

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

**Argamassa térmica produzida com resíduos da
exploração e processamento mineral de caulim e
vermiculita expandida.**

Marcos César Bezerra do Nascimento

Engenheiro Civil

Orientador: Prof. PhD. Belarmino Barbosa Lira

Recife, 2008

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MINERAL

**Argamassa térmica produzida com resíduos da
exploração e processamento mineral de caulim e
vermiculita expandida.**

Por

Marcos César Bezerra do Nascimento

Engenheiro Civil

Trabalho realizado no Laboratório de Materiais- LABEME-CT/UFPB, no
Programa de Pós Graduação em Engenharia Mineral – PPGEMinas, UFPE.

Recife, 2008

**Argamassa térmica produzida com resíduos da
exploração e processamento mineral de caulim e
vermiculita expandida.**

DISSERTAÇÃO

Apresentada ao programa de Pós-Graduação em Engenharia Mineral da Universidade Federal de Pernambuco como parte dos requisitos para obtenção do Título de Mestre

MESTRE EM ENGENHARIA

Área de concentração: Minerais e Rochas Industriais

por

Marcos César Bezerra do Nascimento
(Engenheiro Civil)

2008



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MINERAL

PARECER DA COMISSÃO EXAMINADORA

DA 3ª (TERCEIRA) DEFESA DE DISSERTAÇÃO DO MESTRADO DE:

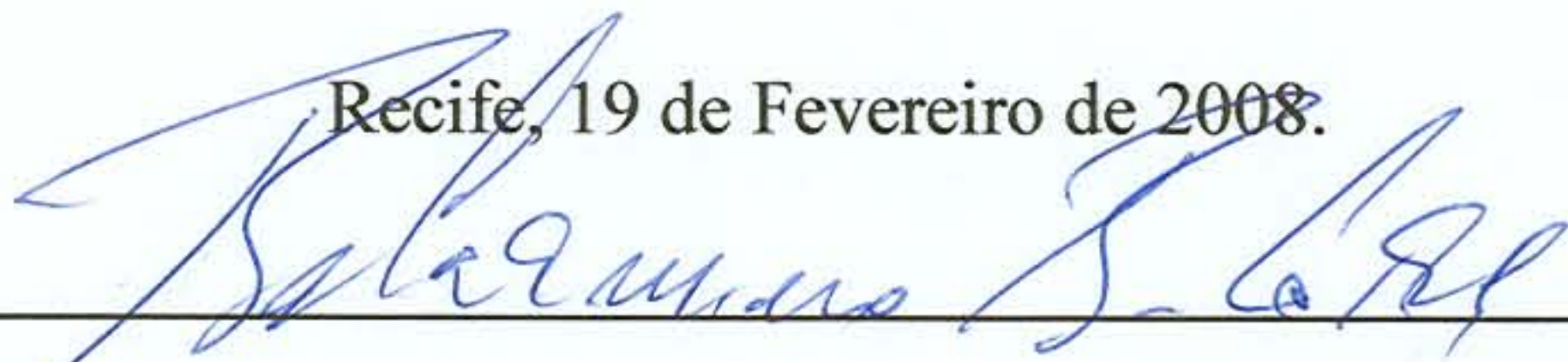
MARCOS CÉSAR BEZERRA DO NASCIMENTO

“Argamassa Produzida com Resíduos da Exploração e Processamento
Mineral de Caulim e Vermiculita Expandida”

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: MINERAIS E ROCHAS INDUSTRIAIS

A comissão examinadora composta pelos professores abaixo, sob a presidência do primeiro, considera a candidato MARCOS CÉSAR BEZERRA DO NASCIMENTO, **APROVADO.**

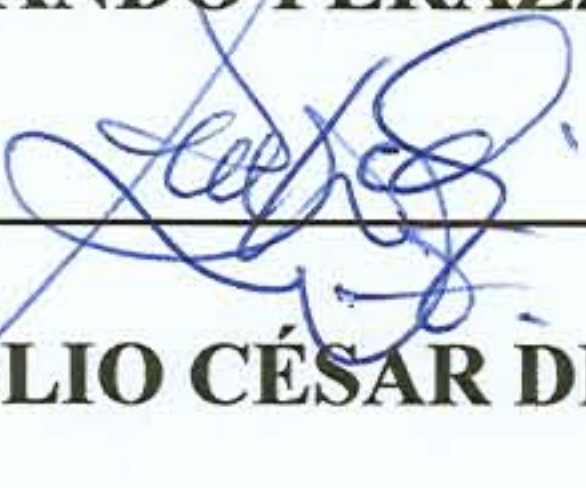
Recife, 19 de Fevereiro de 2008.



Prof. BELARMINO BARBOSA LIRA, Ph.D. (UFPB)



Prof. NORMANDO PERAZZO BARBOSA, Ph.D(UFPB)



Prof. JÚLIO CÉSAR DE SOUZA, Ph.D(UFPE)

N244a

Nascimento, Marcos César Bezerra do.

Argamassa térmica produzida com resíduos da exploração e processamento mineral de caulim e vermiculita expandida / Marcos César B. do Nascimento - Recife: O Autor, 2008.

129 folhas, il : figs., tabs., gráfs.

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

Inclui Bibliografia e Anexos.

1. Engenharia Mineral. 2.Argamasa Térmica. 3.Exploração Mineral. 4. Vermiculita 5.Caulim. I. Título.

UFPE

623.26

CDD (22. ed.)

BCTG/2008-084

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, em especial minha mãe, Neusa, por sempre estar presente na conquista dos meus sonhos.

Agradeço, em especial, Ao Prof. Berlamino Barbosa, pelas orientações, paciência, incentivo, pelos ensinamentos transmitidos, colaboração e principalmente pela oportunidade de realizar este trabalho.

Ao Prof. Luis Renato, por dar impulso aos primeiros passos.

A turma do mestrado da UFPE, pela ajuda indispensável nos momentos difíceis, em especial a Voleide e a Sueli.

Agradeço também ao Prof. Julio César, por sempre estar presente, incentivando todos nós ao sucesso.

À Caulisa S.A. pelo fornecimento da matéria prima, colaborando para o desenvolvimento desta pesquisa.

Aos funcionários do LABEME (CT-UFPB) que de alguma forma colaboraram para a execução deste trabalho, especialmente Cláudio Matias, Zito e a Ricardo pela constante ajuda.

Fica aqui ainda minha gratidão à amiga Rosiane Peixoto, por jamais faltar com sua valiosa ajuda.

A sabedoria não nos é dada; é preciso nós mesmos, depois de uma viagem que ninguém pode poupar ou fazer por nós. (Marcel Proust)

SUMÁRIO

1 - INTRODUÇÃO	19
2 - OBJETIVO GERAL.....	24
3 - OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	25
4 - JUSTIFICATIVAS E MOTIVAÇÃO	26
5 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	27
5.1 – ARGILAS.....	27
5.1.1 - Classificação das Argilas.....	28
5.1.2 - Classificação Geológica.....	29
5.1.3 - Tipos de Argilas.....	30
5.1.4 - Argilas de Bola.....	34
5.1.5 - Argila Natural.....	35
5.1.6 - Refratária	35
5.1.7 - Argilas Expandidas	35
5.1.8 - Aplicações	36
5.1.9 – Lavra de Argilo - mineral.....	37

5.2 – VERMICULITA.....	39
5.2.1 - Mineralogia e Geologia.....	39
5.2.2 - Lavra e Processamento.....	44
5.2.2.1 - Lavra.....	44
5.2.2.2 - Processamento.....	48
5.2.3 - Utilização Agrícola.....	51
5.2.4 - Características Físicas.....	51
5.2.5 - Aplicações nos Setores.....	51
5.2.6 - Vermiculita Hidrofobizada	54
5.3 – CAULIM	55
5.3.1- Geologia.....	56
5.3.2 - Lavra e Processamento	58
5.3.3- Propriedades do Caulim	62
5.3.4 - Produção de Caulim	63
5.4 – ARGAMASSA	71
5.4.1 - Definição, Funções e classificação	71
5.4.2- Traço	72
5.4.3 - Influência dos materiais constituintes	73
5.4.4 – Propriedades	81
5.4.4.1 – Consistência	81
5.4.4.2 - Capacidade de Retenção de Água	83
5.4.4.3 - Resistência Mecânica	85
5.4.4.4 - Densidade de massa no estado endurecido.....	88
5.4.4.5 - Permeabilidade por capilaridade	89

5.4.4.6 - Resistência de Aderência	89
5.4.4.7 - Módulo de Deformação	93
6 - MATERIAIS E MÉTODOS	95
6.1 – MATERIAIS	95
6.1.1 – Cimento	95
6.1.2 – Areia	95
6.1.3 – Vermiculita	96
6.1.4 – Caulim	96
6.1.5 - Água	98
6.1.6- Preparação das argamassas	98
7 - RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	100
7.1 - CARACTERIZAÇÃO DO RESÍDUO DO CAULIM (BIRRA)	100
7.1.1 - Análise Mineralógica (DRX) e Quantitativa	100
7.1.2 – Massa Específica	102
7.1.3 - Análise Granulométrica.....	103
7.1.4 - Resistência à Compressão Simples, Tração por Flexão e de Aderência á Tração	104
8 - CONSIDERAÇÕES FINAIS	112
9 - SUGESTÕES FUTURAS	113

10 – NOMENCLATURAS.....	114
11 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	116
ANEXOS.....	124

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Elementos químicos constituintes da vermiculita.....	38
Tabela 2 – Reserva e Produção mundial de vermiculita (DNPM – DEM), outros países (USGS) – Mineral Commodity Minerals Summaries 2004.....	41
Tabela 3 -. Principais depósitos identificados no Brasil (Reis, 2002).....	42
Tabela 4 – Características físico-química da vermiculita expandida (DNPM,2007).....	45
Tabela 5 – Traços recomendados (X: Y – X = vermiculita / Y = cimento).....	50
Tabela 6 – Reservas de caulim (Balanço Mineral Brasileiro, 2001).....	59
Tabela 7 – Reservas de caulim nos estados brasileiros em 2000 (Balanço Mineral,2001).....	62
Tabela 8 – Evolução da produção de caulim (DNPM/DIRIM, 2002).....	63
Tabela 9 – Desempenho de exportações e importações (DNPM/DIRIM, 2002).....	65
Tabela 10 – Características físicas dos materiais.....	95
Tabela 11 – Massa unitária e específica dos agregados (birra e areia).....	98

ANEXOS

Anexo 01 – Gráfico de resistência à compressão em moldes cilíndricos.....	125
Anexo 02 – Gráfico de resistência à compressão em moldes cilíndricos	126
Anexo 03 - Gráfico de Resistência à aderência	127
Anexo 04 - Gráfico de Resistência ao Calor.....	128
Anexo 05 - Gráfico de percentual retido x acumulado da areia Caxitú e Birra.....	129

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1- Depósito de Birra – Junco do Seridó – PB.....	19
Figura 2 - Birra - Parte arenosa do rejeito.....	20
Figura 3 – Borra - Parte argilosa do rejeito	20
Figura 4 – Exploração de argilo mineral.....	27
Figura 5 – Exemplo de aplicação de argila primária.....	27
Figura 6 – Fluxograma com a classificação geológica das argilas.....	28
Figura 7 – Diferentes tipos de argilas	28
Figura 8 - Diferentes consistências que podem ser adquiridas pelas argilas.....	30
Figura 9 – Sequência de execução dos ensaios dos Índices de Atterberg Limite de liquidez e plasticidade.....	31
Figura 10 - Depósito de argila natural.....	32
Figura 11 - Produtos Cerâmicos confeccionados com argilas	34
Figura 12 – Fachada de casa construída com blocos cerâmicos.....	34
Figura 13 – Muro construído com blocos cerâmicos de argila.....	34
Figura 14 - Exploração manual de argilo mineral.....	35
Figura 15 – Jazida de exploração de argilo mineral.....	35
Figura 16 – Mina de vermiculita, (México).....	46
Figura 17 – Fotografias de amostras de vermiculita (Santa Luzia, PB) (a) vermiculita natural e (b) vermiculita expandida (Ugarte et al, 2004).....	47
Figura 18 – Granulometria diferenciada do mineral.....	51
Figura 19 – Fluxograma simplificado do beneficiamento do caulim via úmida.....	56
Figura 20 – Efeito da quantidade e do tamanho das partículas na eficiência de empacotamento: (a) sistema com único tamanho de partículas (monodisperso); (b) máxima densidade de empacotamento; (c) deficiência de partículas pequenas; (d) deficiência de partículas grandes;	

(e) distribuição inadequada de tamanhos de partículas.....	73
Figura 21 – Relação qualitativa existente entre a densidade relativa e o arredondamento relativo para empacotamento monodispersos aleatórios de partículas (OLIVEIRA ,2000).....	74
Figura 22 – Dependência da densidade relativa de empacotamento em função da composição, para misturas de formato esférico e irregular (OLIVEIRA,2000).....	75
Figura 23 – Mesa de consistência Normal.....	77
Figura 24 – Mesa de consistência Normal.....	77
Figura 25 – Ensaio de consistência na mesa de fluidez (OLIVEIRA, 2004).....	78
Figura 26 – Dispositivos utilizados (esquerda) e execução do ensaio de retenção (direita)	79
Figura 27 – Condições de ensaios de retenção de água.....	79
Figura 28 – Molde de corpo de prova para ensaio de compressão a flexão	81
Figura 29 – Confecção de corpos de provas ainda no estado fresco.....	81
Figura 30 – Ensaio de tração por flexão.....	82
Figura 31 – Ensaio de compressão por flexão.....	82
Figura 32 – Detalhe do ensaio de tração por flexão.....	82
Figura 33 – Detalhe da ruptura do ensaio de compressão por flexão.....	82
Figura 34 – Ensaio de resistência a compressão simples.....	83
Figura 35 – Ruptura do corpo de prova.....	83
Figura 36 – Detalhe de fissuras quando do rompimento de corpo de prova.....	83
Figura 37 – Bloco de alvenaria (0,60 x 0,60) sem chapisco.....	86
Figura 38 – Bloco de alvenaria com aplicação de chapisco traço 1:3.....	86
Figura 39 – Bloco de alvenaria (0,60 x 0,60) sem chapisco.....	86
Figura 40 – Bloco de alvenaria com aplicação de chapisco traço 1:3.....	86
Figura 41 – Bloco de alvenaria chapiscado com placa de identificação de cada traço.....	87
Figura 42 – Placa após revestimento com argamassa de 20mm de espessura.....	87
Figura 43 – Molde já ensaiado, quando se observa o substrato após extração.....	88
Figura 44 – Rompimento das placas durante o ensaio.....	88
Figura 45 – Leitura do aderímetro no momento da ruptura.....	88

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Gráfico do consumo mundial por setor do caulim em % (Balanço Mineral Brasileiro, 2001).....	59
Gráfico 2 – Gráfico do consumo brasileiro por setor do caulim em % (Balanço Mineral Brasileiro, 2001).....	60
Gráfico 3 – Gráfico de exportações de caulim segundo países – 1995 – 2000.....	65
Gráfico 4 – Gráfico da evolução da reserva de caulim – 1988 – 2000.....	65
Gráfico 5 – Curvas granulométricas da areia Caxitú e da Birra.....	93
Gráfico 6 – DRX das frações da birra.....	97
Gráfico 7 – DRX da areia Caxitú	97
Gráfico 8 – Análise quantitativas das frações do rejeito arenoso (birra).....	98
Gráfico 9 – Curva granulométrica da areia e da birra.....	99
Gráfico 10 – Gráfico das quantidades de vermiculita e birra no traço de 1:4.....	101
Gráfico 11 – Resistência a compressão simples.....	103
Gráfico 12 – Resistência a compressão.....	104
Gráfico 13 – Gradiente de temperatura.....	106

RESUMO

Nos últimos anos, as indústrias de mineração, principalmente as de beneficiamento de minerais industriais, no caso específico a do caulim, vêm sendo citadas como fontes poluidoras e/ou contaminadoras do meio ambiente. Isto se deve à enorme quantidade de materiais descartados (rejeitos) no processamento mineral e na extração do minério. Estes rejeitos são freqüentemente depositados no ecossistema sem beneficiamento.

No entanto, estes rejeitos poderão ser re-processados para separar os minerais que os compõem, constituídos basicamente de quartzo, feldspato, caulim, mica e minerais metálicos em proporções inferiores a 1%.

Outra alternativa para aproveitar estes rejeitos é sua utilização direta na produção de argamassas de revestimento. Acrescentando a esta argamassa a vermiculita temos uma massa com propriedades térmicas. Além destas características, o caulim contido nos rejeitos pode reduzir o consumo de cimento na produção das massas e a sílica reduzir o tempo de pega do concreto.

A construção civil busca a utilização destes materiais, principalmente no setor de edificações onde há grandes problemas nas construções devido ao excesso de calor em ambientes, provocado principalmente pela radiação solar. Existem outros problemas que podem ser criados pela incidência direta da radiação solar, como o caso de fissuras e trincas nos elementos construtivos, devido à elevada dilatação térmica sofrida pelas massas. Some-se a isto, a ocorrência de outras variáveis como o desconforto acústico existentes nos centros urbanos, a exemplo dos ruídos gerados pelo trânsito de veículos nas metrópoles.

O presente trabalho tem por objetivo principal, avaliar a potencialidade do uso de resíduos do beneficiamento do caulim produzidos pelas indústrias de mineração da Região do Seridó no Estado da Paraíba, associado à vermiculita, visando à confecção de argamassas com características isolantes termo-acústico com redução do consumo de cimento.

A caracterização do caulim foi realizada através da difração de Raios-X e análises físicas, e as argamassas, através dos ensaios de aderência, resistência à compressão simples e tração na flexão. O ganho de isolamento nos blocos foi medido utilizando-se um termômetro a laser. Os resultados evidenciaram que os resíduos apresentam grandes potencialidades para uso na construção civil.

Palavras Chave: argilas, mineração, caulim, vermiculita, argamassas

ABSTRACT

In the last years, mining industry has been mentioned as pollutant sources of the environment, as in case of the kaolin. The pollution occurs due to the great amount of discarded materials (rejects) in the mineral processing and in the ore extraction. These rejects are frequently deposited in the ecosystem without improvement near by the processing plant

However, these rejects can be processed to separate the minerals that compose it, constituted basically of quartz, feldspat, kaolin, micas and metallic minerals in the proportions lower than 1%. Other alternative to take advantage of these rejectos is the direct use in the production of covering mortars. The addition of the vermiculite results in a mass with thermo properties. Besides of these characteristics of kaolin contained in the rejects it can reduce the cement consumption in the mass production. The civil construction looks for the use of these materials, principally when there are problems in the constructions due to the excess of heat, provoked by the solar radiation. Beside of this factor there are other problems that can be provoked by the direct incidence of the solar radiation as the case of fissures and trines in the constructive elements, due to the high thermal dilation suffered by the masses. Furthermore, other variables exist such as the acoustic discomfort generated in the urban center as noise generated by the traffic of vehicles in the metropolises.

