com incorporação deste resíduo nas proporções de 15 e 20% em relação à massa do agregado miúdo (areia) presente nos traços convencionais. Os resultados dos testes de resistência a compressão simples e absorção de água apresentaram valores dentro das especificações das normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas.

MENEZES et al (2007) estudaram a incorporação do resíduo de caulim em massa cerâmica visando a sua utilização na produção de blocos e telhas cerâmicos. Estudos investigativos sobre traços de referência foram realizados incorporando o resíduo de caulim em massa cerâmica em proporções variando entre 5 e 50% em peso, em que os resultados obtidos confirmaram ser possível o uso deste resíduo como matéria-prima alternativa para produção de blocos e telhas cerâmicos.

SOUZA NETO et al (2004) estudaram a utilização do resíduo com origem no processamento do caulim como filler em misturas asfálticas.

## 2.5 – Metodologia de projeto de produto

A atividade projetual, como compreendida nos dias de hoje, é relativamente recente. As formas de organização e condições do trabalho trazidas pela aplicação de metodologias e ferramentas de projeto e a necessidade de interação de diferentes competências em equipes multidisciplinares, são respostas das empresas às demandas cada vez mais sofisticadas, por parte de usuários. Não basta criar um produto que seja belo (segundo o conceito de um grupo específico ao qual este produto será destinado) ou adequado à sua função principal. Existe um grande número de parâmetros que devem ser levados em consideração e que incluem, além dos já citados, os meios de fabricação, questões de venda e transporte, manutenção, matérias-primas utilizadas etc. O objetivo final do designer não é, portanto, apenas a produção de desenhos para a aprovação do cliente e orientação do fabricante mas, também, a criação de um produto que seja adequado aos diversos níveis de usuários, como o cliente, os fornecedores, os produtores, os distribuidores, os vendedores, os consumidores e a própria sociedade, em sua forma mais ampla. O designer (ou profissional envolvido em atividades de concepção e/ou projeto, como engenheiros, arquitetos, projetistas, desenhistas etc.) deve compreender a relação entre esses diversos usuários e antecipá-la no caso do desenvolvimento de novos produtos (ROMEIRO FILHO, 2004).

A metodologia básica possui os seguintes pontos principais:

Enunciado do problema - O problema a ser abordado deve estar bem definido. O fato gerador desta pesquisa foi o acúmulo de resíduo no beneficiamento do caulim, sendo o parâmetro principal o aproveitamento deste resíduo e a sua retirada do meio ambiente.

Identificação dos aspectos e funções - O problema deve ser analisado a partir de dois componentes principais: do físico e do psicológico. O componente físico (viabilidade técnica e econômica) se refere à forma do produto enquanto o psicológico (aspectos culturais, históricos e geográficos) aborda a relação entre o produto e seu usuário. A fabricação deste produto não terá necessariamente fins lucrativos, pois o lucro proposto é o ambiental. A finalidade proposta é a fabricação de blocos para alvenaria em construções rurais e habitações de interesse social exigindo, para isto, tecnologias simples e de baixo custo que possam ser aplicadas, provavelmente, em regime de mutirão pelos os usuários interessados.

Limites para o projeto - Utilização de componentes já existentes, limites legais (especificações de uso e propriedades mecânicas, proibições de determinados produtos ou substâncias), exigências e características de utilização.

Disponibilidade técnica - Deve-se ter pleno conhecimento dos processos e materiais a serem utilizados, visando à obtenção do melhor resultado com o menor custo.

Criatividade - Elemento central do processo de concepção, pois se deve levar a uma síntese das necessidades e dos elementos identificados sem, contudo, atuar fora dos limites previamente impostos, levando a uma “solução ótima” para o produto, que atenda às necessidades levantadas e dentro dos limites existentes.

Modelos - A partir da síntese criativa são confeccionados os modelos, de tamanho natural ou em escala, que serão utilizados para testes e confirmação de resultados.

## **2.6 – Blocos para alvenarias de vedação (sem função estrutural)**

A NBR 7171 da ABNT (1992), define o bloco como componente de alvenaria que possui furos prismáticos e/ou cilíndricos perpendiculares às faces que os contêm. Ainda segundo esta norma, os blocos de vedação são aqueles que não têm a função de suportar outras cargas verticais além da do seu peso próprio e pequenas cargas de ocupação.

A alvenaria utilizando blocos de vedação, vem-se mostrando ótima solução construtiva, sendo largamente utilizada tanto em obras residenciais como em galpões industriais, principalmente nesses últimos, em que a rapidez na execução da obra representa um dos fatores mais importantes em um empreendimento. Apresenta, ainda, as seguintes vantagens em relação ao tijolo comum:

- Facilidade na execução de alvenarias devido à modularidade, precisão dimensional dos blocos e faces de superfícies regulares. Este fator tanto reduz a mão-de-obra como a quantidade de argamassa necessária para assentamento dos blocos e camadas mais finas para acabamento;
- Diminui o desperdício, permitindo uma execução racional e redução de resíduos na construção. É na execução de alvenarias, principalmente nas de vedação, que se observam os maiores índices de desperdício, tanto de materiais como de mão-de-obra;
- Facilidade nas instalações elétricas, hidráulicas e telefônicas. Os blocos abrigam, em seus vazados, tais instalações, eliminando a necessidade de rasgos nas paredes, processo comum na construção convencional, que conduz ao desperdício e retrabalho;
- Devido aos fatores citados nos itens anteriores, a execução de alvenarias utilizando-se

blocos de vedação, pode representar uma economia de até 30% no custo da obra. A Figura 12 mostra alguns modelos de blocos de vedação.

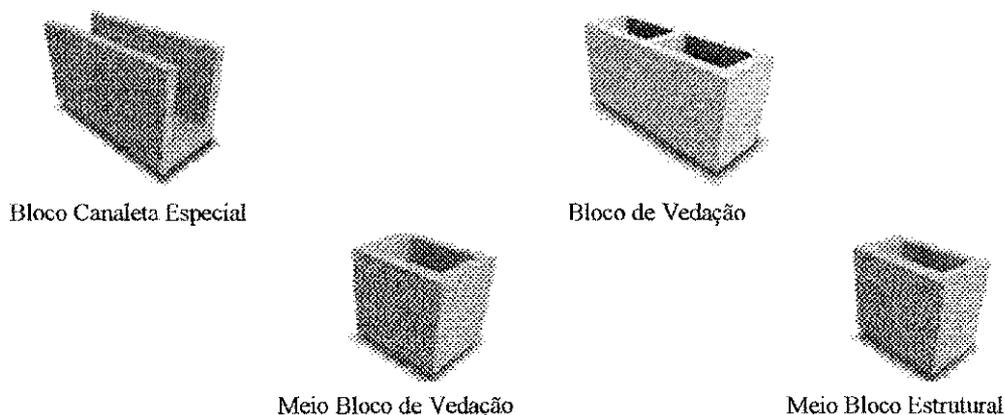


Figura 12 - Modelos de blocos pré-moldados de concreto para alvenaria.

Fonte: [www. Itaporanga.com.br](http://www.Itaporanga.com.br)

De acordo com a norma ABNT NBR-7173 (ABNT, 1982a), as dimensões reais que os blocos de concreto simples devem atender, estão apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2 - Dimensões reais (cm) para blocos de concreto simples

Designação	Largura	Altura	Comprimento
(Blocos de 20 cm nominais) M-20	19	19	39
	19	19	29
	19	19	19
	19	19	9
	19	9	19
(Blocos de 15 cm nominais) M-15	14	19	39
	14	19	34
	14	19	29
	14	19	19
(Blocos de 10 cm nominais) M-10	9	19	39
	9	19	29
	9	19	19
	9	19	14
	9	19	9
	9	9	19

São denominadas dimensões nominais, as dimensões indicadas pelos fabricantes. As tolerâncias permitidas nas dimensões dos blocos indicadas na Tabela 2, são de +3 e -2 mm. Os blocos devem ser fabricados e curados por processos que assegurem a obtenção de um concreto suficientemente homogêneo e compacto, de modo a atender a todas as exigências descritas na norma NBR-7173:1982. Segundo esta norma, os blocos devem ter arestas vivas e

não devem apresentar trincas, fraturas ou outros defeitos que possam prejudicar o seu assentamento ou afetar a resistência e durabilidade da construção. Quando destinados à execução de alvenaria aparente que não receberão revestimento, não podem apresentar trincas, lascas ou pequenas imperfeições na face que ficará exposta. Quanto aos materiais, o concreto deve ser constituído de cimento Portland, agregados e água, sendo permitido o uso de aditivos, desde que não acarretem efeitos prejudiciais devidamente comprovados por ensaios.