The present work aimed to evaluate the potential use of residues of the kaolin improvement generated by the mines of the Seridó Region in the State of Paraíba, associate to vermiculita, in the order to produce the mortars with term insulating characteristics with reduction of the cement consumption.

The kaolin was characterized through the X-ray analysis, rehearsals of adherence, resistance to the simple compression, traction in the flexing and the improvement of the blocks isolation was determined by laser thermometer. The results evidenced that the residues show great potentialities for use in the building construction industry.

Key-words clay, mining, kaolin, vermiculite, mortars

1- INTRODUÇÃO

As atividades de mineração na indústria de beneficiamento de caulim são citadas pelos órgãos ambientais como grandes fontes geradoras de contaminação e poluição do meio ambiente, devido à enorme quantidade de resíduos (rejeitos) gerados e depositados diretamente nos ecossistemas, sem qualquer processo de tratamento. Para eliminar ou reduzir essas emissões que produzem danos ambientais adversos, tais como a degradação da vegetação, a destruição de nascentes de rios e os desequilíbrios nos ecossistemas locais, são necessários estudos e o desenvolvimento de tecnologias apropriadas que possam absorvê-las no seu processo de produção, dando a esse resíduo uma destinação ecologicamente correta e com viabilidade econômica.

Os impactos ambientais causados pelas empresas mineradoras de caulim podem ser classificados em dois tipos: O primeiro é gerado pela implantação da mina, na qual o grande problema deve-se ao desmatamento, à medida que resulta em um grande causador de problemas hidrológicos, como erosão e lixiviação dos solos. O segundo é o impacto ambiental proveniente da lavra inadequada do minério, na qual tem sua grande problemática, no elevado volume de resíduos gerados, que normalmente são depositados em locais impróprios, como em leito de rios e zonas de mananciais, causando assim a degradação da biodiversidade.

Com relação ao beneficiamento dos caulins, são produzidos basicamente dois tipos de resíduos. O primeiro conhecido comercialmente por **Birra**, que é a fração arenosa gerada em maior quantidade, tendo como característica uma maior granulometria. O mesmo é composto basicamente por: quartzo, feldspatos, minerais metálicos (em proporções inferiores a 1%) e micas.

O segundo resíduo é a parte argilosa do rejeito, também conhecido como **Borra**, resultado das etapas de filtração e centrifugação no processo de produção do Caulim, sendo composto por partículas finas (mais de 80% passando na peneira 200 mesh); Apesar de a quantidade desse resíduo não atingir normalmente os 15% do rejeito produzido, ainda assim, causa sérios problemas ao meio ambiente e a saúde humana, principalmente para os operários que trabalham diretamente com o manuseio deste minério.

De acordo com o que foi descrito acerca do impacto ambiental gerado pelo rejeito de caulim, busca-se a utilização econômica e sustentável deste resíduo conjuntamente com outro mineral (vermiculita expandida), na fabricação de um compósito que proporcione características de isolamento termo-acústica e que possa ser empregada de forma economicamente viável.

As características do rejeito, agregadas ao elevado poder de isolamento da vermiculita expandida permitem uma excelente aplicação desses dois minérios como isolante nas construções em geral, podendo desta forma, serem utilizados em regiões onde os gradientes térmicos são elevados.

Soma-se a isso que a produção deste novo material, torna-se uma alternativa econômica e ecologicamente viável, uma vez que as empresas de mineração que beneficiam o minério de caulim geram grandes quantidades de rejeitos sem destinação econômica como se pode observar na Figura 1, ao mesmo tempo em que se busca uma alternativa de baixo-custo e de alta aplicabilidade, que proporcionem melhorias para a população em geral.



Figura 1- Depósito de rejeito de caulim – Junco do Seridó -PB (autor, 2007)

As figuras 2 e 3 mostram as frações grossas e finas, respectivamente, que compõem os rejeitos do caulim.



Figura 2 – Birra, parte arenosa do rejeito (Nóbrega, 2007)



Figura 3 – Borra parte argilosa do rejeito (Nóbrega, 2007)

Está evidente que um dos grandes desafios deste século é a busca pela redução, racionalização e/ou eliminação dos resíduos oriundos das empresas mineradoras. Estudos sobre aproveitamento de resíduos vêm sendo realizados em todo mundo e as razões são basicamente as mesmas, ou seja, objetiva uma redução no consumo de energia elétrica, escassez de matéria-prima, redução na emissão de agentes poluidores do meio ambiente, redução de custos de produção, diminuição nos acidentes e melhoria da saúde dos trabalhadores e da população em geral.

No Brasil, diversos centros de pesquisa intensificam os estudos referentes à reciclagem de resíduos, seja para seu uso como componentes de diversos tipos de

materiais, seja para produção e desenvolvimento de novos produtos ou mesmo agregado a outros, caso dos rejeitos provenientes de combustíveis, resíduos fundentes e os da mineração.

Pesquisas mostram que a reciclagem desses resíduos é uma forma eficiente de renovar e diversificar a oferta de materiais alternativos, utilizados, sobretudo na construção civil, visando uma redução de custos, assim como eliminando o máximo possível a disposição de resíduos no meio ambiente.

Quando se trata da Região Nordeste do Brasil pode-se afirmar que esta parte do país possui uma grande reserva de caulim, com destaque para os Estados da Paraíba e do Rio Grande do Norte. Nesses Estados pode-se encontrar uma disposição de grandes jazidas deste minério e em alguns municípios localizados na Região do Seridó, só citando alguns municípios que lavram este material para beneficiamento, tem-se: Junco do Seridó, Santa Luzia, Malta, estes no Estado da Paraíba e no Rio Grande do Norte, Parelhas e Equador entre outros. É importante observar que no processo de beneficiamento do caulim primário, o rendimento é em torno de 35% do total extraído da jazida, ou seja, de cada tonelada de material bruto extraído na jazida, apenas 350 kg pode ser aproveitado.

Entretanto, os processos de beneficiamento utilizados na Região em apreço recuperam, aproximadamente, 30% de caulim contido no minério, gerando em torno de 70% de rejeitos do minério extraído

O uso desse rejeito está basicamente associado à construção civil, à medida que é utilizado como matéria prima para fabricação de outros materiais, ou na substituição de outra parte de material, seja plástico ou não plástico. Esses resíduos têm, em sua constituição mineralógica quartzo, mica, caulim e minerais metálicos em pequenas quantidades (<1%), dentre outros em menor quantidade, que provavelmente poderão ser aplicados como agregados miúdos na confecção de argamassas distintas, blocos de cerâmicas, lajotas, telhas e outros itens com custo baixo. Portanto, este material tem na realidade, uma ampla utilização quando devidamente processado e/ou utilizado da forma que é gerado pela indústria de caulim

Sendo assim, o trabalho em apreço visa contribuir para ampliar o estudo no desenvolvimento de produtos com resíduos de caulim associado à vermiculita expandida e desta forma obter um novo produto de custo baixo com propriedades térmicas e acústicas. Desta forma, tem-se uma aplicação para os rejeitos do processamento do caulim acrescido de viabilidade técnica e econômica, resulte-se ainda o resgate de carbono inserido neste contexto.

2 - OBJETIVO GERAL

O presente estudo tem como objetivo principal avaliar a potencialidade do uso do rejeito do beneficiamento do caulim, sobretudo a Birra, no pólo pegmatítico da região do Junco do Seridó no Estado da Paraíba para produção de uma argamassa com características térmicas, ainda ressaltando a incorporação da vermiculita expandida ao rejeito de caulim, que possa ter amplo uso na construção civil;

Diminuição da quantidade de resíduos de caulim gerados pelo beneficiamento das indústrias mineradoras, atribuindo-lhe finalidade, que torne economicamente viável sua utilização.

Redução de emissões de CO₂, através do resgate de carbono via a minimização do consumo energético dos ambientes imobiliários, uma vez que introduzimos uma massa térmica alternativa.

Redução no consumo da matriz energética, uma vez que os ambientes estando isolados tendem a economizar mais energia, pois evita a troca de calor dos ambientes com o meio em que está inserido.

3 - OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Para a realização da pesquisa, foram estabelecidos como objetivos específicos:

Caracterizar física e mineralogicamente as matérias-primas convencionais e alternativas (rejeitos de caulim e a vermiculita);

Formular argamassas a partir dos resultados provenientes das caracterizações supracitadas.

Caracterizar as argamassas desenvolvidas para análise de características tecnológicas tais com: resistência, compressão, resistência a aderência e resistência a tração por flexão;

Analisar os resultados e verificar se os mesmo estão dentro dos padrões estabelecidos em normas e bem como sua viabilidade econômica de produção.

4 - JUSTIFICATIVAS E MOTIVAÇÃO

As crescentes exigências da sociedade por tecnologias sustentáveis e técnicas operacionais mais limpas e seguras do ponto de vista ambiental que visem enquadrar o setor mineral no modelo de sustentabilidade, evidenciem o problema dos resíduos gerados no processo do beneficiamento do caulim, sobretudo o rejeito arenoso (birra). Assim, busca-se uma utilização comercial para este agregado, que diminua substancialmente a quantidade de rejeitos na natureza, de forma que o mesmo possa contribuir para o controle ambiental.

O tema de tal estudo apresenta grande relevância, uma vez que o Estado da Paraíba Produz grande quantidade de rejeitos de caulim está situado próximo a linha do Equador e isto lhe confere médias de temperatura elevadas por grande parte do ano, fazendo que as construções sofram com o desconforto térmico. Outro fato relevante, se da, sobretudo nos grandes centros urbanos, com a poluição sonora, principalmente, em ambientes próximos a fluxo de veículos e a zonas com fábricas, que são notadamente agentes produtores de ruídos sonoros, causando danos por vezes irreparáveis à saúde humana.

Outro aspecto motivador é o fato de a Região em análise estar inserida próxima à linha do equador, e com isso sofre forte incidência solar por quase todos os meses de ano, justificando a pesquisa por materiais que possam contribuir para a redução térmica dos ambientes.

5 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

5.1 - ARGILAS

O nome “argila” (Grim, 1953 e 1968) é usado como termo petrográfico para designar uma rocha e também como termo para designar uma faixa de dimensões de partículas na análise mecânica de rochas e solos. Como termo petrográfico, é difícil de ser definido precisamente devido à grande variedade de materiais que tem sido designados por argilas.

A argila é um silicato de alumínio hidratado, composto por Alumínio (óxido de alumínio), sílica (óxido de silício) e água, contendo ainda certo teor de elementos alcalinos e alcalino-terrosos.

É um material proveniente da decomposição das rochas feldspáticas, muito abundantes na crosta terrestre. É de origem natural, terroso, de granulometria fina, que geralmente adquire, quando umedecido com água, certa plasticidade.

As argilas são constituídas essencialmente de partículas cristalinas extremamente pequenas de um numero restrito de minerais conhecidos como argilo-minerais, formadas, sobretudo por silicato hidratado de Al, Fe, Mg.

Designa ainda o nome “argila” um grupo de partículas do solo cujas dimensões se encontram entre uma faixa específica de valores (abaixo de dois microns).

Há variação considerável na terminologia das argilas e argilo-minerais nos diversos setores científicos e tecnológicos que se utilizam este mineral.

Além dos argilominerais as argilas contêm “materiais orgânicos”, sais solúveis e partículas de quartzo, pirita, mica, calcita, dolomita e outros minerais residuais. São espalhados pela superfície da terra chegando a constituir 75% das rochas sedimentares do planeta.

Sua superfície específica é infinitamente maior que os demais componentes granulométricos do solo, e na Figura 4, pode-se observar a exploração de argila.



Figura 4 – Exploração de argilo mineral, Piauí (Lira, 2007)

5.1.1 - Classificação das Argilas

As argilas se classificam em duas categorias.

Primárias - Possuem partículas mais grossas e coloração mais clara, são pouco plásticas, porém de grande pureza e possuem alto nível de fusão. Ex: O caulim.

As argilas primárias são utilizadas, sobretudo na fabricação de massas para porcelanas como pode se ver na Figura 5. São de coloração branca e fundem a 1800°C, sendo pouco plásticas, e devem ser moldadas em moldes ou formas, pois, com a mão, é impossível.

São pouco atacadas pelos agentes atmosféricos



Figura 5– Exemplo de aplicação de argila primaria (Lira, 2007)

Secundárias - ou sedimentares são as que têm sido transportadas para mais longe da rocha mãe pela água, pelo vento ou ainda pelo degelo.

As secundárias são mais finas e plásticas que as primárias, podendo, no entanto conter impurezas ao se misturarem com outras matérias orgânicas e minerais.

5.1.2 - Classificação Geológica

A figura 6 abaixo apresenta um fluxograma da classificação geológica das argilas.

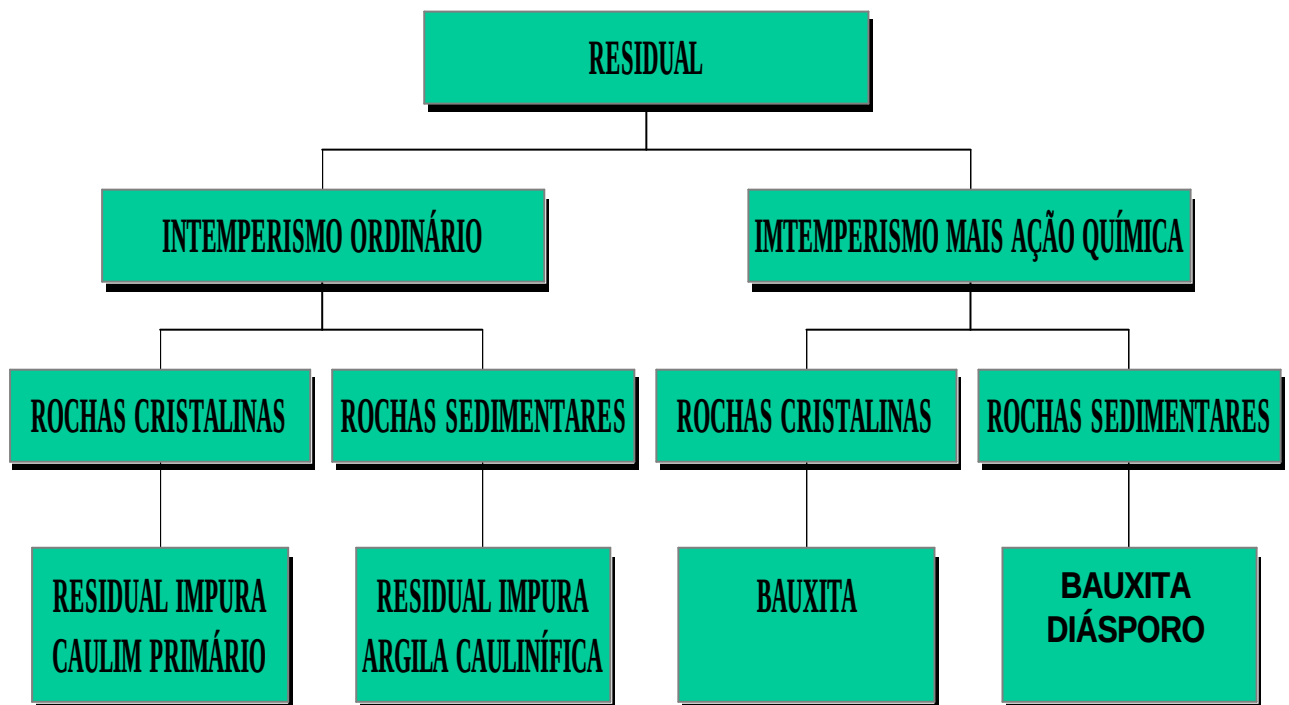


Figura 6– Fluxograma com a classificação geológica das argilas

5.1.3 - Tipos de Argilas

Na figura 7 observam-se os diferentes tipos de argilas existentes.

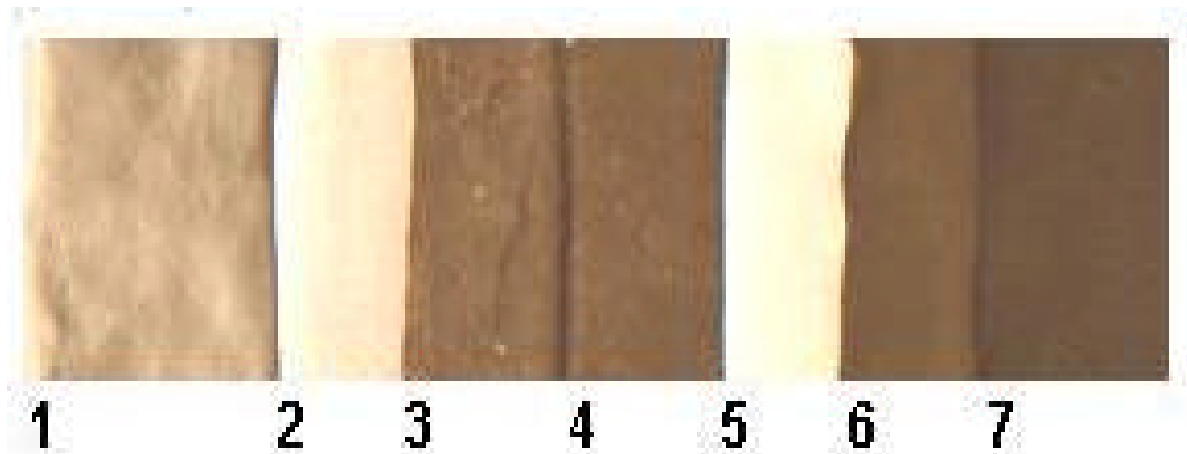


Figura 7 – Diferentes tipos de argila

- 1 - argila de grés.
- 2 - caulim ou argila da China.
- 3 - argilas refratárias
- 4 - argilas de bola
- 5 - bentonita
- 6 - argilas naturais
- 7 - argila vermelha ou refratária

Argilas de grés:

Argila de grão fino, plástica, sedimentária e refratária - que suporta altas temperaturas. Vitrificam entre 1250-1300 °C.

Bentoníticas:

Argila vulcânica muito plástica contém mais sílica do que alumínio e se origina das cinzas vulcânicas. Apresenta aparência e tato gorduroso, podendo aumentar entre 10 e 15 vezes seu volume ao entrar em contato com a água.

Argilas vermelhas ou refratárias:

Argila que adquire este nome em função de sua qualidade de resistência ao calor.

São utilizadas nas massas cerâmicas, dando maior plasticidade e resistência em altas temperaturas, bastante utilizadas na produção de placas refratárias que atuam como isolantes e revestimentos para fornos.

São plásticas com alto teor de ferro e resistentes às temperaturas de até 1100°C, porém fundem a uma temperatura maior e podem ser utilizadas com vidrados para grés. Para classificar esse tipo de argila utilizam-se os Índices de Attemberg que são os limites de liquidez e limite de plasticidade. Estes limites caracterizam a consistência dos solos.

O termo consistência é usado para descrever um estado físico, isto é, o grau de ligação entre as partículas das substâncias. A consistência refere-se aos solos coesivos e é definida como maior ou menor dureza em que uma argila é encontrada na natureza. Quando aplicado aos solos finos ou coesivos a consistência está ligada à quantidade de água existente no solo, ou seja, ao seu teor de umidade.

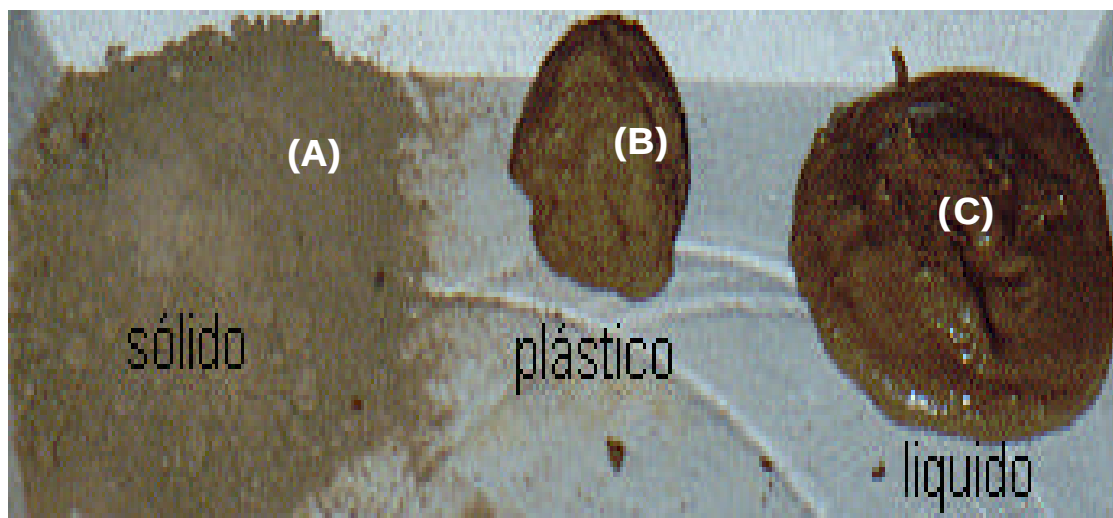


Figura 8 - Diferentes consistências que podem ser adquiridas pelas argilas, (Lira, 2007)

A figura 8 apresenta os estados de consistência de um solo. (A) mostra o solo no estado sólido onde ele não diminui de volume ao perder umidade. Este solo apresenta apenas umidade higroscópica, que é a água disposta apenas entre os espaços vazios da amostra; (B) o solo se comporta plasticamente, ou seja, foi inserida uma quantidade relevante de água na amostra, de forma que o material sofra uma diminuição de volume ao perder umidade e (C) mostra o material com saturação líquida. O mesmo apresenta aparência e propriedades de uma suspensão ou de um fluído.

Os limites de consistência são, na realidade, teores de umidades limites, entre dois estados distintos que representam as condições de ruptura no solo

Limite de liquidez é o teor de umidade na qual se unem, em 1 cm de comprimento, os bordos inferiores de uma canelura, aberto por um cinzel de dimensões padronizadas, em uma massa de solo colocada em um aparelho também padronizado (Casagrande), sob o impacto de 25 golpes do mesmo. O limite de liquidez marca a transição do estado líquido para o estado plástico. O ensaio é realizado segundo norma: ABNT – NBR 6459/1984 – Solo – Determinação do limite de liquidez.

Limite de plasticidade: é a transição entre o estado plástico e o estado semi-sólido. O ensaio é realizado segundo norma: ABNT – NBR 7180/1984 – Solo – Determinação do limite de plasticidade.

Na figura 9 mostra-se uma seqüência de execução dos ensaios dos Índices de Atterberg, limite de liquidez e de plasticidade. No início da seqüência de fotos observa-se a preparação da amostra vindo de campo. Em seguida a amostra é levada para o peneiramento e em seguida colocada num recipiente metálico onde será umificado e colocado numa cápsula metálica para adquirir a consistência padrão e se realizar o ensaio no equipamento de Casagrande. Após este ensaio o material será colocado numa placa de vidro pressionado o material com os dedos da mão afim de o mesmo atingir uma dimensão e diâmetro estabelecido por norma. Feito isso o material será encaminhado à estufa para se detectar o teor de umidade da massa.



**Figura 9 – Seqüência de execução dos ensaios dos Índices de Atterberg.
Limite de liquidez e plasticidade , (Lira, 2007)**

5.1.4 - Argilas de Bola (Ball clay)

São argilas secundárias muito plásticas, de cor azulada ou negra, apresentam alto grau de contração tanto na secagem quanto na queima. Sua grande plasticidade impede que seja trabalhada sozinha, ficando pegajosa com a água. É adicionada em massas cerâmicas para proporcionar maior plasticidade e tenacidade à massa. Vitrifica aos 1300°C.

5.1.5 - Argila Natural

É uma argila que foi extraída e limpa, e que pode ser utilizada em seu estado natural, sem a necessidade de adicionar outras substâncias.

É a argila mais abundante na natureza, sendo utilizada na fabricação de produtos cerâmicos de menor valor comercial. Na Figura 10, pode ser observado um depósito de argila natural.



Figura 10 – Depósito de argila natural, (Lira, 2007)

5.1.6 - Refratária

Argila que adquire este nome em função de sua qualidade de resistência ao calor.

São utilizadas nas massas cerâmicas dando maior plasticidade e resistência em altas temperaturas, bastante utilizadas na produção de placas refratárias que atuam como isolantes e revestimentos para fornos.

5.1.7 - Argilas expandidas

A argila expandida é produzida em grandes fornos rotativos, utilizando argilas especiais que se expandem a altas temperaturas (1100 °C), transformando-as em um produto leve, de elevada resistência mecânica, ao fogo e aos principais ambientes ácidos e alcalinos.

Suas principais características são: leveza, resistência, inércia química, estabilidade dimensional, incombustibilidade, além de excelentes propriedades de isolamento térmico e acústico.

5.1.8 - Aplicações

Uso industrial.

Na indústria, as argilas são utilizadas na composição de diversos produtos, tais como, borracha e plásticos, produção de cimento Portland, minas para lápis, perfuração de poços e sondagens, no processo de fabricação de tecidos, cerâmicas, inseticidas, óleos comestíveis, produtos farmacêuticos, tintas, celulose e papel, metalúrgica, petróleo e sabão.

Alguns Produtos Cerâmicos confeccionados com argila utilizados na construção civil são mostrados na figura 11.



Figura 11 - Produtos Cerâmicos confeccionados com argila (Lira, 2007).

Construção civil.

Na construção civil são usados em blocos cerâmicos e em peças para revestimentos de pisos, paredes e ambientes decorativos como pode ser observado nas figuras 12 e 13.



Figura 12 – Fachada de casa construída com blocos cerâmicos.

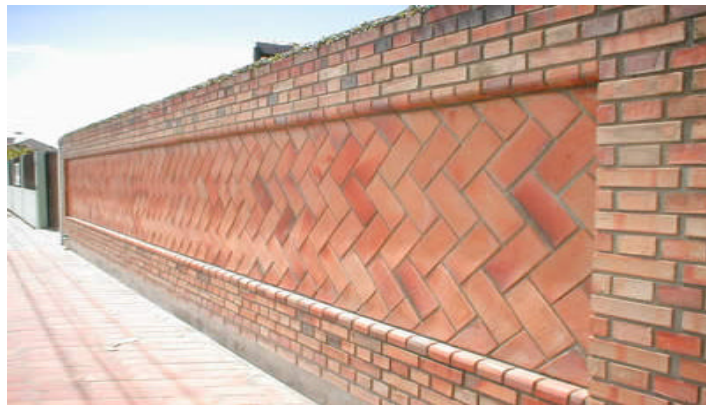


Figura 13 – Muro construído com blocos cerâmicos de argila.

5.1.9 - Lavra de Argilo-mineral

A lavra do argilo mineral se dá por 2 processos, um a céu aberto e o outro de forma subterrânea, sendo o primeiro mais comum pois requer menos tecnologia e recursos humanos. Na figura abaixo tem-se uma lavra de argilo a céu aberto.

Como pode ser verificado nas figuras 14 e 15, se a jazida estiver próximo à superfície, à extração pode ser feita manualmente:



Figura 14 - Exploração manual de argilo mineral, João Pessoa- PB (Lira, 2007)



Figura 15 – Exploração manual de argilo mineral, João Pessoa- PB (Lira, 2007)

Já em camadas profundas é necessário abertura de galerias e máquinas para o transporte.

Além das argilas existem outros materiais cerâmicos que misturados às mesmas produzem as chamadas massas ou pastas cerâmicas. Algumas são adicionadas como antiplásticos e outros como fundentes. Os antiplásticos reduzem o encolhimento das argilas quando secam, enquanto os fundentes baixam a temperatura de vitrificação destas.

5.2 – VERMICULITA

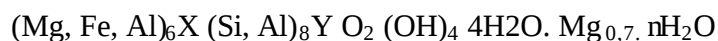
Até o trabalho de Gruner (1934), o termo “vermiculita” era mal definido, sendo aplicado a todo mineral micáceo, em lâminas macroscópicas que abriam ou esfoliavam pelo aquecimento. Após realização de alguns estudos químicos e por difração de raios X, depois de Gruner (1934), verificou-se que um grande número de minerais classificados como Vermiculita eram camadas mistas interestratificadas de mica-vermiculita e clorita-vermiculita. Diversos autores (Weiss e Rowland, 1956); (Whitting e Jackson, 1955/1956) mostraram que interestratificações ternárias e quaternárias de vermiculita com illita, clorita e/ou montmorilonita podem existir. Além disso, também existe mistura lateral de vermiculita e clorita dentro da mesma camada estrutural (Grim e Johns, 1954). Todos esses fatores tornam plausível a idéia de existir uma grande variabilidade na estrutura cristalina, em pequenos intervalos de distância dentro de uma mesma ocorrência ou jazida, trazendo bastante confusão na caracterização mineralógica da vermiculita.

5.2.1 - Mineralogia e Geologia

Mineralogia.

A vermiculita é um aluminossilicato hidratado de magnésio, ferro e alumínio do grupo das micas. Foi encontrada pela primeira vez em 1904, cujo nome foi proveniente da semelhança observada entre o movimento realizado pela substância ao se expandir e as contrações características dos vermes, dando origem assim ao nome.

Vermiculita é um mineral pertencente à família dos filossilicatos, de cor preta ou amarelada, que possui estrutura cristalina micáceo-lamelar, formada por duas folhas tetraédricas de silicatos e uma folha central de magnésio e alumínio, com clivagem basal e presença de cátions trocáveis em posições interlamelares. Contém pequena quantidade de cromo, manganês, fósforo, enxofre e cloro. Segundo Souza Santos (2002), a fórmula química da célula unitária de uma vermiculita é:



Onde X e Y apresentam respectivamente, as folhas octaédrica (hidróxidos e tetrédricas (silicato) e $\text{Mg}_{0,7}$ representam os cátions trocáveis. As três posições octaédricas não costumam estar totalmente preenchidas e o magnésio octaédrico está substituído parcialmente por Fe^{3+} , Fe^{2+} e Al^{3+} .

A mesma possui as seguintes proporções apresentadas na tabela 1, dos seus elementos constituintes:

Elemento	% por Peso
SiO_2	38,0 – 46,0
Al_2O_3	10,0 – 16,0
MgO	16,0 – 35,0
CaO	1,0- 5,0
K_2O	1,0 – 6,0
Fe_2O_3	6,0 – 13,0
TiO_2	1,0 – 3,0
H_2O	8,0 – 16,0
Outros	0.20 - 1.20

Tabela 1 – Elementos químicos que constituíntes da vermiculita

A estrutura cristalina da vermiculita é constituída por duas folhas de tetraedros SiO_4 intercalados por uma folha central de octaedros de $[\text{Mg}_3(\text{OH})_6]$. O empilhamento destas folhas forma uma camada 2:1 que são separadas por uma camada de água, a qual ocupa um espaço definido de 4,98 Å. Quando aquecido a temperatura 800-1000°C, expande-se abruptamente na direção axial, aumentando seu volume de 6 a 20 vezes, devido a vaporização das moléculas de água que se encontram entre as camadas. Esse fenômeno é chamado de esfoliação e faz com que a vermiculita expandida tenha uma baixa densidade (entre 0,15 g/cm³ e 0,25 g/cm³), uma grande área superficial específica,

seja inerte, absorvente, isolante térmico e acústico, resistente ao fogo. A vermiculita ainda apresenta aptidão de formar complexos com substâncias orgânicas, distância variável entre as camadas da rede cristalina segundo a altura do cátion permutável. Essas características fazem com que o material apresente alta capacidade de troca catiônica (CTC), estando na faixa de 120 a 200meq/100g, devido às cargas não balanceadas de 1,0 e 1,5 por cela unitária. A estrutura é desbalanceada principalmente por substituições do Si^{4+} por Al^{3+} nas camadas tetraédricas. Estas substituições podem ser compensadas por outras substituições na estrutura cristalina, mas existe sempre uma deficiência de cargas, a qual é satisfeita por cátions que ocorrem entre as camadas estruturais, que são facilmente trocáveis. Possui cátions trocáveis, o cálcio, o potássio e o magnésio, sendo que o último é o cátion trocável predominante.

Geologia

A vermiculita poder ser derivada da biotita, diopsídio, hornblenda e serpentina por um dos processos seguintes:

- a) – Intemperismo ao longo de zona de falhas até a profundidade de 100m;
- b) – Alteração hidrotermal a baixa temperatura (menor que 350°C) de piroxenito, peridotito, dunitos, carbonatitos e anfibolitos cortados por granodioritos e pigmentos, ambos alcalinos.

O fato de a vermiculita ser instável nas temperaturas acima de 350 °C comprova a afirmação de que é possível à mesma, em profundidade da crosta terrestre, converter-se em biotita ou em outros minerais como flogopita, diopsídio, hornblenda ou serpentina. Este fato restringe o tamanho dos depósitos desse mineral, cuja existência em profundidade é considerada uma exceção, e justifica o número reduzido de minas subterrâneas desse mineral de baixo valor agregado. Por outro lado, vermiculitas que resultaram da alteração da flogopita e biotita contêm partículas com granulometria grossa e, portanto, de boa qualidade.

Os elementos químicos presentes na vermiculita, em especial ferro, alumínio e magnésio, estão relacionadas a uma alteração da biotita, por ação hidrotermal associada a micas. Esta, de um modo simples, pode ser entendida como uma solução aquosa aquecida, usualmente acima de 50°C, caracterizada por composição química complexa dada por diversas substâncias dissolvidas. Essa solução ou fluido pode ser gerada em diversos sistemas geológicos, onde a fase aquosa e seus solutos têm fontes diversas, como, por exemplo: magmática e metamórfica. Nestes ambientes geológicos, a água pode ser progressivamente aquecida e reagir quimicamente com os minerais e rochas percolados, transformando-se então, numa solução hidrotermal.

Os depósitos brasileiros e mundiais de vermiculita encontram-se principalmente, entre as zonas de complexos máficos, ultramáficos e carbonatitos. Outros pequenos depósitos são formados por dunitos, piroxenitos, peridotitos ou rochas máficas cortadas por pegmatitos, sienitos e rochas graníticas (Birkett e Simandi, 1999; Imandi et al., 1999). Segundo estudos geológicos, os depósitos brasileiros são divididos em dois tipos:

- 🌈 Os derivados de alteração da mica flogopita em carbonatitos, e não silicática, como a maioria das rochas ígneas;
- 🌈 Os derivados de alteração da biotita em complexos metamórficos máficos e ultramáficos serpentinizados, quando expostos ao desgaste intenso e modificação em temperaturas elevadas.

As reservas mundiais de vermiculita estão espalhadas por diversos países como mostra a tabela 2 a seguir:

<i>Discriminação</i>	<i>Reservas ¹(10³ t)</i>		<i>Produção (10³ t)</i>		
<i>Países</i>	2003 ^p	%	2002	2003 ^p	%
<i>Brasil</i>	12.000	5,7	22	26	5,4
<i>África do sul</i>	80.000	37,7	210	220	45,5
<i>EUA</i>	100.000	47,2		100	20,7
<i>China</i>		—	50	50	10,4
<i>Zimbábue</i>		—	24	20	4,1
<i>Rússia</i>		—	25	25	5,2
<i>Outros países</i>	20.000	9,4	45	42	8,7
<i>Total</i>	212.000	100	376	483	100,0

Tabela 2 – Reserva e produção mundial de vermiculita (DNPM – DEM; outros países: (USGS)-Mineral Commodity Minerals Summaries -2006)

Notas: (p) Dados preliminares

- (1) Inclui reservas medidas e indicadas
- (2) Concentrado vendido ou usado pelos produtores
- (-) Dado nulo
- (...) Não disponível

Hoje, a produção nacional é restrita a corpos máficos e ultramáficos, que têm dimensões reduzidas e em geral são subverticais. Os depósitos carbonatitos têm maior dimensão para lavra a céu aberto, como é o caso do depósito de Phalaborwa, considerado o segundo maior do mundo, onde a vermiculita é um subproduto de lavra de cobre. Além disso, o Brasil conta com dezenas de depósitos de carbonatitos descritos na nossa geologia que ainda não foram estudados geologicamente para identificação de reservas adicionais.

Segundo Reis (2002), depósitos associados a metassedimentos carbonáticos sem seqüências vulcânicas metamorfizadas ainda não foram descritos no Brasil; e a ausência de normas brasileiras para efetuar cálculos de reserva minerais, para que sejam reconhecidas no mercado internacional, dificultam a classificação dos depósitos de vermiculita no país, que só podem ser identificados como reserva de minério.

A Tabela 3 abaixo apresenta os principais depósitos de vermiculita identificados no Brasil (entre parênteses a percentagem de vermiculita) (Reis, 2002).

<i>DEPÓSITO</i>	<i>LOCALIZAÇÃO</i>	<i>TIPO</i>	<i>VERMICULITA</i> <i>10⁶ (t)</i>
<i>Catalão I</i>	Ouvidor (GO)	Carbonatito	10 (20%)
<i>Queimada Nova</i>	Queimada Nova (PI)	Máfico e ultramáficos	1,95 (20%)
<i>Santa Luzia</i>	Santa Luzia (PB)	Máfico e ultramáficos	> 7 (30%)
<i>Sancrelândia</i>	Sancrelândia (GO)	Máfico e ultramáficos	1,5 (30%)
<i>Montes Belos</i>	Montes Belos (GO)	Máfico e ultramáficos	2 (30%)
<i>Brumado</i>	Brumado (BA)	Máfico e ultramáficos	2 (25%)

Tabela 3 - Principais depósitos de vermiculita identificados no Brasil (Reis, 2002)

5.2.2 - Lavra e Processamento

5.2.2.1 - Lavra

Por conta dos custos de mineração e beneficiamento, além daqueles relativos ao transporte do concentrado final, é desejável lavar a vermiculita com teor bastante elevado. Mesmo assim, os minérios de baixo teor (entre 20 e 30%) podem ser aproveitados economicamente. Os minérios ricos ou com teores elevados chegam até a 80% de vermiculita.