Os blocos são moldados em formas previamente untadas com óleo (desmoldante) e, após a moldagem, vibrados e prensados em máquinas especiais (prensas). O tempo de “cura”, ou secagem, deve ser respeitado rigorosamente. Neste período, devem ser tomadas medidas preventivas que evitam a evaporação rápida (prematura) da água de amassamento antes que ocorra todo o processo de hidratação do cimento e é de fundamental importância na resistência e durabilidade de um artefato de concreto.

Na cura de blocos de concreto usualmente são utilizadas a cura em câmara a vapor, a cura em autoclaves e a cura natural ou ao ar livre. A cura natural é a mais econômica do ponto de vista financeiro e a mais utilizada quando não há uma necessidade especial a ser atingida. No processo de cura natural é imprescindível que os blocos sejam abrigados da luz direta do sol e ventilação e sejam mantidos úmidos por um período mínimo de sete dias (MEDEIROS, 1993 apud LIMA, 2005).

Segundo dados fornecidos pelo Sindicato Nacional das Indústrias de Produtos de Cimento (SINAPROCIM), o setor produtivo de artefatos de cimento se compõe de cerca de 2.500 (duas mil e quinhentas) empresas legalmente registradas que respondem por uma produção mensal de 50 milhões de peças. Os principais pólos produtores brasileiros de artefatos de cimento são: São Paulo, Rio de Janeiro, Paraná, Bahia, Minas Gerais e Pernambuco. Para se ter uma idéia da representatividade desses estados, apenas a produção do estado de São Paulo corresponde a cerca de 60% da produção nacional, empregando cerca de 70 mil trabalhadores no segmento e com faturamento que, em 1998, ultrapassou 1 bilhão de reais.

A produção de blocos de concreto no Estado da Paraíba ainda é bastante incipiente devido ao fato do grande número de olarias e de ser mais difundido o uso de blocos cerâmicos.

A preocupação com o meio ambiente vem motivando pesquisas sobre a utilização de resíduos sólidos como material alternativo na fabricação de blocos de vedação. Na

Universidade Federal de Santa Catarina, pesquisadores do HABITARE, sediados nos Departamentos de Arquitetura e Urbanismo e de Engenharia Civil, estudaram cinzas de termoelétricas, cinzas de casca de arroz e entulho da construção civil, como materiais alternativos para fabricação de blocos pré-moldados. Pesquisadores da Universidade Federal de Campina Grande, nas Unidades Acadêmicas de Engenharia Agrícola, Engenharia de Materiais e Engenharia Civil, também desenvolvem estudos utilizando resíduos da indústria de calçados, resíduos da construção civil e resíduo de mineração na fabricação de blocos de vedação.

## CAPÍTULO 3

### MATERIAIS E MÉTODOS

Apresentam-se, neste capítulo, os materiais, procedência e metodologia utilizada nos ensaios de caracterização e ensaios tecnológicos. Os métodos regidos pelas normas da ABNT, serão apenas citados e os demais descritos.

#### 3.1 – Materiais

Utilizou-se resíduo de caulim fornecido pela CAULISA – Comércio e Beneficiamento de Caulim Ltda., localizada no município de Juazeirinho, PB; pelo fato de que as empresas de beneficiamento recebem caulim de diversos garimpos e todas utilizam o mesmo processo e maquinário para beneficiamento, a amostra foi considerada representativa do resíduo gerado na região. O material foi coletado segundo a NBR 10007:2004 obtendo-se amostras em pontos diferentes do depósito, as quais foram misturadas de maneira a se tornarem homogêneas e depois acondicionadas em sacos plásticos com capacidade para 30 kg.

O cimento portland utilizado foi do tipo CPII Z – 32, marca ZEBU, fabricante CCB-Cimpor Cimentos do Brasil Ltda., localizada no município de João Pessoa, PB, o qual é fornecido acondicionado em sacos de papel “Kraft”, contendo 50 kg de material.

A areia utilizada foi oriunda do rio Paraíba, no município de Barra de Santana, PB. O material, depois de adquirido foi depositado sobre uma lona plástica e coberto para evitar contaminações.

A água utilizada foi fornecida pela Companhia de Água e Esgoto do Estado da Paraíba (CAGEPA) proveniente do sistema de abastecimento do município de Campina Grande, PB.

#### 3.2 – Métodos

Inicialmente, este resíduo foi classificado segundo a norma NBR 10004 (ABNT, 2004a), a qual classifica os resíduos sólidos quanto ao risco à saúde pública e ao meio ambiente. Sendo necessária a moldagem de blocos e para que os resultados encontrados pudessem ser reproduzidos posteriormente, determinaram-se as características físicas da areia utilizada e as características físicas e mineralógicas do resíduo. As características físicas e químicas do cimento utilizado não foram descritas mas apenas indicados o tipo, a marca e o

fabricante e, de vez que são fatores bastante relevantes no desenvolvimento de projeto de produto, analisaram-se os custos de produção e disponibilidade de matéria-prima.

### 3.2.1 - Classificação ambiental

A classificação de resíduos envolve a identificação do processo ou a atividade que lhes deu origem, identificação dos seus constituintes através de análise química dos extratos lixiviados e solubilizados, cujos valores encontrados foram comparados com listagens de resíduos e tabelas de limites toleráveis de substâncias em que o impacto à saúde e ao meio ambiente é conhecido e consta nos anexos da norma ABNT NBR-10004 (ABNT, 2004a). Para os ensaios de lixiviação e solubilização, o resíduo foi passado em peneira de malha 9,5 mm e separadas duas amostras de aproximadamente 200 gramas, enquanto o restante, após ser passado em peneira de malha 4,8mm, foi armazenado em tanques de concreto com tampa.

#### 3.2.1.1 Obtenção do extrato lixiviado

Segundo a norma ABNT NBR 10005(ABNT, 2004b), lixiviação é o processo utilizado para determinar a capacidade de transferência de substâncias orgânicas e inorgânicas presentes no resíduo sólido, através de dissolução no meio extrator, a partir da análise química deste extrato os resíduos classificados pela ABNT NBR 10004(ABNT, 2004a) como classe I – perigosos, e classe II, não perigosos; utilizou-se como reagente, ácido acético glacial (HOAc), sendo que a amostra foi analisada no Laboratório de Física e Química do Solo, do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal da Paraíba, no município de Areia, Paraíba.

#### 3.2.1.2 – Obtenção do extrato solubilizado

Obteve-se o extrato solubilizado de resíduos sólidos seguindo-se as recomendações da norma ABNT NBR 10006(ABNT, 2004c). Os resultados da análise química desse extrato visam diferenciar os resíduos classificados na ABNT NBR 10004 (ABNT, 2004a) como classe II A – não inertes, e classe II B, inertes e, utilizado como reagente água destilada com a análise realizada no Laboratório de Física e Química do Solo – CCA/UFPB.

### 3.2.2 – Caracterização física

Para a caracterização física da areia e do resíduo de caulim, além da análise granulométrica também se determinou a massa unitária em estado solto e teor de materiais pulverulentos. Os métodos utilizados e as normas de referência são descritos a seguir.

#### 3.2.2.1 - Análise granulométrica

A distribuição do tamanho dos grãos ou partículas da areia, foi determinada através de uma série de peneiras, conforme a norma ABNT NBR-7217:1987. Juntamente com a série normal se utilizou uma peneira intermediária de abertura de malha 6,3 mm com a finalidade de auxiliar a fixação do diâmetro; enfim, a análise granulométrica do resíduo de caulim foi definida através do mesmo procedimento.

#### 3.2.2.2 - Massa unitária em estado solto

Determinou-se a massa unitária em estado solto da areia usando-se um recipiente metálico em forma cúbica e reconhecida como a média obtida em três determinações individuais, conforme a norma ABNT NBR 7251 (ABNT, 1982b).

#### 3.2.2.3 - Teor de materiais pulverulentos

O teor de materiais pulverulentos foi definido de acordo com as recomendações da norma da ABNT NBR 7219 (ABNT, 1987), segundo a qual, são denominados materiais pulverulentos as partículas minerais com dimensão inferior a 75  $\mu\text{m}$ , inclusive os materiais solúveis em água, presentes nos agregados.

### 3.2.3 - Caracterização mineralógica

A caracterização mineralógica do resíduo de caulim foi realizada através de análise térmica diferencial (ATD), análise termogravimétrica (ATG), difração de raios-X e análise química.

### 3.2.3.1 - Análise termodiferencial (ATD) e termogravimétrica (ATG)

Obtiveram-se as curvas de análises termodiferencial e termogravimétrica através de sistema de análises térmicas modelo RB-3000 da BP Engenharia, com velocidade de aquecimento de  $12,5\text{ }^{\circ}\text{Cmin}^{-1}$ . A temperatura máxima para ATD e ATG foi  $1000\text{ }^{\circ}\text{C}$  e o padrão utilizado na ATD foi o óxido de alumínio ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) calcinado; essas curvas são utilizadas para determinar as faixas de temperatura em que ocorrem transformações endo e exotérmicas e as temperaturas nas quais se dá perda de massa, cuja realização foi no Laboratório de Materiais da Unidade Acadêmica de Engenharia de Materiais da Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, PB.