Ao contrário de outros minerais, o valor de um minério de vermiculita é dependente da distribuição e da eficiência do aproveitamento das partículas maiores da mesma. Portanto, é crescente a exigência por métodos de lavra capazes de proporcionar vermiculitas com partículas grossas.

Nos depósitos de vermiculita é comum a ocorrência do mineral nos seguintes modos: mica parcialmente alterada em vermiculita, vermiculita alterando para caulinita e vermiculita associada aos minerais de ganga. Tais ocorrências têm efeitos significativos nos métodos de lavra e processamento. Assim, normalmente praticam-se lavras seletivas do mineral com o objetivo de obter um produto final com granulometria mais grossa possível e elevado teor de vermiculita, facilitando as operações de beneficiamento para obtenção de um produto final com maior valor agregado.

Em decorrência das alterações relativas ao processo de formação da vermiculita não serem completas, é comum a ocorrência do mineral intercalado com biotita ou clorita. Decorrendo desse fato a existência de uma vermiculita natural é um fator muito incomum de ocorrer.

A vermiculita é comercializada sempre na sua forma expandida, possuindo inúmeras aplicações nos seguintes setores:

Agricultura – Condicionamento de solos, componente de liberação lenta de nutrientes, suporte para inseticidas, condicionador de sementes, suporte para micros nutrientes;

Construção civil – Blocos e placas de isolamento térmico e acústico, enchimento;

Indústria química – Catalisador de reações na síntese de certos compostos orgânicos;

Cerâmica - Refratários isolantes, concretos isolantes;

Meio Ambiente – Remediação de solos contaminados por petróleo.

A vermiculita natural é fonte de Ca, K e Mg para as plantas no período de estiagem, constituindo-se, também, num ótimo condicionador de solos ácidos e argilosos.

Na construção civil é amplamente utilizada como isolante térmico-acústico, redutor de peso de estruturas de concreto, produção de tijolos refratários, blocos e placas de cimento resistentes a altas temperaturas, proteção de estruturas de aço contra altas temperaturas e como enchimento para isolamento térmico em construções.

A vermiculita expandida não se decompõe nem se deteriora, não é prejudicial à saúde, é inodora, pode absorver até cinco vezes o seu peso em água, também possui importantes aplicações, tais como: elemento filtrante, peneira molecular, aumento da viscosidade de óleos lubrificantes, absorvente de umidade e contaminações fluidas, excipientes de agentes de nutrição animal e vegetal, medicamentos e defensivos agrícolas. Por ser um mineral da família das argilas micáceas, seu aquecimento brusco até 1.000 °C provoca a evaporação rápida da água, espoliando as lâminas e expandindo o grão da Vermiculita em média de 8 a 12 vezes.

Mas existem casos em que sua expansão chega a 18 vezes. Os espaços vazios originados desta expansão volumétrica são preenchidos por ar, que conferem à vermiculita expandida grande leveza, isolamento térmico e absorção acústica.

Salienta-se ainda que ela quando expandida é um mineral incombustível, não abrasivo, que não se decompõe ou se deteriora, é inerte, não libera gases tóxicos e é totalmente isenta de amianto. Sua cor é uma variação entre o bege e o dourado em virtude do baixo teor de ferro.

Granulometria

A vermiculita expandida é classificada granulometricamente de acordo com a norma NBR 11.355 (MB 3.112) como Média, Fina, Super Fina e Mícron. A tabela 4 a seguir apresenta as características físico-químicas do material.

DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA		ABERTURA DA PENEIRA (MM)	TIPOS			
			MÉDIO	FINO	SUPER FINO	MÍCRON
(% RETIRADA ACUMULADA)		8,00	0-1	-	-	-
		4,00	10-45	0-1	-	0-1
		2,40	55-95	5-35	0-1	0-3
		1,20	75-100	65-95	10-45	0-5
		0,60	85-100	80-100	75-95	15-60
NBR 11.355 (MB 3.112)		0,30	90-100	90-100	90-100	30-90
		0,15	-	95-100	95-100	45-100
MASSA ESPECIFICA APARENTE NB 10.405		UNIDADES	MÉDIO	FINO	SUPER FINO	MÍCRON
		Kg/m3	60-100	70-120	80-150	180-300
CONDUTIVIDADE TÉRMICA MÁXIMA A TEM. AMBIENTE ASTM C 177		W/m.k	0,070			
TEMPERATURA DE AMOLECIMENTO NBR 9.573		C	INICIAL	1260		
			FINAL	1350		
UMIDADE MÁXIMA %			7,0			
ANÁLISE QUÍMICA TÍPICA %	SIO2	MgO	Ai2O3	Fe2O3	CaO	TiO2
	49,77	16,73	12,10	5,95	0,80	0,90
ESPECTROFOTOMETRIA DE ABSORÇÃO ATÔMICA COM CHAMA ESPECTROFOTOMETRIA MOLECULAR COMPLEXOMETRIA COM EDTA E GRAVIMETRIA	K2O	Na2O	MnO	Cr2O3	P.F 2H a 900C	
	3,20	0,30	0,06	0,21	9,97	

Tabela 4 – Características físico-química da vermiculita expandida (DNPM, 2007)

Aplicações

As vermiculitas têm inúmeras aplicações na engenharia tais como:

Concreto celular para enchimento dando mais leveza as estruturas e com isto reduzindo os custos das obras.

Como agregado para argamassa com peso na faixa de 500 Kg/m³.

Como material para contenção de propagação de óleos e combustíveis fósseis, evitando assim que os desastres ambientais tomem proporções maiores nos mares, rios e lagos.

Como isolamento térmica é acústica em edificações, proporcionando maior conforto nos ambientes.

Usado na agricultura para reter água no solo, por ser um material com alta capacidade de retenção de líquidos.

Proteção Térmica e Acústica.

As vermiculitas ocorrem nas rochas básicas, altamente magnesianas, nas rochas alcalinas e também, às vezes, em pegmatitos. Não constituem a rocha em si, mas apenas um elemento mineralógico componente, quase sempre em pequena proporção. Na figura 16 é apresentada uma mina de vermiculita localizada na Cidade do México, México.



Figura 16 – Mina de Vermiculita - México, (Lira, 2007)

5.2.2.2 - Processamento

A Vermiculita geralmente é utilizada após sua expansão, que é realizada utilizando-se fornos adequados, com um maçarico de alta potência como fonte de calor.

O processo consiste no aquecimento do concentrado da mesma por meio de fornos especiais a gás ou a óleo, a uma temperatura na faixa de 800°C a 1100°C. O objetivo do processo consiste em remover a água estrutural associada ao mineral, em um intervalo de tempo menor possível, com o melhor rendimento do processo. O aquecimento converte,

bruscamente, a água interlamelar em vapor, expandindo a vermiculita natural. Esse processo confere aos produtos resistência ao fogo, propriedades isolantes térmicas e acústicas, adesão, resistência à formação de rachaduras e enrugamentos, esterilidade e também elevada absorção de líquidos, devido à sua porosidade também elevada (França e Luz, 2002). As Figuras 17 (a) e (b) são fotografias de vermiculita natural e expandida respectivamente.

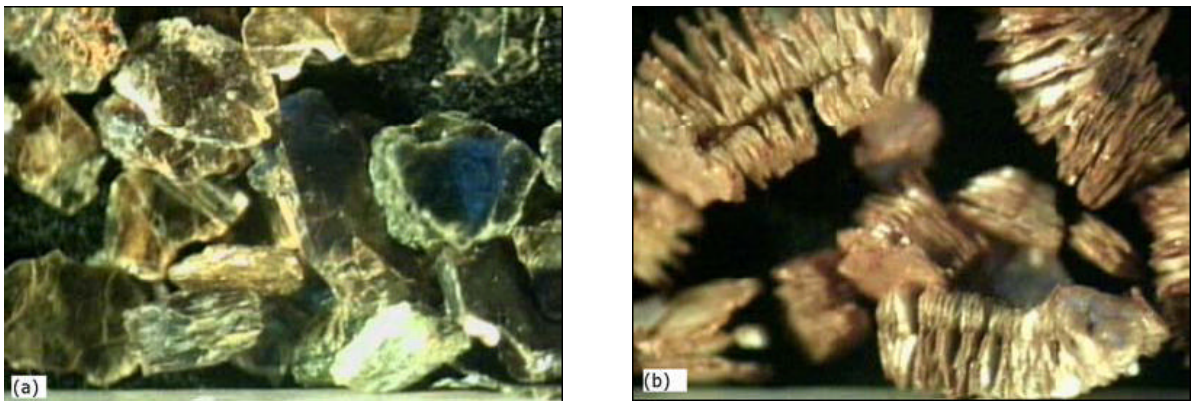


Figura 17- Fotografias de amostras de vermiculita (Santa Luzia, PB): (a) vermiculita natural; (b) vermiculita expandida (Ugarte et al., 2004).

Quando se aquece o mineral até a temperatura de 150°C, remove-se apenas a água responsável pela umidade. Este é um processo reversível, isto é, as situações de equilíbrio retornam nas condições de temperatura e pressão. Na faixa de temperatura que vai desde 150 até 250°C elimina-se a água quimicamente ligada à vermiculita. Finalmente, na faixa de temperatura entre 250°C e 1.100°C ocorre o processo de remoção da água ligada à estrutura do mineral e, também, o processo de desidroxilação da vermiculita, considerados irreversíveis.

Teoricamente, a vermiculita pura expande até 30 ou 40 vezes o seu volume original, no entanto, a vermiculita comercializada na forma natural expande em média de 8 a 12 vezes. É possível que fatores ligados a esta ocorrência sejam impurezas, como também, as características físico-químicas, principalmente a relação entre a quantidade de moléculas de água livre ligadas à estrutura cristalina (Ugarte et al., 2004; Martins et al., 2001). A densidade aparente da vermiculita é reduzida de 640-960 kg/m³ para 56-192

kg/m³, quando se obtém um produto expandido com 90% em volume de ar aprisionado.

No caso do produto expandido a sua densidade e aparência dependem da:

- ✚ Temperatura e tempo de residência na zona de aquecimento;
- ✚ Natureza oxidante ou redutora do ambiente de aquecimento, que é função do combustível utilizado.

As unidades produtoras de vermiculita expandida estão localizadas próximas ao mercado consumidor, pois é mais vantajoso transportar a vermiculita natural do que aquela com um volume cerca de 12 vezes maior, média de expansão do produto.

Leveza do Produto

Aproximadamente 80 kg a 200 kg por metro cúbico, dependendo da granulometria, o que torna possível sua utilização com vantagens de preço, peso e qualidade o próprio concreto celular, quando usado em estruturas de concreto, armações e/ou preenchimentos de seus vazios, por se tratar de material não agressivo às ferragens.

Baixa Condutividade Térmica

Razão da sua utilização como produto altamente refratário.

Isolante Acústico

Reduz ruídos em até 50% quando usado na composição de argamassa, sendo que maiores reduções são obtidas com o uso de materiais com maior teor de Vermiculita Expandida.

5.2.3 - Utilização Agrícola

Condicionador de solos e armazenador de água e nutrientes para as plantas, absorvendo e retendo até cinco vezes o seu peso em água.

5.2.4 - Características Físicas

- ✚ Condutividade térmica máxima a temperatura ambiente: 0, 070 W/m.k;
- ✚ Baixa Condutividade Acústica: até 62 % de redução de ruídos
- ✚ Praticamente Incombustível: funde a 1.315 °C;
- ✚ Não Tóxica: silicato mineral inerte;
- ✚ Temperatura de amolecimento: 1.300 °C;
- ✚ Umidade máxima: 7,0 %;
- ✚ Massa específica aparente: 80-100 Kg/m³;
- ✚ Não Abrasiva: na escala de Mohs (1 a 10) a dureza da verm. 1,5.

5.2.5 - Aplicações nos Setores Econômicos

Indústria

- ✚ Cobertura para tanques de galvanoplastia. Espalhado sobre a superfície do zinco fundido e banhos de chumbo, previne a perda excessiva de calor e formação de óxidos;
- ✚ Esfriamento lento de peças forjadas;
- ✚ Isolamento de lingotes quentes durante o transporte;

- ✚ Isolação em fornos de carvão e coque.
- ✚ Isolamento em aquecedores elétricos de água;
- ✚ Isolamento em bebedouros de água fria;
- ✚ Silenciosos para carros;
- ✚ Lubrificantes;
- ✚ Esfriador de rebites;
- ✚ Como aditivo junto a ligantes de borracha ou asfalto, formando um material viscoso para proteção das partes inferiores dos carros, contra ferrugens e amortecedores de som.

Agricultura

- ✚ Em jardins e hortas. A umidade retida entre as placas permite o desenvolvimento de raízes e germinação de sementes e mudas;
- ✚ Condicionador de solos argilosos bastante duros, tornando-os friáveis e porosos;
- ✚ Utilizada como veículo para macro e micro nutrientes, inseticidas e defensivos agrícolas.

Engenharia Civil

- ✚ Concretos Vermiculíticos
- ✚ Sistema composto de argamassa à base vermiculita expandida, cimento hidráulico e aglomerantes minerais.

Utilizado em áreas que não haja exigência de grandes esforços, o concreto consegue compatibilizar baixíssimo peso com boa resistência mecânica, em detrimento dos outros agregados que não conseguem.

A tabela 5 abaixo traz algumas indicações de uso com respectivos traços.

LAJE DE COBERTURA	5 : 1
CONTRA PISO	4 : 1
ENCHIMENTOS	10 : 1

Tabela 5 - Traços Recomendados (X:Y – X = Vermiculita / Y = Cimento)

A figura 18 mostra o material ainda no estado natural e em granulometrias diferentes. Em (1) a vermiculita se encontra no estado natural, apresentando densidade elevada e com presença de outros minerais como quartzo e feldspato; (2) Apresenta vermiculita expandida com os grãos maiores o que lhe confere mais alta granulometria grossa e a em (3) o minério se encontra expandido, com uma menor granulometria.

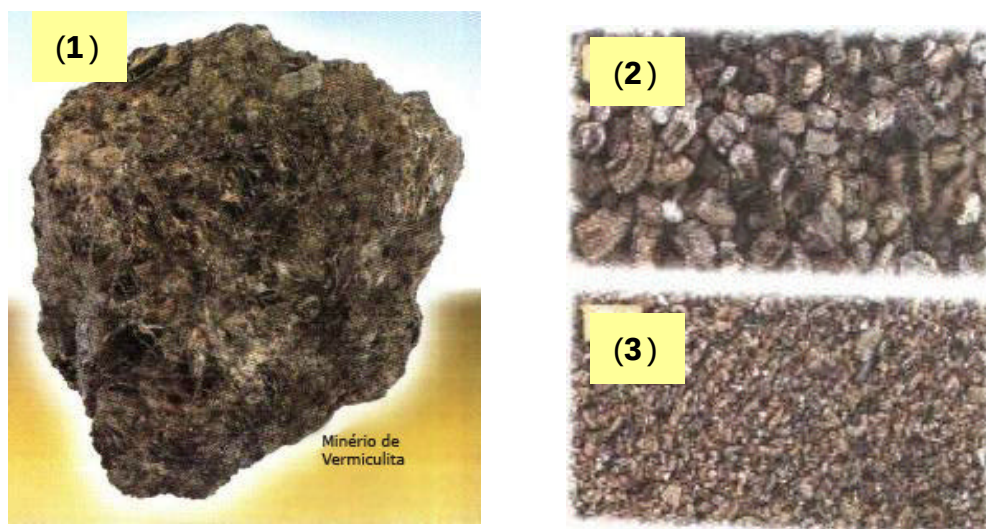


Figura-18-Granulometria diferenciada do mineral.

(www.workpedia.com.br/vermiculita.htm)

5.2.6 - Vermiculita Hidrofobizada

Sobre a superfície da vermiculita, é aplicada uma camada de material orgânico sob condições especiais tornando-a hidrofóbica. O mineral resultante é capaz de atrair compostos orgânicos, em um processo conhecido como adsorção. Com isso, a vermiculita hidrofobizada pode retirar da água rejeitos industriais como óleos, derivados de alcatrão e pesticidas.

5.3 – CAULIM

O termo caulim ou China Clay deriva da palavra “colina alta”, e se refere a uma colina de nome Jauchau Fu, localizada ao norte da China, onde este material é conhecido há muito tempo. Apresenta normalmente a cor branca ou quase branca, devida ao baixo teor de ferro. Registros mostram que a primeira utilização do caulim pelos chineses foi na fabricação de artigos cerâmicos e de porcelana, isto por volta de três mil anos atrás. Somente a partir da década de 1920 é que teve início o uso de caulim na indústria de papel, sendo precedido pelo uso na indústria de borracha. Posteriormente o caulim passou a ser utilizado em plásticos, pesticidas, rações, produtos alimentícios, farmacêuticos, fertilizantes e outros, tendo atualmente uma aplicação muito grande na indústria.

O caulim é um dos seis minerais mais encontrados na superfície terrestre, mas especificamente na crosta. Ele se encontra, sobretudo em profundidade que geralmente não ultrapassa os 10 metros (Roskill 1996, apud Luz e Chaves, 2001.)

Entende-se por caulim apud (Silva), um material formado por um grupo de silicatos hidratados de alumínio, principalmente caulinita e/ou heloisita (Santos 1992). Também podem ocorrer os minerais do grupo da caulinita, a saber: desquita nacrita, folerita, anauxita e tuesita. Além disso, o caulim sempre contém substâncias sob a forma de impurezas, destes traços até a faixa de 40% – 50 %, em volume, constituído, de modo geral, de areia, quartzo, feldspatos, palhetas de mica, óxidos de ferro e titânio, etc. A fórmula química dos minerais do grupo da caulinita é $\text{Al}_2\text{O}_3\text{mSiO}_{2\text{n}}\text{H}_2\text{O}$, onde m varia de 1 a 3 e n de 2 a 4. Embora o mineral caulinita ($\text{Al}_2\text{O}_3\text{mSiO}_{2\text{n}}\text{H}_2\text{O}$), seja o principal constituinte do caulim, outros elementos além do alumínio, silício, hidrogênio e oxigênio acham-se normalmente presentes. A composição química do caulim é usualmente expressa em óxidos de vários elementos, embora eles possam estar presentes em formas mais complexas e por vezes desconhecidas.

5.3.1 - Geologia

No Brasil, os depósitos de caulim nos Estados do Amazonas, Pará e Amapá são do tipo sedimentar, caracterizando-se por grandes reservas e com propriedades físicas e químicas para diversas aplicações industriais, principalmente, revestimento de papel (*coating*). Nas demais unidades da federação verificam-se uma predominância de caulim primário, originado tanto da alteração de pegmatitos como do intemperismo de granitos, destacando-se os Estados de Minas Gerais, Paraíba, São Paulo, Goiás, Santa Catarina e Paraná.

Caulim Primário

Os caulins primários são resultantes de alteração de rocha *in situ*, devido principalmente, à circulação de fluidos quentes provenientes do interior da crosta, da ação de emanções vulcânicas ácidas ou da hidratação de um silicato anidro de alumínio, seguida da remoção de álcalis. Segundo a sua origem, os caulins primários são classificados por Bristow (1987) em: intemperizados, hidrotermais e solfataras.

Os caulins do tipo intemperizados ocorrem em região de clima tropical (quente e úmido), onde as condições físico químicas são propícias para a alteração dos feldspatos e de outro alumino-silicatos presentes em granitos e rochas metamórficas. Os caulins do tipo hidrotermal são formados pela alteração da rocha a partir da circulação de fluidos quentes, provenientes do interior da crosta (ou água juvenil). Os caulins primários do tipo solfatara são formados pela alteração de rochas a partir da ação de emanções vulcânicas ácidas, constituídas de vapores d'água, ricos em enxofre.

Caulim secundário

Os caulins secundários são formados pela deposição de sedimentos em ambientes lacustres, lagunares ou deltáicos. As diferentes origens geológicas do caulim resultam em diferenças notáveis na composição mineralógica (Souza Santos, 1995). Normalmente, os caulins secundários apresentam teores menores de quartzo e mica, mas apresentam uma maior contaminação de óxido de ferro e titânio, responsáveis pela alteração de sua cor branca original (Bristow, 1987). Uma das principais características do caulim secundário é a granulometria mais fina dos argilominerais. Depósitos secundários são comuns na Geórgia (EUA); Rio Jari, AP e Rio Capim - PA (Norte do Brasil); Oeste da Alemanha; e Guadalajara (México).

Bristow (1987) classifica os caulins secundários em três tipos: Sedimentares, areias cauliniticas e argilas plásticas, refratárias e silicosas. O caulim sedimentar que tem como uma de suas características a elevada percentagem de caulinita (acima de 60%), normalmente, após o beneficiamento, resulta em um produto com especificações adequadas à indústria de papel. As areias cauliniticas contêm menos de 20 % de caulinita. A areia rejeitada no processo de beneficiamento é, geralmente, destinada à construção civil.

As argilas plásticas são constituídas basicamente de caulinita com a presença de illita e material carbonoso. As argilas refratárias apresentam uma composição química similar às argilas plásticas, no entanto ocorrem associadas à gibsita e à haloisita. As argilas silicosas são constituídas de caulinita, contendo ferro e outros componentes escorificantes.

5.3.2 - Lavra e processamento

Lavra

Na maioria das minas de caulim do mundo, utiliza-se o método de extração do minério por lavra a céu aberto. Sabe-se que os custos de produção e às condições mecânicas de rocha desfavoráveis na maioria destas minas de caulim, tornam o método de lavra subterrâneo proibitivo, por razões econômicas (Murray, 1986 e Prasad et al., 1991).

A maioria dos caulins extraídos dos pegmatitos da região do Seridó, nos Estados da Paraíba e Rio Grande do Norte, utilizam o método de lavra a céu aberto, com condições rudimentares.

Processamento

Normalmente, os caulins originam-se associados a diversas impurezas e, geralmente, no seu estado natural, não atendem às especificações de mercado, sendo necessário submetê-los a processos de beneficiamento eficiente, para adequá-los ao uso industrial (Yoon e Shi, 1996, Prasad *et al.* 1991). Os processos de beneficiamento empregados dependem do uso a que se destina. Existem basicamente dois processos de beneficiamento do caulim via seca e via úmida.

O processo de beneficiamento a seco é mais simples, sendo realizado quando o caulim já apresenta alvura e distribuição granulométrica adequada, bem como baixo teor de quartzo. Nesse processo, o caulim bruto é inicialmente fragmentado abaixo de 2,54mm, sendo em seguida conduzido para a secagem em secadores rotativos. Após seco, o caulim é pulverizado em moinhos de rolo, para então ser classificado por tamanho, através de um processo denominado flotação com ar (air flotation), onde as partículas mais finas são conduzidas para o topo do aro separador por uma corrente de ar quente, havendo assim a

separação de partículas por tamanho. No entanto, dificilmente se encontram caulins, no estado natural, com esses pré-requisitos, predominando, assim, o beneficiamento realizado por via úmida.

O beneficiamento a úmido que pode ser utilizado no processamento do caulim é mostrado no fluxograma da figura 19 abaixo.

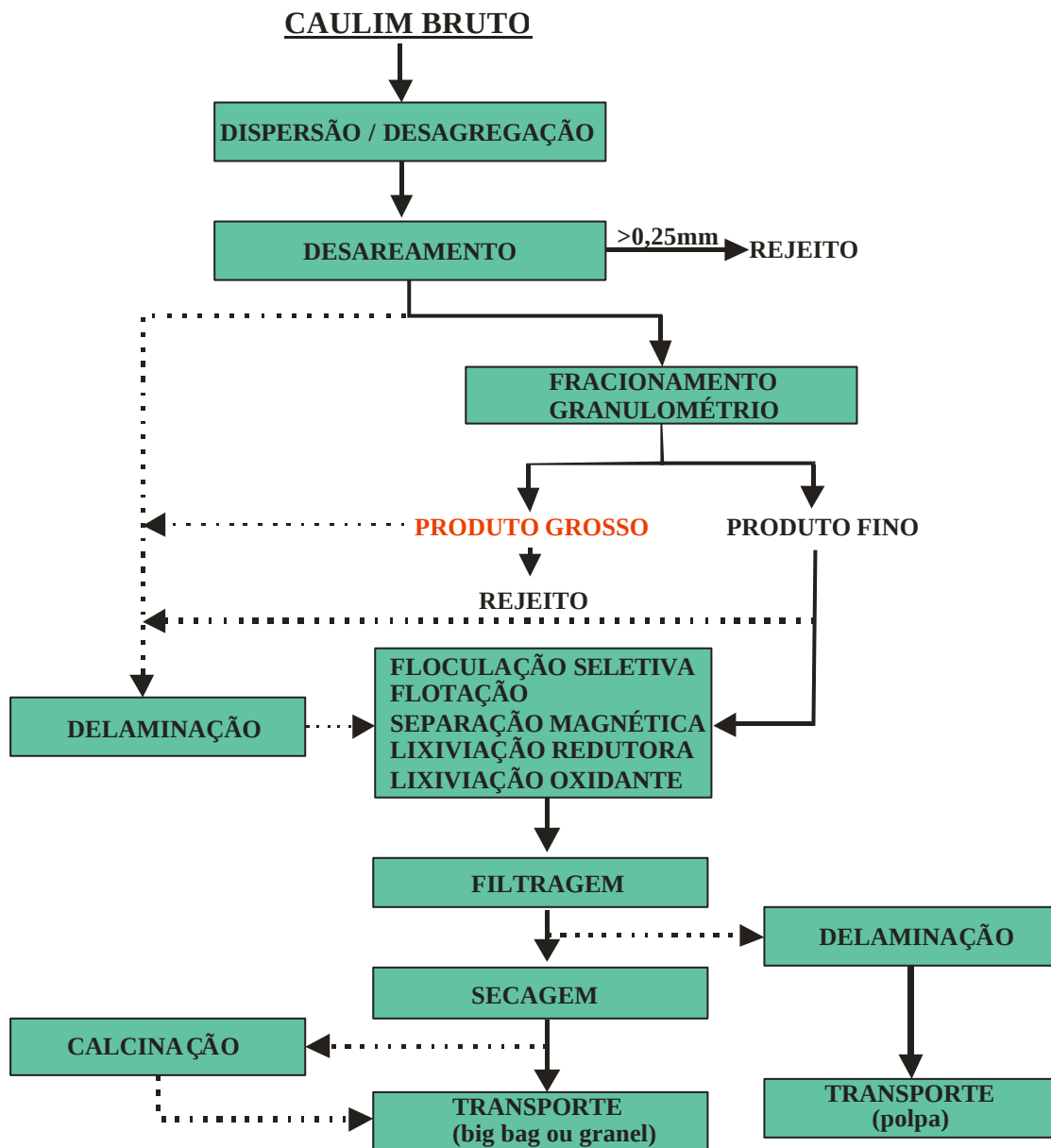


Figura 19 – Fluxograma simplificado do beneficiamento do caulim via úmida.

As Figuras 20(A), (B) e (C) mostram uma unidade de beneficiamento de caulim no Município do Junco do Seridó, onde se observa a utilização da hidrociclonagem. O “overflow” segue para os tanques de decantação e posteriormente para os filtros prensas. O material é secado em fornos, que utilizam como fonte energética a lenha, obtendo o caulim comercializado na Região.

ROM -“Run of Mine”.

Britagem com moinhos de martelos

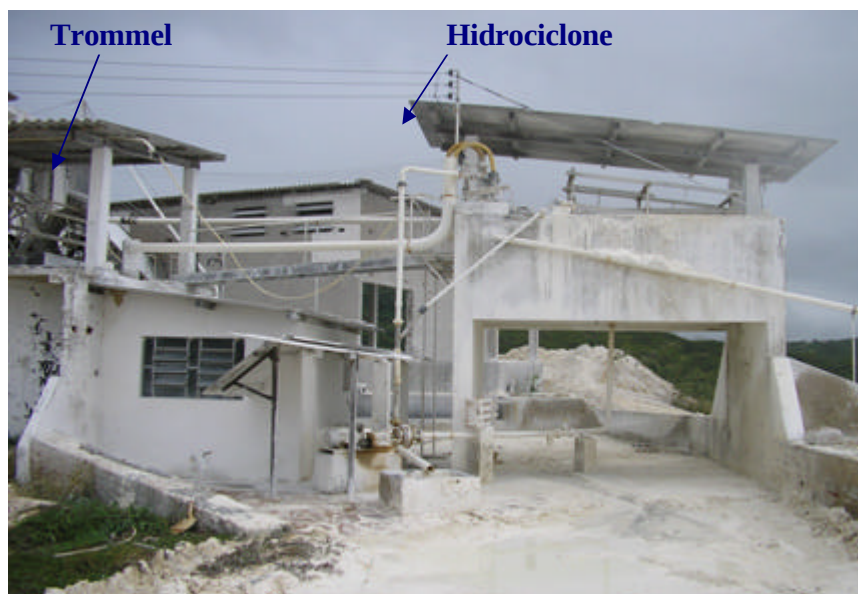


Figura 20 (A) – Ilustração de uma unidade de beneficiamento de caulim nas Empresas de Mineração nos Estados da Paraíba PB e no Rio Grande do Norte RN.



Figura 20 (B) – Ilustração dos Tanques de decantação da unidade de beneficiamento de caulim nas Empresas de Mineração nos Estados da Paraíba PB e no Rio Grande do Norte RN.



Figura 20 (C) – Ilustração do Produto final, desagregação, secagem e filtro prensam da unidade de beneficiamento de caulim nas Empresas de Mineração nos Estados da Paraíba PB e no Rio Grande do Norte RN.

Verifica-se nas figuras 20(A), (B) e (C) acima que o processamento mineral do caulim nas regiões em apreço ainda é bastante inoperante o que resulta numa perda de caulim nos seus rejeitos acima de 30%. A hidrociclonagem como uma técnica de classificação não é utilizada em geral, e quando existe nos circuitos, não operam adequadamente e a eficiência é praticamente nula.

5.3.3- Propriedades do Caulim

O caulim apresenta diversas propriedades físicas, entre as quais apresenta-se as que se mostram mais importantes:

- ✚ Densidade real - O caulim possui densidade por volta de $2,6\text{g/cm}^3$;
- ✚ Ponto de fusão – 1650 a 1775 °C;
- ✚ Desfloculação – É o ponto no qual o caulim (na forma de uma barbonita) mais se aproxima de sua viscosidade mínima;
- ✚ Tixotropia – É o fenômeno de transformação sol-gel isoterma reversível, ou seja, quanto mais afastados de sua viscosidade mínima está o caulim (na forma de barbonita), maior é a tendência de aumentar sua viscosidade com o tempo, podendo em certos usos atingir a forma de gel; no entanto, pela agitação, volta ao estado físico inicial;
- ✚ Granulometria – Apresenta granulometria mais grosseira em relação às demais tipos de argilas (menos que 0,20 microns);
- ✚ Cristalinidade – Apresenta limites hexagonais bem cristalizados;
- ✚ Resistência mecânica – Possui baixa resistência mecânica quando comparado a outros tipos de argilas;
- ✚ Plasticidade – Menor plasticidade que as demais argilas;
- ✚ Morfologia – Apresenta partículas lamelares eudédricas;

- ✚ Ph – Depende do poder de troca dos íons e das condições de formação do caulim. É medido com um potenciômetro e oscila entre 4,3 e 7,0;
- ✚ Módulo de ruptura – Medido em atmosfera a uma umidade relativa de 80%;
- ✚ Alvura - É a propriedade de medida da refletância do caulim através de aparelhos como o ZE (Zeiss Elrefho), Photovolt e o GE/ Reflectometer;
- ✚ Abrasão – Propriedade medida em termos de perdas de peso, em miligramas.

5.3.4 - Produção de Caulim

As reservas mundiais de caulim se distribuem em quase todos os quadrantes geográficos do planeta, mas é importante colocar que apenas quatro países reúnem cerca de 90% do total de 14,2 bilhões de toneladas, como mostra a tabela 6 apresentada abaixo. (Balanço Mineral Brasileiro/ DNPM, 2007).

<i>PAÍS</i>	<i>% DE RESERVA</i>
<i>ESTADOS UNIDOS</i>	53,00
<i>BRASIL</i>	28,00
<i>UCRÂNIA</i>	7,00
<i>ÍNDIA</i>	7,00

Tabela 6 – Reserva de caulim mundial (Balanço Mineral Brasileiro, 2007)

Ainda segundo Roskill (1996) apud (Nóbrega 2007), Luz e Chaves (2000), no ano de 1998, os países mais produtores deste mineral foram os Estados Unidos da América, seguindo-se do Reino Unido, da Coreia do Sul, da Alemanha, do Brasil e da China. Estes países reunidos respondem por quase 95% de um total de 25 milhões de toneladas das reservas mundiais.

Com relação às aplicações deste mineral, o caulim já é utilizado como matéria principal de diversos produtos industriais. Pesquisas são intensificadas no intuito de se desenvolver novas utilizações para esse mineral, pois ele apresenta baixo custo industrial, ao contrário a maioria dos outros materiais que se apresentam como seu concorrente direto (Balanço Mineral Brasileiro/ DNPM, 2006). O mesmo balanço mostra que suas principais aplicações estão relacionadas à indústria de papel celulose, como elemento de preenchimento no preparo da folha de papel (responsável principalmente pela coloração clara da folha) e na composição das pastas de cerâmica; e em menor escala, é utilizado na confecção de materiais refratários, plásticos, borrachas, cremes dentários, tintas, produtos farmacêuticos etc.(Nóbrega, 2007).

Com relação ao consumo mundial no ano de 1999, a Europa participou com cerca de 33% do mercado deste produto, seguida, da América do Norte, sobretudo os Estados Unidos, com 31%, e do continente asiático que responde com 26 % participação no consumo mundial.

Com relação o continente Sul-americano, este participou somente com um consumo de 3% do total produzido (Luz e Chaves (2006), como mostra os Gráficos 1 e 2 em percentuais do consumo, mundial e brasileiro, abaixo apresentados:

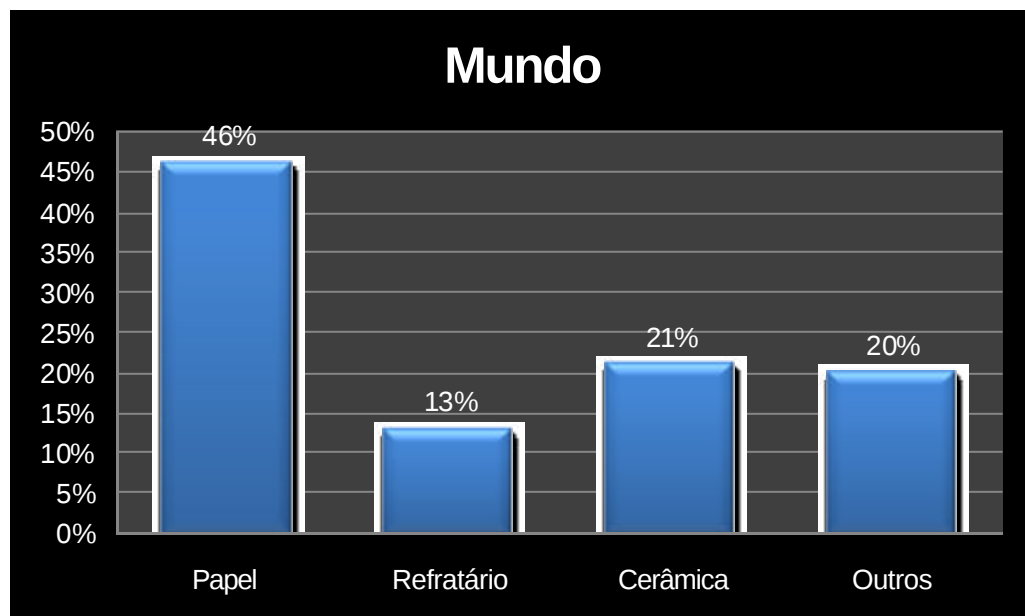


Gráfico 1- Gráfico do consumo mundial por setor do caulim em % (Balanço Mineral Brasileiro, 2006).