### 3.2.3.2 - Difração de raios-X

O resíduo foi passado em peneira ABNT nº. 200 (0,074 mm) e acondicionado em porta amostra de alumínio para análise de raios-X, em equipamento XRD 600 da Shimadzu. A radiação utilizada foi K-alfa (40 mA e 40 kV) sendo a velocidade do goniômetro de  $2^{\circ}\text{ min}^{-1}$  e passo de  $0,02^{\circ}$ . As análises de difração de raios-X foram realizadas no Laboratório de Materiais da Unidade acadêmica de Engenharia de Materiais da Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, Paraíba.

### 3.2.3.3 - Análise química

Realizaram-se as seguintes determinações: perda ao rubro (PR), óxido de silício ( $\text{SiO}_2$ ), resíduo insolúvel (RI), óxido de ferro ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), óxido de alumínio ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), óxido de cálcio ( $\text{CaO}$ ), óxido de magnésio ( $\text{MgO}$ ), óxido de sódio ( $\text{Na}_2\text{O}$ ) e óxido de potássio ( $\text{K}_2\text{O}$ ). A amostra de material foi previamente submetida via seca, na peneira nº. 200 (0,074 mm) e do material que passou foram retirados 20 gramas e acondicionados em saco plástico. Este ensaio foi realizado no Laboratório de Análises Mineraias do Centro de Tecnologia e Recursos Naturais da Universidade Federal de Campina Grande.

### 3.2.4 - Ensaio tecnológicos

Os ensaios tecnológicos realizados na ATECEL<sup>®</sup> - Campina Grande, PB, foram os de resistência a compressão simples e absorção de água por imersão; nesse subitem, além da descrição desses ensaios, também são descritos os métodos utilizados para a produção dos blocos, assim como traços e tempos de cura avaliados.

### 3.2.4.1 – Estudo dos traços

Utilizou-se o traço convencional 1:6 pelo fato de ter apresentado melhores resultados, tanto técnicos como econômicos em pesquisa realizada anteriormente por Lima (2005). A substituição da areia por resíduo de caulim foi testada nas seguintes proporções: 40%, 70% e 100%. Os fatores água/cimento empregados foram: 0,75 para 40%, 1,0 para 70% e 1,17 para 100% de substituição. Para os blocos convencionais, ou seja, sem utilização de resíduo no traço 1:6, o fator água/cimento foi de 0,67. A variação no fator A/C se deve ao fato da granulometria do resíduo apresentar grande quantidade de partículas finas. Após a análise dos resultados, o traço considerado ideal foi o que apresentou maior resistência com também maior adição de resíduo, aos 28 dias de cura.

### 3.2.4.2 - Moldagem dos blocos

Foram moldados, manualmente, 18 blocos de cada traço convencional de referência e com incorporação de resíduo, com as seguintes dimensões: 9 x 19 x 39 mm. As etapas para confecção do traço e moldagem dos blocos estão descritas a seguir:

- Traço convencional e/ou com incorporação de resíduo: Com a betoneira já em funcionamento, os materiais foram colocados na seqüência: cimento, parte da água já devidamente medida, agregado miúdo e o restante da água, até completar a homogeneização dos materiais.
- Moldagem dos blocos: Foi escolhido o processo manual em virtude de ser o mais adaptável a construções de residências de interesse social e instalações agrícolas. A parte interna da forma (composta de dois elementos) foi untada com óleo mineral para facilitar o desmolde, sendo depois preenchida com o material que é vibrado e compactado manualmente; logo em seguida, o bloco é desmoldado e acomodado em local abrigado da luz direta do sol para uma pré-secagem, durante 24 horas. As Figuras 13 a 16 mostram as etapas no processo de moldagem.

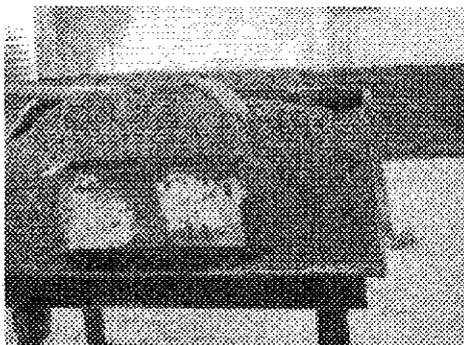


Figura 13 - Argamassa em bancada e forma devidamente untada com óleo



Figura 14 - Forma sendo preenchida, vibrada e compactada manualmente



Figura 15 - Desmolde

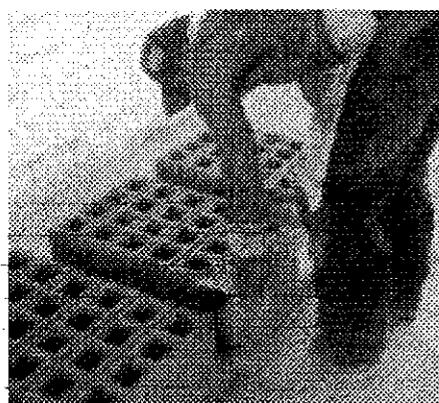


Figura 16 - Desmolde e acomodação

#### 3.2.4.3 - Cura dos blocos

As idades de cura avaliadas foram de 7, 28 e 63 dias. Apesar da idade de 28 dias ser considerada padrão para a determinação da resistência a compressão, o rompimento dos blocos aos 7 dias de cura tem, como finalidade, avaliar se existe a probabilidade mínima de ser alcançada a resistência mínima ideal da idade padrão e a idade de 63 dias tem, por objetivo, a avaliação da evolução da resistência com o tempo. Pelo fato de ser o mais econômico, o processo de cura utilizado foi o natural, sendo os blocos constantemente umedecidos através de aspersão e acomodados em local protegido da luz direta do sol e do vento.

#### 3.2.4.4 - Ensaio de resistência a compressão simples

Para determinação da resistência a compressão simples, os blocos foram rompidos ao final de cada período de cura, 7, 28 e 63 dias, em uma prensa manual modelo CONTENCO

fabricante PAVITEST, com carga aplicada na direção do esforço que o bloco suporta durante o seu emprego na alvenaria e com aumento de carga controlado manualmente. Devido ao fato dos blocos possuírem faces regulares, não houve necessidade de capeamento com argamassa, utilizando-se, então, duas borrachas retangulares de espessura 5 mm, em toda a extensão da superfície de contato, com a finalidade de assegurar distribuição uniforme dos esforços. A resistência a compressão foi obtida através da fórmula:

$$F_c = Fx(10xA)^{-1}$$

Onde:

$F_c$  = resistência a compressão simples, em MPa

$F$  = carga de rompimento, em kgf

$A$  = área da seção bruta (sem desconto dos furos ou reentrâncias) do bloco, em  $cm^2$

A norma ABNT NBR-7171(ABNT, 1992) determina que os blocos de vedação sem função estrutural devem apresentar valores mínimos de resistência a compressão simples maiores que 1 MPa.

#### 3.2.4.5 - Determinação da absorção de água

Para determinação da absorção de água por imersão, pedaços dos blocos que foram rompidos aos 28 dias de cura foram postos em estufa, a temperatura de  $110 \pm 5$  °C, por um período mínimo de 24 horas até a constância de massa; em seguida, foram pesados e seu peso anotado ( $M_s$ ); após esfriar naturalmente, o material foi imerso em água 24 horas e depois drenado sobre uma tela de 9,5 mm de abertura de malha pelo tempo de 1 minuto; após se retirar a água superficial visível com um pano seco, as amostras foram novamente pesadas e seu peso anotado ( $M_{SAT}$ ). O valor da absorção de cada bloco foi a média de duas determinações individuais calculadas pela fórmula:

$$A_b = \frac{M_{sat} - M_s}{M_s} \times 100$$

onde:

$A_b$  = absorção, em %

$M_s$  = massa da amostra secada em estufa, em kg

$M_{SAT}$  = massa da amostra saturada, com a superfície seca, em kg.

A norma ABNT NBR-7171(ABNT, 1992) determina que a absorção de água para

blocos de vedação sem função estrutural, não deve ser inferior a 8% nem superior a 25%.

### 3.2.5 – Análise de disponibilidade de matéria-prima

Para o levantamento de quantidade de resíduo gerado mensalmente, utilizaram-se informações do Cadastro Industrial da SUDEMA. Para a estimativa do volume de resíduo acumulada na região se calculou, primeiro, a área a partir de imagens TM/LANDSAT – 5, 2001, época seca, fornecidas pelo Laboratório de Sensoriamento Remoto e SIG, da UAEEA/UFCG; já para a altura média dos volumes considerou-se o valor de 1,80 m, obtido através de observações nos locais de depósito; esses valores foram atualizados considerando-se a produção mensal informada pela SUDEMA.