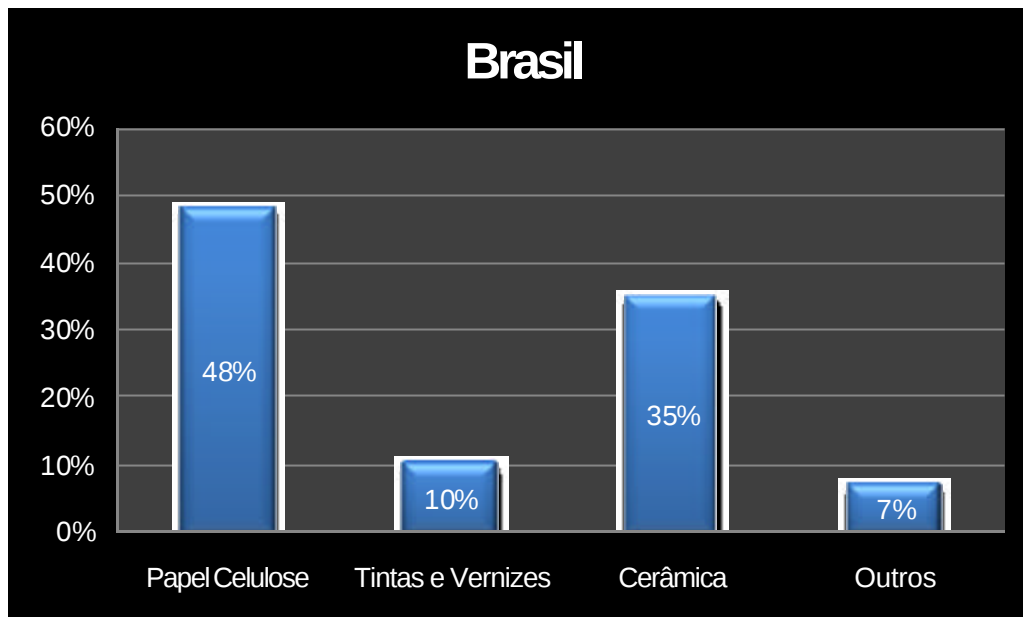


Gráfico 2 - Gráfico do consumo brasileiro por setor do caulim em % (Balanço Mineral Brasileiro, 2006)

Dados preliminares apontam que o consumo interno brasileiro em 2002 era cerca de 1735000 toneladas de caulim beneficiado. A produção bruta, que foi destinada principalmente às usinas de beneficiamento, atinge 3,70 milhões de toneladas.

No intervalo de estudo (1988 a 2006), a produção bruta de caulim ultrapassou a quantia dos 2 milhões de toneladas, passando de 2,10 para 3,70 milhões de toneladas, registrando um aumento de 796 mil para um milhão e setecentos mil toneladas, implicando assim em um aumento de produção de 137,7%, isto considerando-se os extremos do período em que foi feita a análise, o que representa um crescimento anual de 4,83% e 6,53%, respectivamente.

No Brasil a produção do caulim esta concentrada principalmente nos estados do Pará, Amapá, São Paulo, Minas Gerais e Rio Grande do Sul. Estes estados são responsáveis por mais de 99% do caulim beneficiado. Do acordo com o balanço mineral de 2001, no período de 1988 a 2006, destaca-se o significativo acréscimo das reservas de caulim ocorridos em 1996, passando da ordem de 1,6 bilhões para 4,00 bilhões de toneladas. Isso se deu graças a descobertas de novas jazidas no Estado do Amazonas,

ainda não estão totalmente exploradas. A tabela 7 abaixo mostra as reservas de caulim nos estados brasileiros no ano de 2006.

<i>Minério</i>				
<i>UF</i>	<i>MEDIDA</i>	<i>INDICADA</i>	<i>INFERIDA</i>	<i>TOTAL</i>
<i>AP</i>	245.374.632	115.738.000	-	361.112.632
<i>AM</i>	1.586.500.400	995.273.000	-	2.581.773.400
<i>BA</i>	6.308.505	2.649.550	2.651.298	11.609.353
<i>CE</i>	138.065	-	-	138.065
<i>GO</i>	17.360.814	10.319.028	51.564.500	79.244.342
<i>MG</i>	9.070.104	4.439.714	2.731.318	16.241.136
<i>PA</i>	249.337.049	300.540.334	218.757.763	768.635.146
<i>PB</i>	194.275	144.000	19.000	357.275
<i>PR</i>	35.561.819	8.093.607.361	9.607.361	53.263.111
<i>PE</i>	1.514.427	-	-	1.514.427
<i>PI</i>	3.290.804	1.212.083	886.656	5.389.543
<i>RJ</i>	563.749	28.762	-	592.511
<i>RN</i>	987.128	727.000	-	1.714.128
<i>RS</i>	7.608.885	-	-	7.008.885
<i>SC</i>	59.461.018	17.144.805	6.057.480	76.605.823
<i>SP</i>	37.382.506	23.684.620	23.609.721	84.076.847
<i>TOTAL</i>	2.260.054.006	1.485.153.593	323.687.379	4.068.895.338

Tabela 7 - Reservas de caulim nos estados brasileiros em 2006 (Balanço Mineral, 2006)

A tabela 8 a mostra o processo evolutivo do ano de 1988 a 2005, evidenciando o produto bruto e beneficiado, da produção de caulim.

<i>Evolução da Produção de Caulim 1988—2005 (t)</i>		
<i>ANOS</i>	<i>Bruta</i>	<i>Beneficiada</i>
<i>1988</i>	2.093.481	760.569
<i>1989</i>	2.157.919	714.647
<i>1999</i>	1.624.527	658.927
<i>1991</i>	2.199.736	730.320
<i>1992</i>	1.698.074	834.068
<i>1993</i>	2.068.233	916.048
<i>1994</i>	2.045.881	1.037.570
<i>1995</i>	1.957.750	1.067.109
<i>1996</i>	2.196.708	1.057.671
<i>1997</i>	2.764.040	1.165.567
<i>1998</i>	2.995.537	1.327.513
<i>1999</i>	3.396.150	1.486.646
<i>2000</i>	3.732.456	1.734.787
<i>2001</i>	3.944.455	1.999.129
<i>2002</i>	4.292.008	2.340.020
<i>2003</i>	4.558.918	2.457.110
<i>2004</i>	4.830.109	2.798.321
<i>2005</i>	5.100.036	2.980.456

Tabela – 8 - Evolução da produção de caulim (DNPM/DIRIN, 2006)

No comércio exterior, o caulim mostrou uma tendência de crescimento nas exportações, bem como nas importações, no período de 1988/2005. A quantidade exportada aumentou de 315 mil toneladas em 1988 para quase 1,89 milhão de toneladas em 2004, registrando entre os extremos, um crescimento da ordem de 344,4%, correspondente a 13,24% ao ano.

O volume de caulim importado, no mesmo período, passou de 844 t para quase 11 mil toneladas, crescendo 1427,3%, numa variação média anual de 23,96%. Em termos de valor, as exportações brasileiras de caulim somaram US\$155,4 milhões em 2004, contra US\$ 32,0 milhões em 1988. Com as importações, o Brasil gastou US\$8,7 milhões em 2004, contra US\$584 mil em 1988.

Assim, os saldos positivos em 2004 foram de 1,78 milhões de toneladas de caulim e de US\$ 168,55 milhões de dólares.

A performance das exportações brasileiras de caulim está relacionada às etapas de expansão da capacidade de produção da CADAM, no Amapá, e à entrada em operação das minas da IRCC e PPSA, no Pará, que vêm destinando seus produtos principalmente ao mercado externo, tendo exportado, respectivamente 659.000t , 353.000t e 279.000t no ano 2004, representando 92,7% do total vendido ao exterior. Convém salientar que a comercialização externa é feita basicamente com o caulim beneficiado (bens primários), sendo menos de 1,0% a participação de manufaturados. Entre os países compradores de caulim brasileiro, no ano de 2004, destacaram-se a Bélgica (40,0%), Japão (18,0%), Países Baixos (10,0%), E. Unidos (9,0%) e Itália (7,0%). Dentre os países importadores de manufaturados estão Argentina, Paraguai, Estados Unidos, Alemanha e Itália. O caulim importado, em 2004, (bens primários) originou-se, principalmente, dos Estados Unidos (47,0%), Reino Unido (11,0%), Espanha (10,0%), Argentina (4,7%) e França (2,0%). Os manufaturados vieram da China (56,0%), Hong Kong (13,0%), Uruguai (9,0%), Estados Unidos (3,0%) e Chile (2,0%). Vale ressaltar que a importação de manufaturados representou naquele ano, 51,0 % do total, em 2004, conforme mostra a tabela 9..

ANOS	EXPORTAÇÕES		IMPORTAÇÕES		SALDO	
	Quant. (t)	Valor US\$ 1.000 FOB(A)	Quant. (t)	Valor US\$1.000 FOB(B)		
1988	315.003	31.961	844	584	314.159	31.377
1989	307.768	32.018	1.153	721	306.615	31.297
1990	292.446	30.520	1.131	745	291.315	29.775
1991	343.006	36.877	1.122	822	341.884	36.055
1992	342.450	43.384	1.605	2.718	340.845	40.666
1993	613.484	74.109	3.296	3.811	610.188	70.298
1994	533.796	65.195	5.937	6.245	527.859	58.950
1995	588.295	71.117	11.180	13.233	577.115	57.884
1996	610.652	78.918	15.717	12.819	594.935	66.099
1997	769.228	92.484	11.993	11.335	757.235	81.149
1998	966.729	111.150	10.744	11.238	955.985	99.912
1999	1.158.856	127.247	7.339	6.049	1.151.517	121.198
2000	1.392.722	155.427	10.990	6.667	1.381.732	148.760
2001	1.550.199	177.334	13.059	6.990	1.455.009	157.500
2002	1.722.009	188.090	14.230	7.120	890.009	160.231
2003	1.890.556	191.238	15.359	13.658	678.097	58.987
2004	2.004.336	197.445	17.377	14.998	556.981	66.123

Tabela 9 – Desempenho de exportações e importações (DNPM/DIRIN, 2004)

O gráfico abaixo mostra o desempenho das exportações por países, com destaque para a Bélgica e o Japão. Estes dois últimos representam aproximadamente 55% e 20% respectivamente da produção anual deste mineral, mas se verifica uma queda com o decorrer dos anos, enquanto os Estados Unidos tem um crescente acréscimo das

exportações nesse período. O gráfico 3 traz a evolução das reservas de caulim no período determinado.

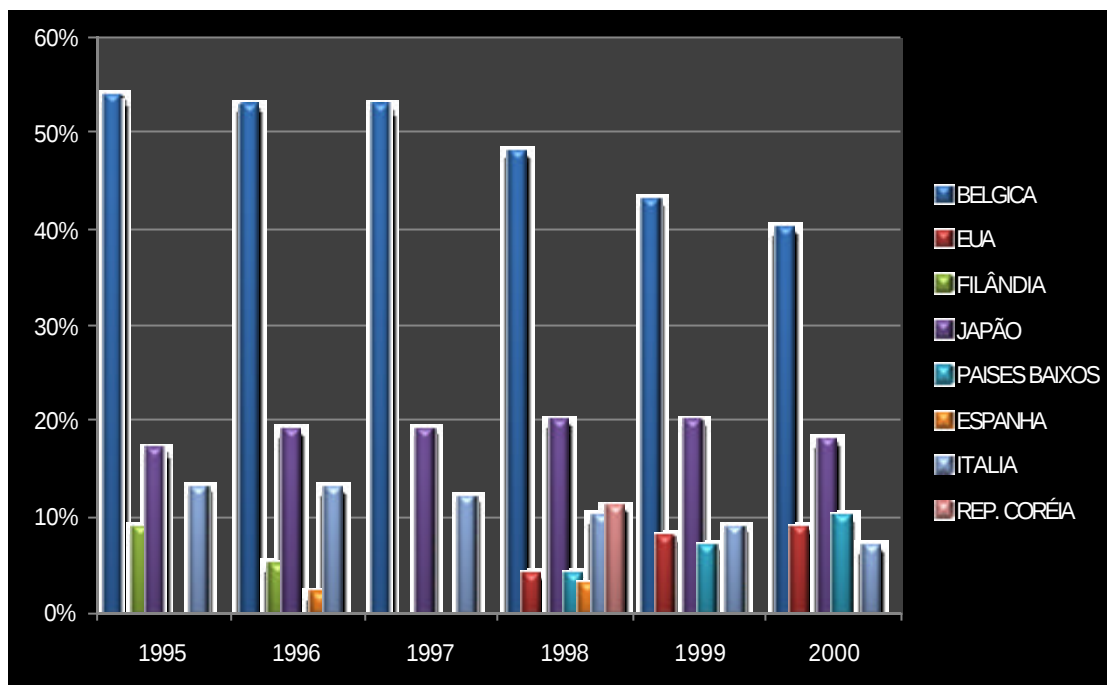
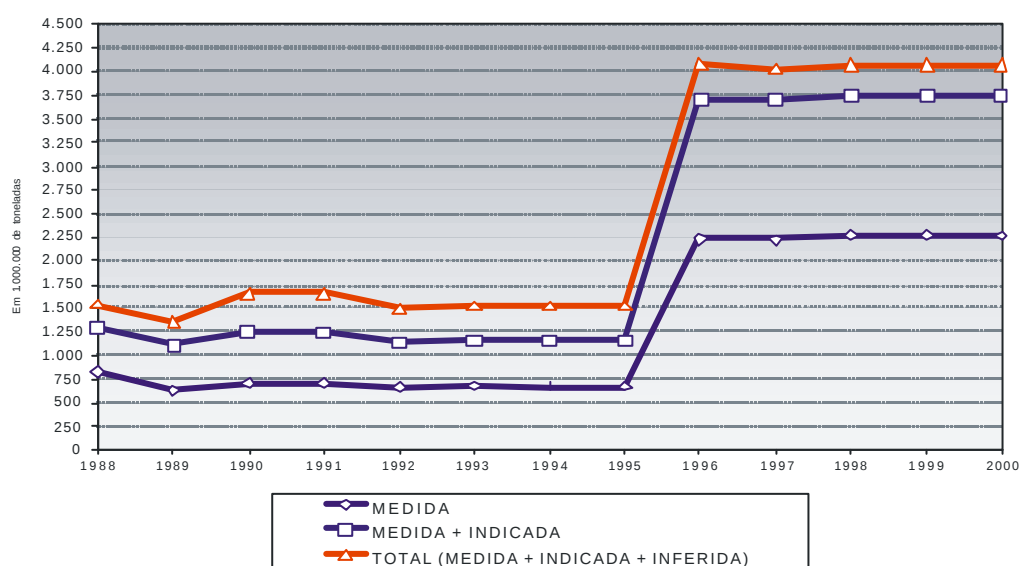


Gráfico3 – Gráfico da Exportação de caulim Segundo Países ,1995 – 2000 (DNPM/DIRIN,2006)



Fonte: DNPM - DIRIN

Gráfico 4 – Gráfico da Evolução da Reserva de Caulim – 1988 – 2000 (DNPM/DIRIN,2006)

5.4 - ARGAMASSA

5.4.1 - Definição, Funções e classificação

Segundo a NBR – 7200, a argamassa é definida como mistura de aglomerante e agregados com água, possuindo capacidade de endurecimento e aderência.

Sua denominação é em função do aglomerante utilizado. Assim, têm-se argamassas de cimento, cal, ou mistas de cimento e cal (Fiorito, 2005). Além desta classificação, existem pesquisas de argamassas com adição de outros materiais com a finalidade de se melhorar determinadas características, e para tanto se adicionam na composição outros produtos como polímeros, vermiculitas, rejeitos de caulim, carvão vegetal e etc.

As argamassas de cal são utilizadas principalmente para emboço e reboco, devido à plasticidade apresentada por estas, bem como as condições de endurecimento favoráveis a sua elasticidade, e porque proporcionam acabamento esmerado, plano e regular. Esta argamassa também tem aplicação no assentamento de alvenaria de vedação. (Fiorito, 2005).

As argamassas de cimento são mais resistentes, porém mais difíceis de serem trabalhadas. Neste caso, faz-se necessário o incremento da cal para torná-las mais plásticas e facilitar o acabamento. Tais argamassas mistas de cimento e cal são utilizadas nas alvenarias estruturais ou não, de tijolos ou blocos; nos contra pisos; no assentamento de revestimentos cerâmicos em pisos ou paredes pelo método convencional; no preparo de paredes e pisos para receberem revestimentos cerâmicos aplicados com argamassa colante; e, especialmente, nos emboços de forros e paredes.

As funções das argamassas estão diretamente associadas ao fim que se destina que por sua vez determina o tipo de aglomerante ou mistura de diferentes tipos de aglomerantes. Algumas dessas funções podem ser enumeradas a seguir:

Unir com solidez elementos de alvenaria e ajudar na resistência a esforços horizontais, perpendiculares ou paralelos ao plano de uma parede;

Absorver deformações que ocorrem naturalmente nas alvenarias;

Selar as juntas contra infiltração de água;
Colar materiais de revestimento;
Proporcionar isolamento térmico e acústico dos ambientes;
Dar acabamento em tetos e paredes, regularização de pavimentos, na reparação de obras de concreto, etc.

As de cimento são utilizadas em alvenarias de alicerce, para chapisco, nos revestimentos ou em pisos de cimentos. Aquelas contendo a cal são utilizadas para emboço e reboco, devido a sua plasticidade, e também em alvenarias de vedação (Fiorito, 2005)

As argamassas são classificadas, segundo a sua finalidade, em:

- ✚ Para assentamento: usadas para unir blocos ou tijolos das alvenarias. Também para a colocação de azulejos, tacos, ladrilhos e cerâmica para revestimento.
- ✚ Para revestimento: usadas para revestir tetos, paredes etc., protegendo da umidade.

As argamassas de assentamento e revestimento de paredes e tetos, especificadas pela NBR 13281 (ABNT 1995) são chamadas comercialmente de argamassas de múltiplo uso. (apud Nóbrega, 2007).

5.4.2- Traço

Entende-se por traço de uma argamassa as indicações das proporções dos seus componentes. O traço em peso nos daria segurança absoluta quanto à qualidade da argamassa e as quantidades no consumo e conseqüentemente, à apropriação de custos. Todavia, é impraticável no canteiro da obra. (Fiorito, 2005).

Por esta razão, os traços de argamassas são tradicionalmente indicados em volume. Assim uma argamassa de traço 1: 3 significa que no seu preparo entra um volume de cimento para cada três volumes de areia, ou outro agregado especificado. Vale lembrar que para esta nomenclatura de traço a areia deve estar no seu estado seco ou com sua umidade conhecida.

5.4.3 - Influência dos materiais constituintes

Cimento Portland

O cimento Portland é o principal aglomerante responsável pela resistência mecânica das argamassas. No entanto, para argamassas de revestimento, não há necessidade de elevadas resistências mecânicas, principalmente pelo fato de isto levar à redução da capacidade de deformação, da resistência ao impacto e até mesmo da capacidade de aderência (Tristão, 1995).

As argamassas com elevados consumos de cimento apresentam tensões de tração nove a doze vezes maiores do que as apresentadas pelas argamassas pobres (que contém menores quantidades de aglomerantes, sobretudo o cimento Portland), devido à retração, e maiores módulos de elasticidade (Fiorito, 2005).

A finura do cimento é uma das características que tem importante influência sobre as argamassas. Quanto mais fino é o cimento, maior é a trabalhabilidade da argamassa, e mais rápida sua reação com água. Selmo (1989 apud Nóbrega 2007), citando diversos autores, coloca que os aglomerantes, a princípio, contribuem de forma significativa para a retenção de água, devido à tensão superficial da pasta e maior superfície específica quando comparados à areia, exceto nas argamassas com elevados teores de argila na sua composição. Elevados teores de argila nas argamassas pode resultar numa maior demanda de água.

Essa em excesso é perdida facilmente por sucção, afetando então sua capacidade de retenção.

Com relação à influência do tipo de cimento em argamassas, o trabalho de Bolorino e Cincotto (1997), que avaliou argamassas de cimento, cal e areia (1:1: 6, em massa) para revestimento, constatou que as propriedades no estado fresco não foram afetadas de forma significativa, enquanto que, no estado endurecido, verificaram a influencia da reatividade e da composição dos cimentos, principalmente nas resistências à compressão e à tração na flexão, na absorção de água por capilaridade e na retração por

secagem e, de maneira menos acentuada, na resistência de aderência à tração do revestimento.

O fator água/cimento é determinante na resistência de argamassas e concretos. A lei de Abrams mostra que a resistência é inversamente proporcional ao valor desse fator. O aumento da quantidade de água na mistura aumenta a porosidade, causando um enfraquecimento da matriz de argamassa e conseqüentemente, a diminuição da resistência (Mehta e Monteiro, 1994). O resíduo de caulim por apresentar em sua constituição teores de argila, tem bastante influência sobre esta propriedade nas argamassas. Sabe-se que em cada tipo de mineral seus grãos apresentam diferentes potenciais de atração da água em função da sua área de superfície (Oliveira et al., 2000). Se os grãos atraem mais água, essa atração pode influenciar na zona de transição deixando ela fraca e, conseqüentemente, resultando em menor resistência.

Cal

É um aglomerante com funções importantes na argamassa. Tem a capacidade de melhorar a trabalhabilidade e outras propriedades, porém causa a diminuição da resistência à compressão (Silva, N. 2006). Pode-se destacar que a cal confere plasticidade a pastas e argamassas no estado fresco, permitindo maiores deformações no estado endurecido e sem fissuração, o que não ocorre, com freqüência, em caso de se empregar somente cimento Portland (Cincotto, 1995).

Segundo Tristão (1995), este aumento de plasticidade das argamassas tem influência direta na capacidade de espalhamento da argamassa sobre uma superfície, resultando numa melhora da extensão da aderência. Segundo Carasek (2001), diversos estudos indicam que, à medida que se aumenta a percentagem de hidróxido de magnésio na composição da cal, em relação ao hidróxido de cálcio, há também um aumento na capacidade de aderência da argamassa.

Sabbatini (1985 apud Quarcioni e Cincotto 2005) faz um relato qualitativo da variação das propriedades de uma argamassa com a variação do teor relativo de cal, mantendo-se constante a proporção entre os aglomerantes e o agregado. O estudo indica

que existe uma interdependência das propriedades das argamassas, de forma que ao se melhorar algumas delas, como o módulo de deformação, outras propriedades serão prejudicadas, especialmente as resistências mecânicas.

Em várias regiões do país são utilizadas adições de minerais naturais que são materiais inertes os quais possuem um teor de partículas de dimensões reduzidas, proporcionando elevada superfície específica que contribui para a melhoria da plasticidade e para o aumento da retenção de água, resultando em argamassas mais trabalháveis (Mattos, 2003). Temos como exemplos os saibros, os solos finos beneficiados e o pó calcário, sendo que os dois primeiros materiais podem prejudicar outras propriedades no estado endurecido, quando utilizados sem critério algum, devido à natureza e às características de suas partículas mais finas, os argilominerais. O resíduo de caulim arenoso associado à vermiculita expandida também é um material que tem potencial para ser usado como adição mineral em argamassas, a fim de melhorar determinadas propriedades, como será discutido neste trabalho.

Agregados

A norma técnica NBR 7211 (ABNT, 2005), estabelece como sendo agregados miúdos, os “agregados cujos grãos passam pela peneira com abertura de malha de 4,75 mm e ficam retidos na peneira com abertura de malha de 150 mm, em ensaio realizado de acordo com a ABNT NBR NM 248, com peneiras definidas pela ABNT NBR NM ISO 3310-1”. Esta mesma norma estabelece que os agregados possam ser de origem natural, já encontrados fragmentados (seixos rolados) ou resultante de britagem de rochas.

O conhecimento de algumas propriedades dos agregados é de grande valia para se analisar o seu papel numa mistura, sejam argamassas ou concretos (Mehta e Monteiro, 1994). Segundo Carneiro e Cincontto (1999), a areia não contribui com as reações químicas do endurecimento da argamassa, mas influencia no estado fresco pela composição granulométrica; o formato dos grãos interfere na trabalhabilidade e na retenção de água; nas resistências mecânicas, na capacidade de deformação e na permeabilidade.

Contudo, sabe-se que a zona de transição pode ser afetada pela composição do agregado. Expansão e fissuração do concreto podem resultar de reações químicas envolvendo íons alcalinos silicosos que podem estar presentes no agregado (Mehta e Monteiro, 1994, apud Nóbrega, 2007). A forma e textura dos grãos dos agregados têm mais influência nas propriedades no estado fresco do que no estado endurecido. A forma dos grãos está relacionada com a geometria, que pode ser arredondada, angulosa, alongada ou achatada. A textura é definida quanto à superfície do agregado, lisa ou áspera. Uma textura mais áspera tende a favorecer a aderência entre a pasta de cimento e o agregado (Mehta e Monteiro, 1994). No estudo realizado por Silva et al (2005), verificou-se que a areia, de grãos subarredondados e mais esféricos, produziu argamassas com menores índices de exigência de água, absorção de água por capilaridade, retenção de água, densidades de massa e resistência mecânica em comparação as argamassas produzidas com areia britada de rocha calcária calcítica. Neste trabalho não se verificou a mineralogia dos agregados estudados, o que também influencia no desempenho do agregado nas argamassas.

Com relação à influência da composição granulométrica do agregado nas argamassas existem alguns estudos relevantes como o de Tristão (1995) e Carneiro (1999). Este mostrou resultados que alguns trabalhos anteriores embasaram os estudos de influência de curvas granulométricas nas propriedades das argamassas, relevando sempre que neste estudo a dosagem do aglomerante e do agregado foi realizada a partir da curva granulométrica.

Este mesmo estudo ainda fez referência à influência da composição granulométrica da areia, recomendada em diferentes especificações, nas propriedades de argamassas de revestimento. O estudo mostra que argamassas produzidas com agregados muito uniformes possuem maior consumo de aglomerantes e de água de amassamento. O autor também relata que a distribuição granulométrica deve ser avaliada pelo módulo de finura em conjunto com o coeficiente de uniformidade, visando assim à utilização de agregado com granulometria contínua. Carneiro (1999), em seu estudo coloca que a massa unitária e o índice de vazios calculado também são indicadores relevantes para a avaliação da compacidade das areias, ressaltando que em conjunto com o coeficiente de

uniformidade, deve-se analisar também o perfil da curva granulométrica. Contudo, estas considerações foram feitas para materiais monofásicos ou com pouca variação mineralógica nas frações, o que não é o caso do resíduo arenoso de caulim.

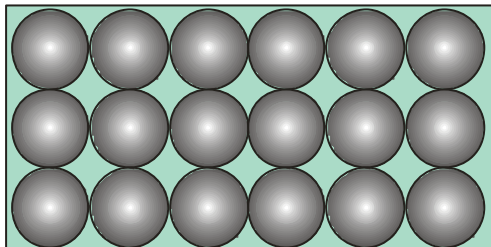
Quanto às propriedades no estado endurecido das argamassas, Tristão (1995) e Carneiro (1999) verificam que a continuidade da curva de distribuição granulométrica aumenta a resistência à compressão, devido ao melhor empacotamento. Esta afirmação não pode ser generalizada, pois há fatores como a forma do grão, a mineralogia e a razão de aberturas entre as peneiras que afetam essa condição e o de melhor empacotamento entre os grãos numa curva granulométrica mais contínua.

O estudo de empacotamento de partículas explica que a correta seleção da proporção e do tamanho adequado dos materiais particulados se dá em função de preencher os vazios maiores com partículas menores, cujos vazios serão preenchidos com partículas ainda menores e assim sucessivamente (Mc Geary, 1961 apud Oliveira, 2000).

O fator de empacotamento também está relacionado com a densidade da argamassa no estado endurecido. Assim, as argamassas com fator de empacotamento menor, geralmente apresentam maior índice de vazios em seu interior, isto por sua vez lhe confere certas melhorias em determinadas propriedades, sobretudo aquelas inerentes a isolamento.

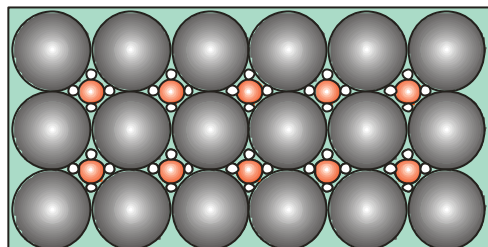
A Figura 21 mostra o efeito da quantidade e do tamanho das partículas na eficiência de empacotamento. O sistema apresenta configurações sobre este efeito, desde o sistema com único tamanho de partículas (monodisperso), indo ao de máxima densidade de empacotamento até o sistema de deficiência de partículas grandes e a distribuição inadequada de tamanhos das mesmas.

(A)



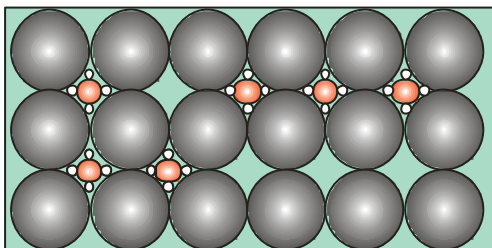
Sistema com tamanho único de partículas (monodisperso).

B)



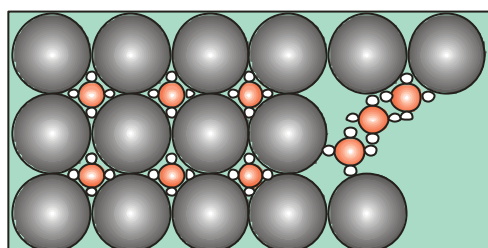
Máxima densidade de empacotamento.

(C)



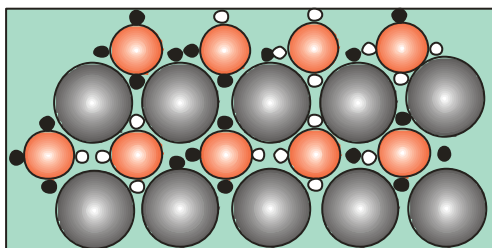
Deficiência de partículas pequenas.

(D)



Deficiência de partículas grandes.

(E)



Distribuição inadequada de tamanhos de partículas.

Figura 21 - Efeito da quantidade e do tamanho das partículas na eficiência de empacotamento: (a) sistema com único tamanho de partículas (monodisperso); (b) máxima densidade de empacotamento; (c) deficiência de partículas pequenas; (d) deficiência de partículas grandes; (e) distribuição inadequada de tamanhos de partículas (Oliveira et al., 2000).

Outros fatores que afetam o empacotamento de partículas são a morfologia, a porosidade e a densidade das mesmas. Caso o formato tenda a ser menos esférico, menor será a densidade de empacotamento de uma distribuição granulométrica. (Figura 22). Através do controle desta distribuição granulométrica é possível otimizar a densidade de empacotamento em sistemas compostos por partículas esféricas. Geralmente a densidade se eleva com o valor resultante do quociente entre os tamanhos (diâmetros) das partículas maiores e das menores (Figura 23) (Oliveira et al. 2000).

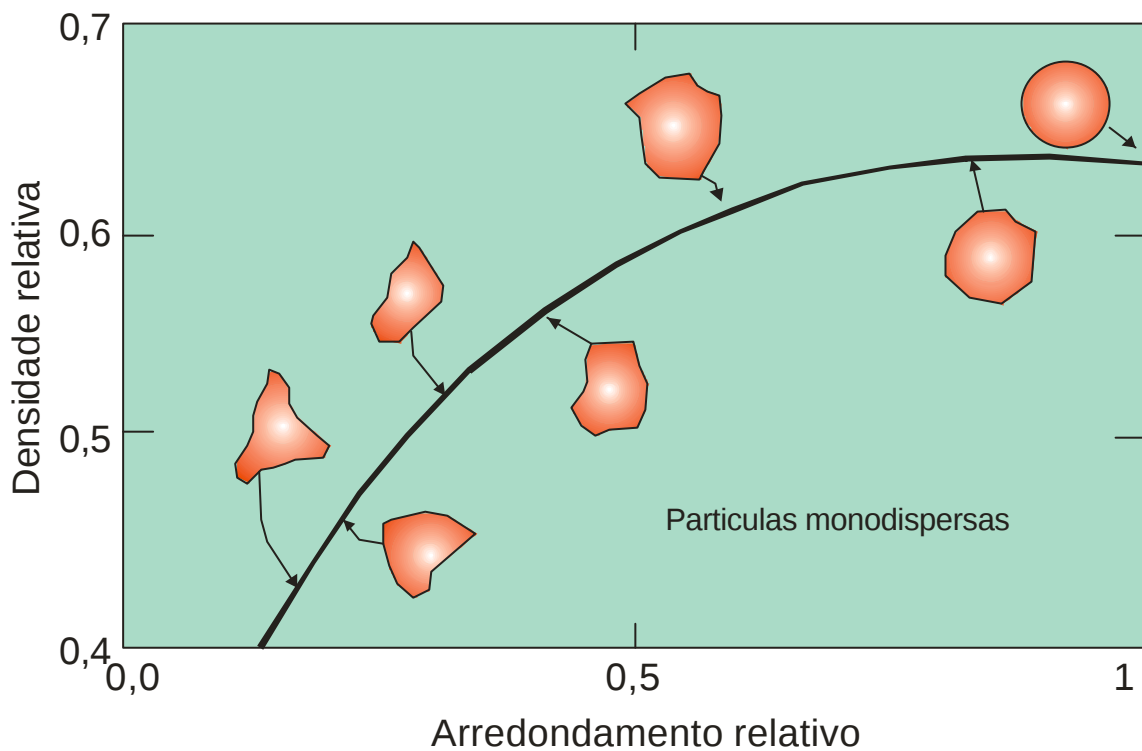


Figura 22- Relação qualitativa existente entre a densidade relativa e o arredondamento relativo para empacotamento monodispersos aleatórios de partículas (Oliveira et al., 2000).

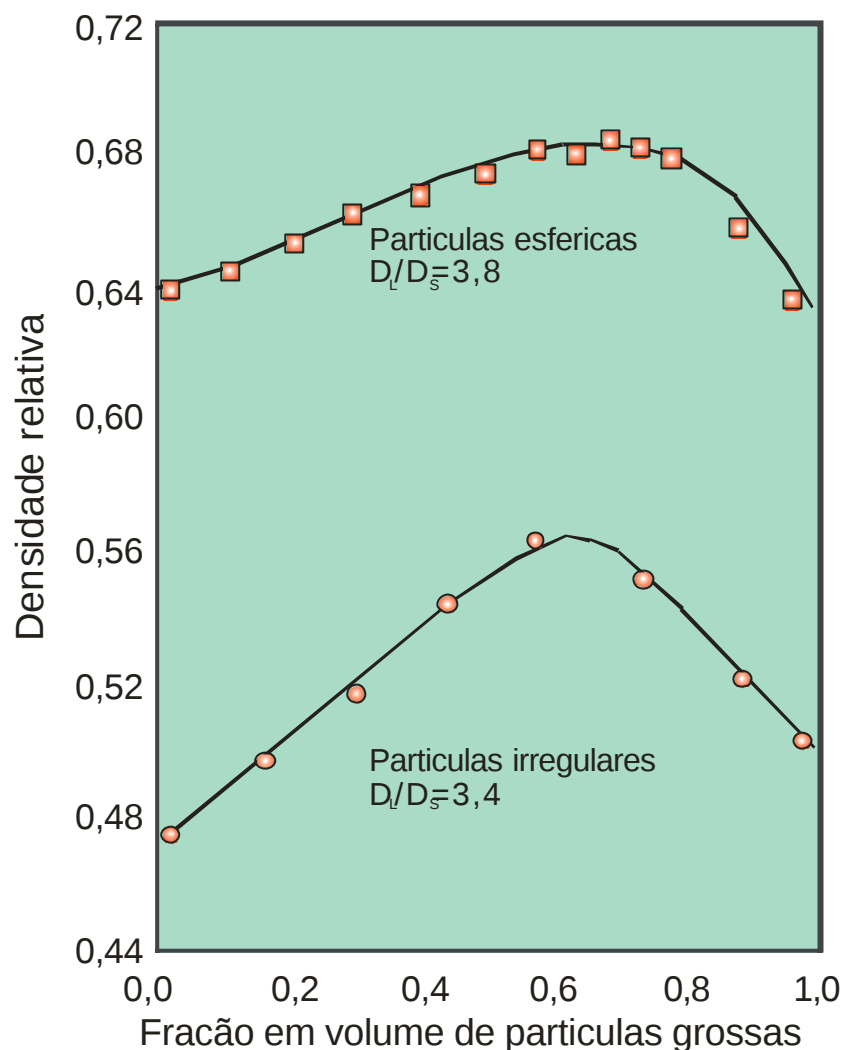


Figura 23 - Dependência da densidade relativa de empacotamento em função da composição, para misturas de formato esférico e irregular (Oliveira et al., 2000).

Devido à elevada possibilidade de formatos de partículas e da infinidade de combinações possíveis, é muito difícil desenvolver um sistema que possa prever o comportamento de misturas de partículas não esféricas. A única previsão se dá à medida que as partículas tornem-se não esféricas, ocorrerá um decréscimo na densidade de empacotamento e de outras propriedades correlatas (Oliveira, 2000).

Outra característica importante dos agregados são as suas propriedades térmicas que influenciam no desempenho do concreto e das argamassas. Segundo Neville (1997) o coeficiente de dilatação térmica de agregado tem influência sobre o mesmo coeficiente do

concreto com o qual ele é preparado: quanto maior o do agregado, maior será o do concreto. Por exemplo, o quartzo sofre uma transformação a uma temperatura em torno de 574°C, com uma expansão brusca de 0,85 %, afetando a estabilidade dimensional de argamassas e concretos. (Mehta e Monteiro, 1994; Neville, 1997). Além das transformações de fase e da decomposição térmica do agregado, a resposta do concreto ao fogo é influenciada também pela mineralogia do agregado (Mehta e Monteiro, 1994).

5.4.4 - Propriedades

5.4.4.1 - Consistência

Segundo Cincotto et al. (1995 apud Silva, 2006) consistência é a propriedade pela qual a argamassa no estado fresco tende a resistir à deformação, não existindo uma unidade definida que a quantifique. Entretanto, vários autores classificam as argamassas segundo esta propriedade, dividindo-se assim em argamassas secas, plásticas ou fluidas (Cincotto, 1995). A consistência é diretamente determinada pelo conteúdo de água, sendo influenciada pelos seguintes fatores: relação água/aglomerante, relação aglomerante/areia, granulometria da areia, natureza e qualidade do aglomerante (Silva, 2006).