### 3.2.6 – Análise de custos para produção

A análise de custo foi dividida em duas avaliações:

Para produção artesanal, sendo relacionados os materiais e equipamentos necessários para a produção de 2.000 blocos o suficiente para a construção de uma habitação de interesse social com 50 m<sup>2</sup> de área.

Para produção industrial, se detalharam os investimentos necessários para a implantação de uma fábrica com capacidade para processamento de 190 m<sup>3</sup> do resíduo gerado mensalmente na região, produzindo 57.600 blocos mensais. A sugestão de produção teve por base o fato de que das onze empresas cadastradas pela SUDEMA, nove geram em média 380 m<sup>3</sup> de resíduo sendo então o volume de 190m<sup>3</sup> correspondente a 50% de aproveitamento. Obtiveram-se os preços através de consulta a fabricantes e fornecedores da cidade de Campina Grande, referentes a fevereiro de 2007.

## CAPÍTULO 4

### APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

#### 4.1 – Classificação ambiental

A Tabela 3 apresenta os resultados da análise química do extrato lixiviado do resíduo de caulim. Analisando-se esses resultados, conclui-se que o resíduo estudado não apresentou características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade ou patogenicidade, sendo considerado resíduo não perigoso classe II, e nenhum dos seus constituintes apresentou quantidades acima dos limites máximos estipulados no anexo F da NBR-10004:2004.

Tabela 3 - Resultados da análise química do extrato lixiviado

Substância	Resultado da análise (mg.L <sup>-1</sup> )	Limite máximo NBR 10004:2004 (Anexo F) (mg.L <sup>-1</sup> )
Cádmio	0,074	0,5
Cl	339,50	NÃO ESPECIFICADO
Sódio	1.003,13	NÃO ESPECIFICADO
Cobre	0,102	NÃO ESPECIFICADO
Ferro	0,007	NÃO ESPECIFICADO
Manganês	0,24	NÃO ESPECIFICADO
Zinco	<0,005	NÃO ESPECIFICADO
Chumbo	0,58	1,0
Cromo	0,046	5,0
Alumínio	755,44	NÃO ESPECIFICADO
Sulfato (SO <sub>4</sub> )	11,22	NÃO ESPECIFICADO

Apresentam-se, na Tabela 4, os resultados da análise química do extrato solubilizado do resíduo. Analisando-se os resultados, nota-se que os valores dos constituintes cádmio e manganês estão bastante acima dos limites máximos do anexo G da norma ABNT NBR-10004(ABNT, 2004a), o que permite afirmar que o resíduo se enquadra na classe IIA (não inertes). De acordo com o Anexo H desta norma, o resíduo de caulim é identificado pelo código A011 e, segundo o IBPS - Instituto Brasileiro de Produção Sustentável e Direito Ambiental, os resíduos da classe IA e IIA necessitam de aterros. Intoxicações leves por cádmio podem causar: salivação, fadiga, perda de peso, fraqueza muscular e

disfunção sexual. Níveis moderadamente altos de cádmio, entre 4 a 8 ppm, podem ocasionar hipertensão, ao passo que níveis muito elevados podem causar hipotensão, afetar os rins, pulmões, testículos, paredes arteriais e ossos. A intoxicação por manganês é responsável por anorexia, fraqueza, apatia, insônia e outras perturbações do sono, excitabilidade mental, comportamento alterado, dores musculares, quadro neurológico (tremores simulando o mal de Parkinson) e distúrbios psicológicos: a “loucura mangânica”, caracterizada por comportamento violento associado a períodos de mania e depressão.

Tabela 4 - Resultados da análise de extrato solubilizado e limites ABNT

Substância	Resultado da análise (mg.L <sup>-1</sup> )	Limite máximo NBR 10004:2004 (Anexo G) (mg.L <sup>-1</sup> )
Cd	0,035	0,005
Cl <sup>-</sup>	17,50	250,0
Sódio	10,54	200,0
Cobre	<0,01	2,0
Ferro	<0,002	0,3
Manganês	0,35	0,1
Zinco	<0,005	5,0
Chumbo	0,01	0,14
Cromo	0,052	0,05
Alumínio	0	0,2
Sulfato (SO <sub>4</sub> )	14,29	250,0

## 4.2 – Caracterização física

### 4.2.1 - Areia

Na Tabela 5 estão os valores obtidos dos ensaios de caracterização física da areia utilizada na pesquisa.

Tabela 5 - Caracterização física da areia utilizada na confecção dos blocos

Características	Resultado
Massa unitária em estado solto	1430 kg/m <sup>3</sup>
Dimensão máxima	4,8 mm
Módulo de finura	2,78
Teor de materiais pulverulentos	0,71%

Os valores da Tabela 5, mostram que o agregado miúdo apresentou valor de massa unitária de  $1430 \text{ kg/m}^3$  e teor de material pulverulento de 0,71% dentro, portanto, das especificações da norma da ABNT para uso em argamassas ou concretos. Em relação à distribuição granulométrica (Tabela 6), observa-se que o diâmetro máximo encontrado foi de 4,8mm e módulo de finura de 2,78, sendo enquadrada na faixa zona 4 (grossa) de acordo com a norma da ABNT NBR 7211(ABNT, 1983).

Tabela 6 - Composição granulométrica da areia

Peneira ABNT (mm)	% acumulada retida	% que passa
9,5	0	100,00
6,3	0,13	99,87
4,8	1,18	98,69
2,4	4,11	95,89
1,2	21,09	78,91
0,6	59,10	40,90
0,3	93,16	6,84
0,15	99,29	0,71
Resto	100,00	0,00

#### 4.2.1 – Resíduo de caulim

Na Tabela 7 se apresentam os resultados dos ensaios da caracterização física do resíduo de caulim.

Tabela 7 - Caracterização física do resíduo de caulim

Características	Resultado
Massa específica aparente	$1280 \text{ kg/m}^3$
Dimensão máxima	9,5 mm
Módulo de finura	3,38
Teor de materiais pulverulentos	2,83%

A Tabela 8 descreve os resultados encontrados na análise granulométrica do resíduo de caulim.

Tabela 8 - Composição granulométrica do resíduo de caulim

Peneira ABNT (mm)	% acumulada retida	% que passa
9,5	1,14	98,86
6,3	2,49	97,51
4,8	4,72	95,28
2,4	21,53	78,47
1,2	48,82	51,18
0,6	73,17	26,83
0,3	88,54	11,47
0,15	97,17	2,83
Resto	100	0,00

Através dos valores contidos na Tabela 6, verifica-se que o resíduo apresentou valor de massa unitária de  $1280 \text{ kg/m}^3$  e teor de material pulverulento de 2,83%. Comparando esses valores com agregado miúdo, verifica-se que o resíduo apresentou valor de massa unitária inferior e teor de material pulverulento superior. Em relação à distribuição granulométrica (Tabela 7) observa-se, ainda, que o diâmetro máximo encontrado foi de 9,5mm e módulo de finura de 2,83, sendo enquadrado na faixa zona 4 (grossa) de acordo com a norma da ABNT NBR 7211(ABNT, 1983).

#### 4.3 – Caracterização mineralógica do resíduo de caulim

##### 4.3.1 – Análise química

Na Tabela 9 se acham os resultados da composição química do resíduo estudado.

Tabela 9 - Composição química do resíduo de caulim (%)

Pr	SiO <sub>2</sub>	RI	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O
4,12	77,56	1,56	0,16	16,09	Traços	Traços	0,04	0,42

Analisando-se os resultados contidos na Tabela 9, vê-se que o resíduo apresentou, na sua composição química, elevada porcentagem de óxido de silício (77,56%) e de óxido de alumínio (16,09). O alto teor de SiO<sub>2</sub> leva à conclusão de que o mesmo poderá, provavelmente, poderá ser utilizado em argamassas para fabricação de artefatos de blocos sem

função estrutural, em substituição de parte do agregado miúdo.

#### 4.3.2 – Difração de raios-X

Tem-se, na Figura 17, o difratograma da difração de raios-X do resíduo estudado.

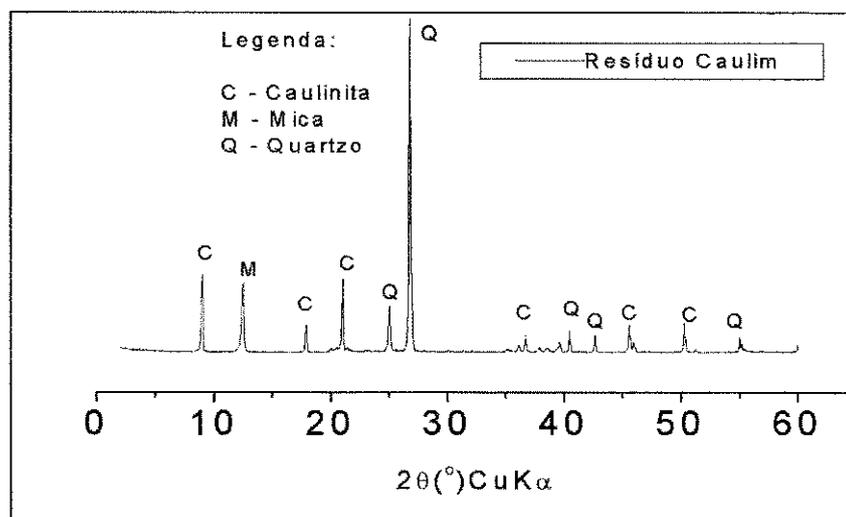


Figura 17 - Difração de raios-X do resíduo de caulim

Analisando-se o difratograma de raios X, verificam-se as seguintes fases cristalinas: caulinita caracterizada pelas distâncias interplanares de 7,07 e 3,56 Å, mica caracterizada pelas distâncias de 10,04 e 4,97 Å e quartzo caracterizado pela distância interplanar de 3,34 Å.

#### 4.3.3 – Análises termodiferencial e termogravimétrica

Na Figura 18 está representada a curva de análise termodiferencial (ATD).

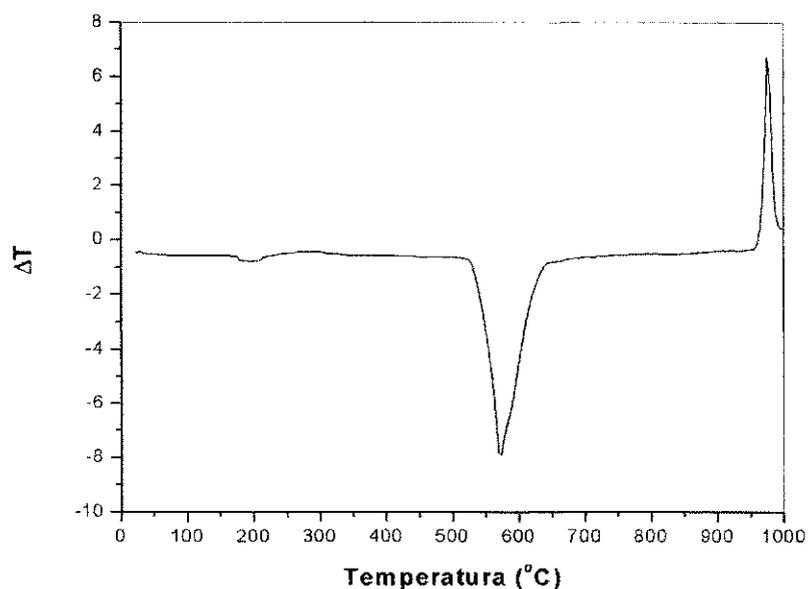


Figura 18 - Análise termodiferencial (ATD) do resíduo estudado

Com o resultado da Figura 18, verifica-se que o resíduo de caulim apresentou um pico endotérmico de grande intensidade a aproximadamente 600°C, caracterizando a reação de desidroxilação, e um pico exotérmico de média intensidade a aproximadamente 950°C, correspondente à nucleação da mulita. Quanto à análise termogravimétrica, observa-se perda de massa total de 5,2%, correspondente à perda de hidroxila da estrutura cristalina do argilomineral da caulinita.

Na Figura 19 estão representadas as curvas de análise termogravimétricas (TG e DTG).

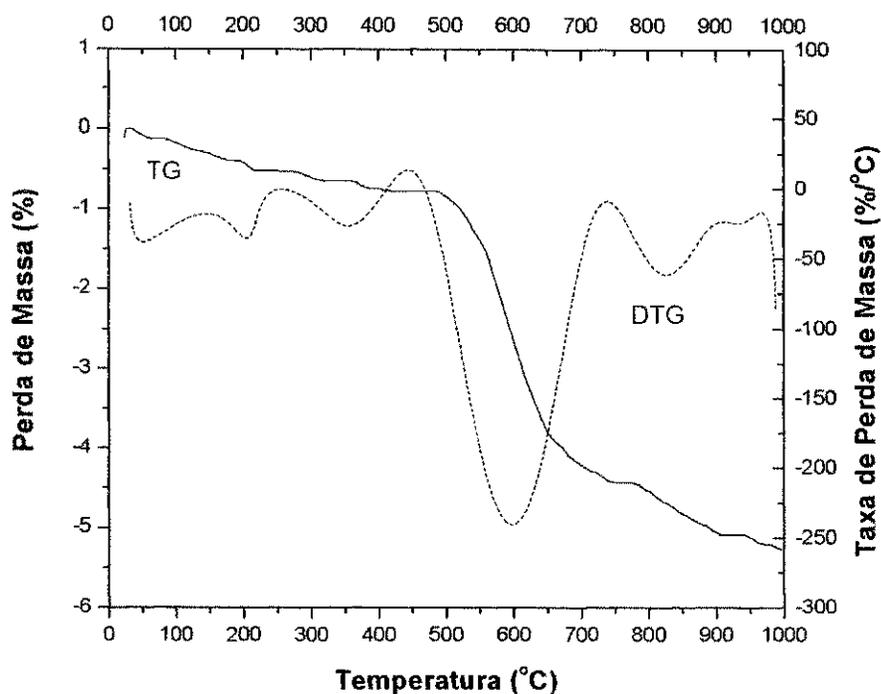


Figura 19 - Análise termogravimétrica (ATG) do resíduo estudado

#### 4.4 - Ensaio tecnológicos

##### 4.4.1 - Estudo dos Traços

A Tabela 10 mostra os traços (em volume) convencionais e alternativos com incorporação de 40, 70 e 100% de resíduo, utilizados na confecção dos blocos sem função estrutural. O traço 1:6 foi escolhido pelo fato de se tratar do mais utilizado pelas empresas que fabricam blocos para uso na construção civil.

Tabela 10 - Traço convencional 1:6 e com incorporação de resíduo

%Resíduo incorporado	Cimento	Areia	Resíduo de Caulim	Fator Água/cimento
0%	1	6	---	0,67
40%	1	3,6	2,4	0,75
70%	1	1,8	4,2	1,00
100%	1	---	6	1,17

Na Tabela 11 se acham os valores de consumo de material necessário para moldagem de 3 blocos.

Tabela 11 - Material utilizado para moldagem de 3 blocos

%Resíduo incorporado	Cimento (kg)	Areia (m <sup>3</sup> )	Resíduo de caulim (m <sup>3</sup> )	Água (litros)
0%	2,70	13,50 x 10 <sup>-3</sup>	-----	1,50
40%	2,59	7,80 x 10 <sup>-3</sup>	5,16 x 10 <sup>-3</sup>	1,62
70%	2,82	4,17 x 10 <sup>-3</sup>	9,91 x 10 <sup>-3</sup>	2,35
100%	2,70	-----	13,50 x 10 <sup>-3</sup>	2,63

#### 4.4.2 - Ensaio de resistência a compressão simples

Na Tabela 12 estão os valores dos ensaios de resistência a compressão simples dos blocos convencionais e alternativos com incorporação de resíduo aos 7, 28 e 63 dias de cura. A descrição completa dos resultados se encontra no Anexo 1.

Tabela 12 - Resistência à compressão simples

Incorporação de resíduo (%)	Resistência a compressão simples (MPa)		
	7 dias	28 dias	63 dias
0%	1,19	1,96	2,23
40%	0,70	1,06	1,76
70%	0,69	1,34	1,60
100%	0,41	0,91	1,12

Com vistas aos resultados contidos na Tabela 16 e na Figura 33, verifica-se que os valores do comportamento mecânico dos blocos alternativos foram inferiores aos convencionais para todos os tempos de cura; entretanto, deve-se observar que a evolução das resistências foi superior nas argamassas alternativas em relação às convencionais; o que poderá ser justificado pela atividade pozolânica constante no resíduo de caulim; notou-se, porém, que houve diminuição na resistência com o aumento do resíduo. Comparando-se os resultados obtidos com os especificados pela norma da ABNT NBR-7171 (ABNT, 1992) para blocos cerâmicos de vedação, nota-se que os blocos com 40 e 70% de resíduo apresentaram, aos 28 dias de cura, valores dentro das especificações (valores superiores a 1 MPa); enfim, todos os blocos apresentaram valores acima de 1 Mpa aos 63 dias de cura.



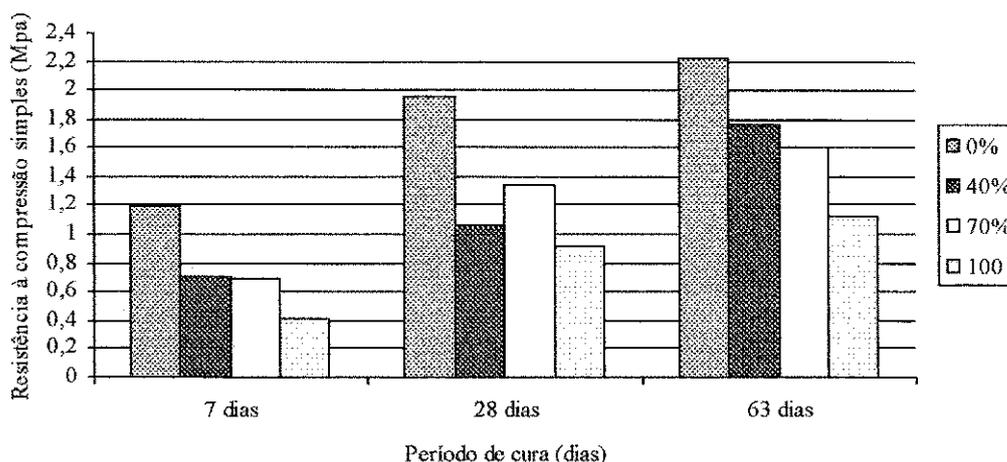


Figura 20 - Resistência a compressão simples, aos 7, 28 e 63 dias de cura

#### 4.4.3 - Ensaio de absorção de água por imersão

Na Tabela 13, se encontram os resultados de absorção de água dos blocos convencionais e alternativos.

Tabela 13 - Absorção de água

Composições de resíduo incorporado	Absorção
0%	11,60%
40%	13,68%
70%	13,20%
100%	15,95%

Analisando-se os resultados de absorção de água, constatou-se aumento dos valores de absorção nos blocos com incorporação de resíduo em relação aos blocos convencionais, sendo o valor máximo para os blocos incorporados com 100% de resíduo; esse aumento, por outro lado, pode estar atribuído a maior quantidade de partículas finas presentes no resíduo; agora, comparando-se esses valores com as normas da ABNT NBR-7171 (ABNT, 1992), vê-se que todos os resultados estão de acordo com as especificações da norma, que são de 8% (mínimo) e 25% (máximo).

#### 4.5 – Análise de disponibilidade de matéria-prima

A Tabela 14 apresenta um resumo das empresas e capacidade de geração de resíduo.

Tabela 14 - Relação das empresas que beneficiam caulim no estado da Paraíba e produção mensal de resíduos

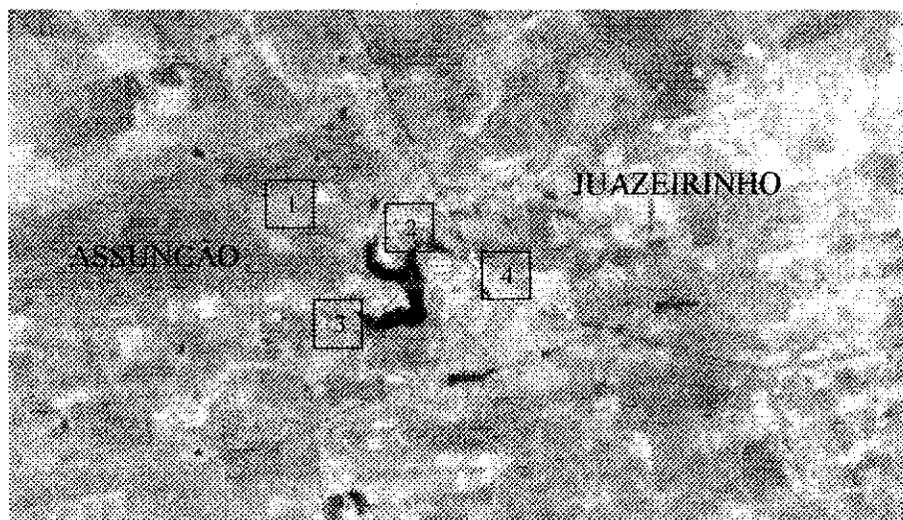
Razão Social	Município	Resíduo (t/mês)
BECOL – Benef. e Com. de Prod. de Min. Ltda.	Juazeirinho	600
CAULIMAR – Com. e Benef. de Caulim	Juazeirinho	120
CAULINA Minérios Ltda.	Tenório	360
CAULINO Minérios Ltda.	Junco do Seridó	800
CAULISA – Com. e Benef. de Caulim Ltda.	Juazeirinho	1500
CAUVIL Minérios Industriais Ltda.	Tenório	360
José de Oliveira Lima	Tenório	1800
José Walmor Pacher	Junco do Seridó	250
Lavras Santo Amaro Ltda.	Junco do Seridó	500
MP Beneficiamento e Comércio de Caulim Ltda.	Juazeirinho	120
Marcos Antônio Paulino Araújo	Juazeirinho	350
TOTAL		6760

Fonte: Cadastro Industrial SUDEMA 2006

As empresas de beneficiamento de caulim da região pesquisada geram aproximadamente 6.800 toneladas/mês de resíduos, o que representa 5.280 m<sup>3</sup>. De vez que o consumo para a fabricação é de 1.000 blocos aproximadamente 3,3 m<sup>3</sup>, o resíduo gerado por mês garante a produção mensal de até 2 milhões de blocos. Usando-se como referencial comparativo a construção de uma habitação de interesse social, com 50m<sup>2</sup> de área, a produção de resíduo é o suficiente para se construir mensalmente 1.000 unidades.

As Figuras 21 e 22 mostram as imagens LANDSAT através das quais se estimou o volume de resíduo já existente na região.

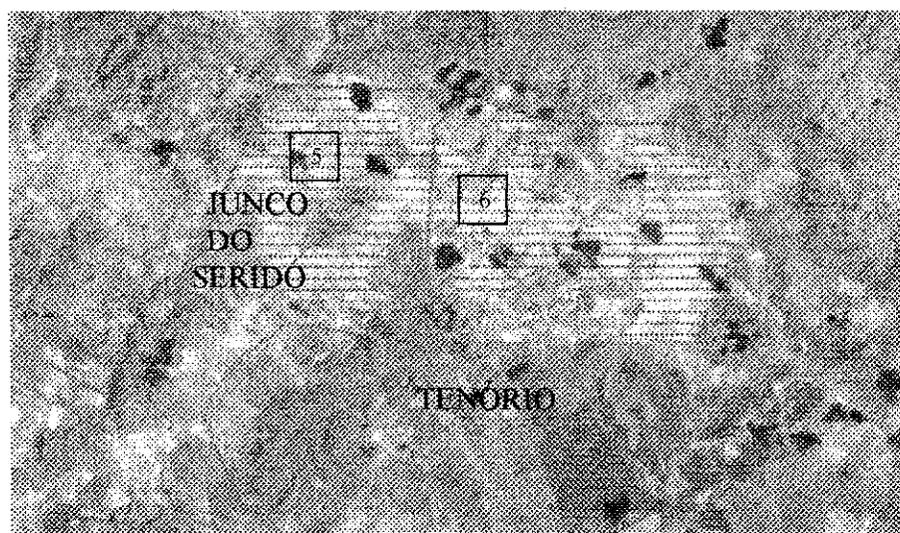




— Limite de município     Depósito de rejeito de caulim

Figura 21 - Imagens de depósitos de rejeitos de caulim nos municípios de Assunção e Juazeirinho

Fonte: Laboratório de Sensoriamento Remoto e SIG. DEAG-UFCG, Campina Grande. Escala: 1:500.000



— Limite de município     Depósito de rejeito de caulim

Figura 22 - Imagens de depósitos de rejeitos de caulim nos municípios de Tenório e Junco do Seridó.

Fonte: Laboratório de Sensoriamento Remoto e SIG. DEAG-UFCG, Campina Grande. Escala: 1:500.000

As Figuras 21 e 22 são imagens TM/LANDSAT-5, 2001, época seca. Órbita do satélite 215 ponto 65, com contraste linear. Bandas: 5 (Infravermelho médio), 4 (Infravermelho próximo) e 3 (Visível na região do vermelho). Na Tabela 15 constam os resultados obtidos

para o cálculo do volume de resíduo, a partir dessas imagens.

Tabela 15 - Quantitativos dos depósitos de rejeito de caulim obtidos através de análise das imagens apresentadas na Figura 21 e na Figura 22

DEPOSITO	MUNICÍPIO	ÁREA (m <sup>2</sup> )	VOLUME (m <sup>3</sup> )
01	Assunção	128.260	230.860
02	Juazeirinho	111.045	199.881
03	Juazeirinho	41.596	74.873
04	Juazeirinho	20.005	36.009
05	Junco do Seridó	370.000	666.000
06	Tenório	220.000	396.000
TOTAL	1.603.623		

Atualizando-se a produção mensal declarada pela SUDEMA, tem-se um acréscimo de 316.875 m<sup>3</sup> nestes últimos cinco anos, o que resulta em um total aproximado de 2 milhões de m<sup>3</sup> de resíduo no beneficiamento de caulim acumulado nos municípios de Assunção, Juazeirinho, Junco do Seridó e Tenório.

Caso a geração de resíduos cessasse, o volume acumulado seguramente abasteceria esta produção, durante 25 anos; para as demais matérias-primas (cimento e areia) não existe problema de fornecimento.

#### 4.6 – Análise de custos

A partir dos ensaios tecnológicos, chegou-se à conclusão de que o traço com substituição de 70% de areia por resíduo de caulim ser o mais apropriado, pelo fato de apresentar melhores resultados de resistência à compressão com maior quantidade de resíduo. Todos os quantitativos de materiais foram calculados considerando este traço.

##### 4.6.1 – Produção artesanal

A Tabela 16 descreve os custos de material necessário para produção artesanal de 2000 blocos com 70% de incorporação de resíduo. O custo de formas e bancada é de R\$ 450,00 a serem diluídos em 60.000 unidades (tempo de vida útil informado pelo fabricante) o que incorre em um acréscimo de R\$ 15,00.

Tabela 16 - Composição de custo para fabricação artesanal de 2.000 blocos

MATERIAL	QUANTIDADE	UNIDADE	VALOR UNIT	VALOR TOTAL
Cimento	38	Sacos 50 kg	R\$ 16,00*	R\$ 800,00
Areia	2,8	m <sup>3</sup>	R\$ 38,90*	R\$ 108,90
Equipamento				R\$ 15,00
TOTAL				R\$ 923,90

\* Valores obtidos em pesquisa de preços na cidade Campina Grande, PB, em fevereiro/2007

#### 4.6.2 – Análise de custos para implantação de uma fábrica com capacidade de produção de 57.600 blocos mensais

O primeiro parâmetro a ser analisado foi a localização das empresas geradoras de resíduos as quais, estando situadas nos municípios de Tenório, Juazeirinho e Junco de Seridó, distam aproximadamente 90 quilômetros de Patos e Campina Grande, maiores centros comerciais do agreste e sertão paraibano. A locomoção do resíduo para outros municípios em muito aumenta os custos para a fabricação dos bloco; partiu-se, portanto, do princípio de que os mesmos devam ser fabricados nos municípios em que estão instaladas as empresas geradoras. Tal localização permite atender ao mercado consumidor dessas duas cidades e demais cidades circunvizinhas, inclusive nos estados de Pernambuco e Rio Grande do Norte, conforme ilustrado na Figura 23.

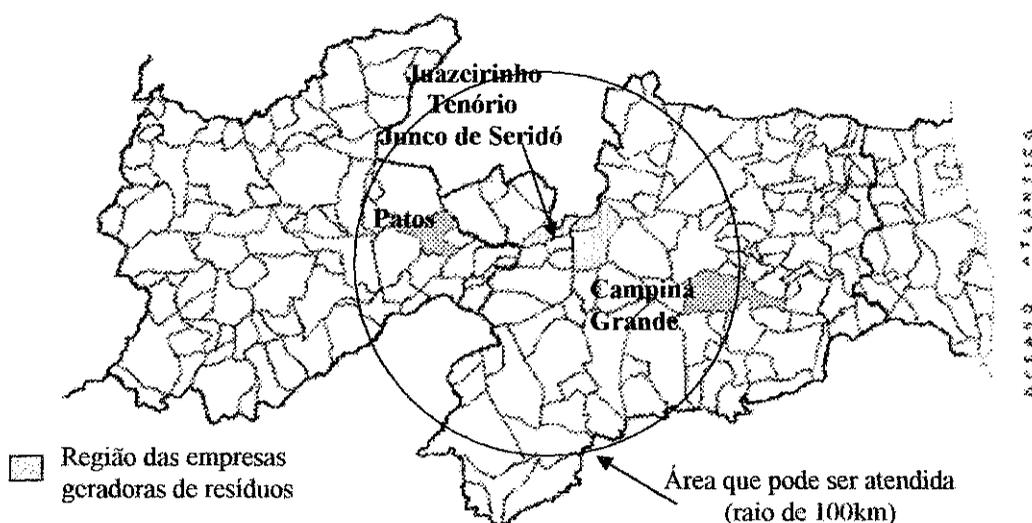


Figura 23 - Localização da região em que se localizam as empresas de beneficiamento de caulim. Modificado: Menezes (2001).

Através de informações coletadas junto a construtoras e fabricantes de blocos de vedação, constatou-se que o mercado para este produto ainda não é muito difundido no Estado da Paraíba apesar de proporcionar além de vantagens operacionais, redução de custo tanto financeiro como ambiental; isto se deve ao fato de que a Paraíba possui um grande potencial na produção industrial de cerâmica vermelha; havendo o atrativo da redução de custos existem, também, dois pólos de consumo: as cidades de Campina Grande e Patos, nas quais a construção civil apresenta altos índices de crescimento; outros municípios dos estados de Pernambuco e Rio Grande do Norte, também poderão ser atendidos.

O processo de fabricação sugerido é o manual, utilizando-se bancadas e formas metálicas, sendo a argamassa preparada em uma betoneira acionada por motor elétrico. A produção média estimada para cada operador de moldagem é de 600 blocos/dia, produção esta informada por fabricantes de blocos, o que perfaz uma produção média mensal, por operador, de 14.400 blocos.

Um grande atrativo de mercado é, sem dúvida nenhuma, o preço final do produto, sendo garantidos os requisitos básicos de qualidade. A substituição de 70% da areia por resíduo de caulim representa uma redução de custos de matéria-prima de 10,8% e redução de R\$ 0,04 no custo total do bloco.

As instalações necessárias para funcionamento se constituem de um galpão de produção com área aproximada de 300 m<sup>2</sup> e edificação para escritório, recepção e vestiários. De vez que se faz necessário um período de cura para o concreto, de 28 dias, foi previsto capital de giro para 2 meses. A discriminação e os valores para investimento inicial estão descritos na Tabela 17.

Tabela 17 - Investimento inicial para instalação de uma unidade de produção de blocos com capacidade para fabricação de 57.600 blocos mensais

Item	Discriminação	Detalhamento	Valor (R\$)
1	Transporte	Caminhão	40.000,00*
3	Equipamentos	01 Betoneira com motor elétrico	1.990,00**
		04 Bancadas metálicas	800,00**
		04 Formas metálicas	1.000,00**
		Ferramentas diversas	500,00*
4	Terreno	1 500 m <sup>2</sup>	10.000,00*
5	Construção Civil	Edificação e Galpão	30.000,00*
6	Registros	Inscrição Estadual, CNPJ e alvará	1.000,00***
7	Capital de Giro	2 meses	100.000,00
	<b>Total (1)</b>		<b>185.200,00</b>

\* Valores obtidos em pesquisa de preços na cidade Campina Grande, PB, em fevereiro de 2007

\*\* Fonte: Atlantic Maq – São Paulo (<http://atanticmaq.com.br>)

\*\*\* Fonte: Acicontábil, Campina Grande, PB

## CAPÍTULO 5

### CONCLUSÕES

Através dos resultados obtidos com o estudo de viabilidade na utilização do resíduo do beneficiamento do caulim para produção de blocos sem função estrutural, conclui-se que:

- A classificação ambiental do resíduo sólido no beneficiamento de caulim, é de classe II-A, resíduos não inertes que podem interagir com o meio ambiente, necessitando de aterros.
- Os índices elevados de cádmio e manganês presentes no extrato solubilizado, indicam que este resíduo possui constituintes que poderão causar problemas de intoxicação.
- A geração mensal de resíduos é de aproximadamente 5.280 m<sup>3</sup> e o volume acumulado na região estudada é de aproximadamente 2 milhões de metros cúbicos.
- Verificou-se, através da composição mineralógica, que o resíduo estudado apresentou grande percentual de quartzo em sua composição, indicando possibilidade de uso na composição de argamassas para blocos de vedação.
- Os blocos moldados com 40 e 70% de incorporação de resíduo apresentaram, aos 28 dias de cura, propriedades mecânicas dentro das especificações da ABNT NBR-7171 (ABNT, 1992) para uso em alvenaria de vedação; presta-se portanto para a construção de habitações de interesse social e obras rurais.
- Os resultados de absorção de água por imersão aos 28 dias de cura apresentaram valores inferiores aos blocos convencionais; contudo, todos os valores atendem aos limites determinados na norma NBR-7171 (ABNT, 1992), que confirma a potencialidade dos blocos com incorporação de resíduo no uso de construções.
- O volume de resíduos gerados mensalmente pelas empresas de beneficiamento permite a fabricação mensal de 2.000.000 de blocos, o suficiente para construir

1.000 habitações de interesse social, sendo utilizados, em cada uma, 6,6 m<sup>3</sup> de resíduo.

- A produção artesanal de blocos de vedação utilizando resíduo de caulim, além de ser uma alternativa viável para a construção de habitações de interesse social, devido à redução de custos, utiliza tecnologia simples, de fácil execução podendo ser aplicada em regime de mutirão.

## CAPÍTULO 6

### SUGESTÕES PARA FUTURAS PESQUISAS

- Realizar pesquisas sobre os problemas sociais e ambientais decorrentes da Portaria do Ministério das Minas e Energia nº 1524 datada de novembro de 1982, a qual determina ser a região do Seridó e Cariri paraibano, reserva garimpeira.
- Construir protótipos em alvenarias utilizando blocos produzidos com o traço sugerido nesta pesquisa, para avaliar as condições reais de uso em construções e desgaste a longo prazo.
- Realizar estudos para verificar a viabilidade técnica e econômica da incorporação de 100% de resíduo em traços com maior quantidade de cimento.
- Fazer análise química do extrato solubilizado da argamassa utilizando-se resíduo de caulim após os períodos de cura de 28 e 63 dias, para verificação dos teores de cádmio e manganês, após o processamento.
- Realizar estudos sobre a possibilidade de incentivos governamentais e isenção de taxas em projetos de aproveitamento de resíduos sólidos, os quais, reduzindo-se os custos do projeto, reduziriam também o preço final do produto, incentivando o consumo e aumentando o mercado para blocos de vedação utilizando materiais alternativos.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7171** : bloco cerâmico para alvenaria. Rio de Janeiro, 1992.

\_\_\_\_\_. **NBR 7173** : blocos vazados de concreto simples para alvenaria sem função estrutural. Rio de Janeiro, 1982a.

\_\_\_\_\_. **NBR 7217** : agregados: determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 1987.

\_\_\_\_\_. **NBR 7219** : agregados : determinação do teor de materiais pulverulentos . Rio de Janeiro, 1983.

\_\_\_\_\_. **NBR 7251** : agregado em estado solto : determinação da massa unitária. Rio de Janeiro, 1982b.

\_\_\_\_\_. **NBR 10004** : resíduos sólidos : classificação. Rio de Janeiro, 2004 a.

\_\_\_\_\_. **NBR 10005** : procedimento para obtenção de extrato lixiviado de resíduos sólidos. Rio de Janeiro, 2004b.

\_\_\_\_\_. **NBR 10006** : procedimento para obtenção de extrato solubilizado de resíduos sólidos. Rio de Janeiro, 2004c.

\_\_\_\_\_. **NBR 10007** : amostragem de resíduos sólidos. Rio de Janeiro, 2004d.

BARATA, M. S.; DAL MOLIN, D. C. C. Avaliação preliminar do resíduo caulínico das indústrias de beneficiamento de caulim como matéria-prima na produção de uma metacaulinita altamente reativa. **Ambiente Construído**. Porto Alegre, v. 2, n. 1, p. 69-78, jan./mar. 2002.

BELLEN, H. M. Desenvolvimento sustentável: uma descrição das principais ferramentas de avaliação. **Ambiente e Sociedade**, São Paulo, v.7, p. 67-87, 2004.

BITAR, O. Y. **Avaliação da recuperação de áreas degradadas por mineração na região metropolitana de São Paulo**. 1997. 185p. Tese (Doutorado) USP. São Paulo.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Portaria nº. 1524/1982. Disponível em : <<http://www.dnpm.gov.br/conteudo.asp?IDSecao=67&IDPagina=84&IDLegislacao=60>> Acesso em: 20 out. 2005

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº. 001/1986. MMA Disponível em: <<http://www.lei.adv.br/conama01.htm>> Acesso em: 20 out.2005

DNPM - Departamento Nacional de Produção Mineral. **Anuário mineral brasileiro** 2001. Brasília: DNPM, 2001. v.1

FARIAS, C. E. G.; COELHO, J. M. **Mineração e meio ambiente no Brasil** : Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento - PNUD, 2002, Brasil. Disponível em : < <http://www.pnud.org.br/publicacoes/>> Acesso em: 15 ago. 2006

FLORES, S. M. P.; NEVES, R. F. Alumina para utilização cerâmica, obtida a partir do rejeito de beneficiamento de caulim. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CERÂMICA, 41, 1997, São Paulo. Disponível em : <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_pdf&pid=S036669131997000400005&lng=es&nrm=iso&tlng=pt](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_pdf&pid=S036669131997000400005&lng=es&nrm=iso&tlng=pt)> Acesso em: 31 out. 2005

JORDÃO, C. P.; PEREIRA J. L.; PEREIRA M. G. Effects of kaolin processing plants on the water quality of streams in Brazil. **Toxicological and Environmental Chemistry**, v. 82, p. 139–158, 2002.

LIMA, M. S. **Utilização do resíduo de caulim para uso em blocos de concreto sem função estrutural**. 2005. 74p. Dissertação (Mestrado) UFPB. Campina Grande.

MOURA, O. J. M. **Programa pegmatitos**. Belo Horizonte: Governo do Estado de Minas Gerais / Metamig, 1981.

NEVES, G. A. et al. Blocos cerâmicos utilizando resíduo de caulim. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CERÂMICA, 50, 2006, Blumenau. **Anais ABC**. Blumenau, 2006.

ROMEIRO FILHO, E. **Projeto de produto**. 7.ed. Belo Horizonte: LIDEP/DEP/EE/ UFMG, 2004. Apostila do curso

SANTOS, E. J.; FERREIRA, C. A.; JÚNIOR, J. M. S. **Geologia e recursos minerais do estado da Paraíba**. Recife: CPRM, 2002.

SANTOS, P. S. **Ciência e tecnologia de argilas**. 2.ed. São Paulo: Edgard Blücher , 1989.

SAKAMOTO, L. Os homens-tatu do sertão. Sertão potiguar, Rio Grande do Norte, 2003. Disponível em : < <http://www.reporterbrasil.com.br/reportagens/caulim/iframe.php>> Acesso em: 01 nov. 2005.

SCLIAR, C. **Agenda 21 e o setor mineral**. Brasília: MMA; Secretaria de Políticas para o Desenvolvimento Sustentável, 2003.

SILVA, S. P. **Caulim** : Balanço mineral brasileiro 2001. Brasília: DNPM, 2001. 13 p.

SILVA, A. C.; PEREIRA, M. G.; VIDAL, M. Impactos ambientais causados pela mineração e beneficiamento de caulim. **Revista Escola de Minas**. Ouro Preto, v.54, n.2, p. 8, 2001.

Disponível em:

<[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S037044672001000200010&lng=es&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S037044672001000200010&lng=es&nrm=iso)>. Acesso em: 23 nov. 2006

SILVA, M. G.; SILVA V. G. **Painéis de vedação**. Rio de Janeiro : IBS/CBCA, 2003. 59 p.

SUPERINTENDÊNCIA DE ADMINISTRAÇÃO DO MEIO AMBIENTE. **Inventário de resíduos sólidos industriais do Estado da Paraíba**. João Pessoa: SUDEMA, 2004.

THIENSEN, M. P. Metodologia de minimização aplicada ao gerenciamento de resíduos. CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 21, 2001, Paraíba. **Anais ...** João Pessoa, 2001.

VIDAL, M. Revegetação de área de caulim na zona da mata, em Minas Gerais: um estudo de caso. Viçosa: UFV, 2001. 83p. Dissertação Mestrado.

## ANEXOS

### ANEXO A - Resultado dos ensaios de resistência a compressão simples

Incorporação de resíduo (%)		Resistência a compressão simples (Mpa)		
		7 dias	28 dias	63 dias
0% Bloco convencional sem incorporação de resíduo	B1	1,08	1,89	1,98
	B2	1,36	1,94	2,18
	B3	0,94	1,94	2,03
	B4	1,13	1,79	2,18
	B5	1,08	1,84	2,68
	B6	1,53	2,34	2,33
	<b>Média</b>	<b>1,19</b>	<b>1,96</b>	<b>2,23</b>
40%	B1	0,68	1,07	2,03
	B2	0,57	1,12	2,08
	B3	0,74	0,77	1,67
	B4	0,68	1,23	1,47
	B5	0,79	1,02	1,27
	B6	0,73	1,12	2,03
	<b>Média</b>	<b>0,70</b>	<b>1,06</b>	<b>1,76</b>
70%	B1	0,61	1,63	1,62
	B2	0,48	1,12	1,67
	B3	0,79	1,48	1,57
	B4	0,82	1,07	1,57
	B5	0,58	1,38	1,62
	B6	0,67	1,38	1,57
	<b>Média</b>	<b>0,69</b>	<b>1,34</b>	<b>1,60</b>
100%	B1	0,37	0,51	0,86
	B2	0,32	1,07	1,22
	B3	0,46	1,02	1,06
	B4	0,36	0,92	1,06
	B5	0,49	0,97	1,32
	B6	0,46	0,97	1,17
	<b>Média</b>	<b>0,41</b>	<b>0,91</b>	<b>1,12</b>