A consistência pode ser influenciada pelo tipo, forma e características texturais do agregado, apesar de não haver trabalhos conclusivos que quantifiquem tal influência (Araújo, 2001 apud Silva, 2006).

As características granulométricas, segundo Tristão (1995) e Carneiro (1999), influenciam nos volumes de vazios mínimos e máximos, causando uma variação na quantidade de aglomerante requerida na mistura. Quanto maior a continuidade na distribuição granulométrica do agregado, menor serão o volume de vazios e a necessidade de pasta para uma dada consistência.

Para a avaliação da consistência da argamassa, utiliza-se tradicionalmente no Brasil, a mesa de consistência (flow table) prescrita pela NBR 7215 (ABNT, 1996) e procedimentos de ensaio prescritos pela NBR 13276 (ABNT, 1995). Mas existem outros

métodos utilizados para avaliar a consistência: o método da penetração do cone preconizado pela ASTM C 780 (1996); o método “vane test”, (ensaio de palheta); ensaio de “dropping ball ”dropping ball (BS 4551), e mais recentemente, vem sendo empregado o “squeeze flow”, (equipamento usado inicialmente para avaliação de fluidos homogêneos), devido, principalmente, a grande sensibilidade nas variações do comportamento reológico da argamassa (Silva, 2006). A figura 24 abaixo mostra a mesa de consistência do LABEME-CT-UFPB, utilizada para ensaio de consistência normal já com material a ser ensaiado. Já a figura 25 mostra o material sendo ensaiado. A figura 26 mostra a consistência padrão da argamassa, quando se observa a medição do diâmetro do material após aplicação final de golpes dada através da mesa de consistência.



Figura 24 – Mesa de Consistência Normal (LABEME-CT-UFPB)



Figura 25 – Mesa de Consistência Normal (LABEME-CT-UFPB)



Figura 26 - Ensaio de consistência na mesa de fluidez (Oliveira, 2004)

5.4.4.2 - Capacidade de Retenção de Água

A retenção de água é a capacidade da argamassa no estado fresco em manter sua consistência ou trabalhabilidade quando sujeita a solicitações que provocam perda de água por evaporação, sucção do substrato ou pela hidratação do cimento e carbonatação da cal (Cincotto et al, 1995).

Alguns fatores intervenientes na retenção de água das argamassas, sujeitas à perda de água por evaporação, citados por Détriché e Maso (1986 apud do Ó, 2004), são:

- ✚ As condições climáticas para cura, as quais regulam o equilíbrio higrotérmico;
- ✚ A natureza física da mistura (proporção de aglomerantes e finura da fração de finos) o que determina a característica inicial dos micros poros;
- ✚ A natureza química da mistura (especialmente dos aglomerantes, que será responsável pela cinética da evolução da rede de capilares);
- ✚ A espessura das camadas de revestimento.

A retenção de água é determinada conforme o prescrito na NBR 13277 (ABNT 1995) (Figura 27).



Figura 27 - Dispositivos utilizados à esquerda e execução do ensaio de retenção à direita, (Nóbrega, 2007).

Para a determinação desta propriedade existem dois procedimentos de ensaio: pela NBR 13277 (ABNT, 1995) e pela CSTB 2669-4: O primeiro determina a quantificação da água absorvida em papel-filtro colocado sobre a argamassa fresca, sob uma dada pressão, comprimida por um peso assentado sobre o papel. No segundo submete-se a uma sucção durante 15 minutos em um funil de filtração, equipamento especificado na norma ASTM C-91, sob pressão de 50 milímetros de coluna de mercúrio, onde a quantidade de água retida é determinada por diferença de massa da argamassa, antes e após a sucção (Nakakura, 2003). Na Figura 28, são ilustradas as duas condições de ensaio da retenção de água.

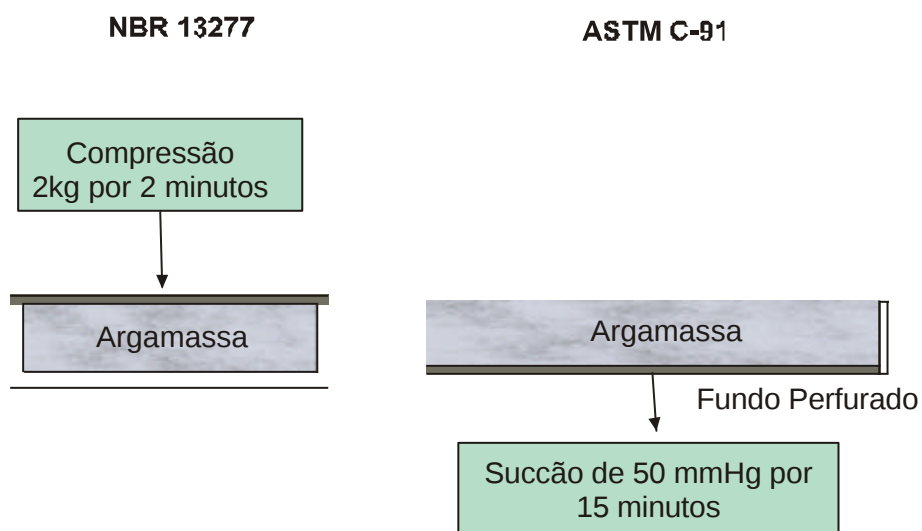


Figura 27 – Condições de ensaios de retenção de água (Nóbrega, 2007)

A maioria das argamassas nacionais tem retenção de água acima de 90% determinada pela NBR 13277 (ABNT, 1995). O procedimento recomendado pelo CSTB é mais rigoroso e, talvez por isso mesmo, proporciona uma diferenciação entre as argamassas obtendo-se valores mínimos de até 60% de retenção para as mesmas argamassas, analisadas pelos dois métodos (Nakakura, 2003). Sendo assim, depois de vários trabalhos que discutem sobre os dois métodos, a norma NBR 13277 já tem uma versão atualizada, onde o procedimento recomendado é baseado no da ASTM C-91. Mas nesse estudo como todos os parâmetros de normas analisados foram as versões daquele ano, então o ensaio de retenção também foi segundo o da versão de 1995.

As normas NBR 7175 (ABNT, 1992) e NBR 13281 (ABNT, 1995) estabelecem limites de retenção de água para cal hidratada para argamassa e argamassas industrializadas para assentamento e revestimento de paredes e tetos respectivamente. A retenção de água é classificada como alta se for maior que 90%, e como normal se estiver compreendida no intervalo de 80% a 90%. Os valores de retenção segundo a NBR 13281/95 devem ser determinados de acordo com a NBR 13277 (ABNT, 1995).

5.4.4.3 - Resistência Mecânica

A resistência mecânica das argamassas está relacionada à sua capacidade de resistir a esforços de tração, compressão ou cisalhamento, decorrentes de cargas estáticas ou dinâmicas atuantes nas edificações, ou decorrentes de efeitos das condições ambientais (Nakakura, 2003). A mais comumente determinada é a resistência de compressão, tanto em argamassas de revestimento e assentamento.

Para efeito de avaliação do desempenho destas argamassas de assentamento à resistência de compressão é método mais considerado, devido à forma como ela é solicitada no sistema de vedação. Nas argamassas de revestimento as solicitações maiores são as de tração e de cisalhamento (Nakakura, 2003).

Os principais fatores que influenciam a resistência mecânica para os concretos, segundo Mehta e Monteiro (1994), são: o tipo de cimento, o agregado e a relação água/aglomerante. Analogamente, pode-se dizer que ocorre o mesmo nas argamassas.

A seqüência de figuras abaixo mostra o processo do ensaio para determinação de resistência à compressão simples e à tração por flexão. A figura 29 mostra o molde para confecção de corpos de prova utilizados no laboratório para determinação da resistência à tração por flexão, já a figura 29 mostra a confecção dos corpos de prova e as figuras 31, 32, 33 e 34 mostram o rompimento dos corpos. Abaixo, na figura 35 apresentamos o ensaio de resistência à compressão simples, onde se observa o processo de ruptura do corpo de prova em detalhe nas figuras 36 e 37. Outro fator a se considerar é a forte presença de material esbranquiçado, isto se dá devido a grande quantidade de rejeito do caulim arenoso (birra), presente neste corpo de prova.

Um dado importante é a presença de vermiculita neste traço, pois, a mesma foi adicionada em quantidades lineares de 5% do traço em peso, ou seja, para o primeiro traço foi incorporado 5% de vermiculita no traço, em seguida 10% do material e assim sucessivamente até os 45% do traço, sempre em peso, e nunca em volume como se observa quando da confecção dos mesmos em canteiro de obra. Isto se fez necessário para se obter uma maior precisão dos resultados.



Figura 29 - Molde de corpo de prova para Ensaio de resistência à flexão (autor, 2007)



Figura 30- Confecção de corpos de prova ainda no estado fresco (autor, 2007).



Figura 31 – ensaio de tração por flexão (autor, 2007)



Figura 32 – ensaio de tração por flexão (autor, 2007)



Figura 33 – Detalhe de ensaio de tração por Flexão (autor, 2007).



Figura 34 – Detalhe da ruptura do Ensaio de tração por flexão (autor, 2007)

As figuras abaixo mostram o momento em que ocorre a preparação e a ruptura do corpo de prova do ensaio de resistência à compressão. Pode-se observar a leitura da resistência do corpo de prova, a qual será apresentada num gráfico específico mostrado mais adiante.



Figura 35 – Ensaio de ensaio de resistência á compressão simples. (autor, 2007)



Figura 36- Ruptura do corpo de prova. (autor, 2007)



Figura 37 - Detalhe de fissuras quando do rompimento de corpo de prova(autor, 2007)

5.4.4.4 - Densidade de massa no estado endurecido

A densidade de massa no estado endurecido corresponde à relação entre a massa e o volume aparente da argamassa. Esta propriedade é um indicativo da compactidade, que vai resultar da proporção de agregado em relação ao aglomerante e também da distribuição granulométrica da mistura (Nakakura, 2003).

Com o valor da densidade de massa no estado endurecido, pode-se determinar indiretamente o volume de vazios da argamassa. A NBR 13280 (ABNT 1995) prescreve os procedimentos para a determinação desta propriedade.

5.4.4.5 - Permeabilidade por capilaridade

Os poros capilares de dimensões maiores que 50nm e as bolhas de ar incorporado de até 3 mm têm influência na permeabilidade. Os capilares são os espaços que ainda não foram preenchidos pelos compostos endurecidos do aglomerante (Carneiro, 1999). Então isto implica que quanto mais idade tiver a argamassa, ou seja, mais endurecida, menor será a permeabilidade. Carneiro (1999) ainda cita que o tempo de amassamento, se prolongado, incorpora ar, e a continuidade da composição granulométrica, que favorece o empacotamento da argamassa, podem afetar essa propriedade.

Nakakura (2003), explica que a existência de poros interligados ou não, de diferentes diâmetros, faz que alguns contribuam para a permeabilidade e outros, não. Se a porosidade for elevada e os poros estiverem interligados, eles contribuem para o deslocamento de fluidos, de modo que a permeabilidade também pode ser alta. Por outro lado, se os poros forem descontínuos ou, até, ineficazes para o deslocamento de fluidos, a permeabilidade será baixa, mesmo com porosidade alta. Esta propriedade é avaliada pelo coeficiente de permeabilidade por capilaridade. O ensaio de capilaridade relaciona-se à permeabilidade enquanto o ensaio de absorção de água está ligado ao volume de vazios (poros).

A norma brasileira que trata da determinação dessa propriedade é a NBR 9779 (ABNT 1995), que foi a utilizada nesse trabalho.

5.4.4.6 - Resistência de Aderência

Segundo Sabbatini (1984 apud Silva, N. 2006), a aderência da argamassa ao substrato pode ser definida como sendo a capacidade que a interface substrato/argamassa possui de absorver tensões tangenciais (cisalhamento) e normais (tração) a ela, sem romper-se. Ainda, segundo o autor, não existe uma correspondência biunívoca entre um dado parâmetro e a capacidade de aderência.

Por exemplo, aumentando o teor relativo de cimento no aglomerante pode-se aumentar ou diminuir a capacidade de aderência, dependendo das características do substrato.

Cincotto et al. (1995 apud Tristão, 1995) dispõe que a aderência é significativamente influenciada pelas condições da base, como porosidade e absorção da água, resistência mecânica, textura superficial e pelas próprias condições de execução.

De acordo com Gonçalves (2004) citado por Silva N. (2006), fatores como processo de execução do revestimento, materiais utilizados e condições climáticas respondem por uma variabilidade de até 33% nos resultados do ensaio de aderência. Reza o autor que, os resultados do ensaio de resistência de aderência à tração, devem ser analisados em relação ao tipo de ruptura ocorrido, visto que o fato de romper na interface argamassa/substrato (aderência pura) quanto no interior dos materiais, representam fraturas no sistema de revestimento.

A NBR 15258 da ABNT, vigente a partir de outubro de 2005, propõe procedimentos de ensaio para determinação da resistência de aderência à tração, assim como na versão anterior. Atualização trata de aderência potencial, estabelecendo um substrato padrão para a aplicação das argamassas para que se minimize a influência da base na aderência.

No presente trabalho foi usada como base a versão anterior desta norma (NBR 15258, 1995). O processo se deu da seguinte forma.

Primeiro confecciona-se um painel de alvenaria de bloco cerâmico de tijolo encontrado no comércio local com as dimensões de 19,00 x 19,00 x 9,00 cm para em seguida produzir um painel nivelado, aprumado e com esquadro de 60,00 x 60,00 cm de dimensão, devidamente identificado com etiqueta trazendo a informação do traço de cada placa. No processo de cura do material, que se deu após tempo estabelecido em norma, aplicou-se um chapisco com traço 1:3, utilizando-se areia lavada e de rio de granulometria média. Após a cura deste, aplicou-se uma argamassa com espessura de 20,00mm.

É importante acrescentar que o fato de se optar por uma camada de 20 mm de espessura para as placas de alvenaria, deve-se ao fato de que essa espessura é a mais recomendada por manuais técnicos e por ser a mais utilizada na construção civil quando o tema é revestimento de paredes e painéis, observando-se sempre a percentagem de vermiculita que seria adicionada a cada placa, e para isto utilizou-se etiquetas para identificação de cada placa construída.

Terminado este processo e esperando novamente o processo de cura da argamassa (este durou por 7 dias), fixou-se as placas de metal do ensaio de aderência devidamente soldadas com adesivo tipo epóxi, deixando que o mesmo esperasse por um tempo mínimo de 24 horas, segundo recomendação do fabricante, para em seguida continuar o processo de ruptura conforme figuras a seguir, nelas se observa a seqüência de execução dos ensaios desde a construção das placas de alvenaria, passando pelo processo de chapisco e reboco até o processo de ruptura.

A seqüência de figuras abaixo mostra o processo de execução das placas de alvenaria para uso no ensaio de ruptura à aderência.



Figura 38 - Bloco de alvenaria (0,60x0,60) sem Chapisco (autor, 2007)



Figura 39 - Bloco de alvenaria com aplicação de Chapisco traço 1:3 (autor, 2007)



Figura 40 - Bloco de alvenaria (0,60x0,60) com Chapisco (autor, 2007)



Figura 41 - Bloco de alvenaria com aplicação de Chapisco traço 1:3 (autor, 2007)



Figura - 42- Bloco de alvenaria chapiscado com placa de identificação de cada traço. (autor, 2007)



Figura - 43- Placa após revestimento com argamassa de 20mm de espessura (autor, 2007)

A figura 42 acima e à esquerda mostra a construção de um bloco de alvenaria de 0,60 x 0,60 m, enquanto a figura 43 acima e à direita apresenta este mesmo bloco com aplicação de chapisco utilizando um traço de cimento e areia de 1:3

Na figura abaixo é possível perceber o momento do rompimento das chapas de moldes quando do arrancamento das mesmas. A figura ainda traz informações importantes a respeito da aderência do material como a forma de como cada traço se aderiu ao substrato. Foi observado que para traços em que a quantidade de vermiculita era maior o arrancamento se deu na superfície do substrato enquanto que para os valores maiores de Birra isso acontece de forma inversa, ou seja, a placa trouxe junto consigo o material arrancado.



Figura 44 – Molde já ensaiado, quando se observa o substrato após extração. (autor, 2007)

Na figura 45 (abaixo e a esquerda) pode se observar o arrancamento das placas de metal no ensaio de aderência, enquanto que a figura 46 (á direita), mostra á leitura real quando do de rompimento das placas.



Figura 45 - Rompimento das placas durante o ensaio - (autor, 2007)



Figura 46 - Leitura do aderímetro no momento da ruptura - (autor, 2007)

5.4.4.7 - Módulo de Deformação

O módulo de deformação é definido como a capacidade da argamassa de dissipar tensões a que está submetida. Quanto menor o valor desse módulo, maior é a capacidade de se absorver deformações.

Em Selmo (1989 apud Tristão, 1995), comenta que as argamassas de revestimentos devem apresentar capacidade de deformação para se deformar sem ruptura ou através de micro fissuras que não comprometam a aderência, estanqueidade e sua durabilidade.

Para expressar a ductilidade das argamassas para esforços de compressão, mede-se o módulo de elasticidade, que pode ser obtido através do método estático ou dinâmico. O módulo dinâmico é mais adequado para análise de tensões de estruturas sujeitas a terremoto ou carga de impacto (Mehta e Monteiro, 1994). Porém, no I WORKSHOP para apresentação de resultados de pesquisas sobre módulo de elasticidade, realizado por pesquisadores do Consórcio Setorial para Inovação em Tecnologia de Revestimentos de

Argamassa (CONSITRA) citado por Silva N. (2006), resolveu-se adotar o método dinâmico para a determinação do módulo de elasticidade pelo fato de que é um ensaio não destrutivo e de fácil execução, determinado através de ondas ultra-sônicas.

6.0 - MATERIAIS E MÉTODOS

6.1 - MATERIAIS

6.1.1 - Cimento

Foi utilizado Cimento Portland CII F- 32 da marca ZEBU, com 6% a 14 % de Pozolana, encontrado facilmente no comércio de materiais de construção local que chegou ao laboratório em sacas de 50 kg em embalagens do tipo “Kraft” sendo retirado da embalagem e colocado em embalagens plásticas lacradas para que o mesmo não perdesse as suas propriedades.

6.1.2 - Areia

Foi empregada areia para o chapisco das placas de alvenaria proveniente do rio Caxitú, localizado no município do Conde, Paraíba. Este agregado apresenta massa específica de $2,65 \text{ g/cm}^3$, módulo de finura de 2,50 mm e dimensão máxima de 2,40 mm, conforme NBR 7217, 1987 (ABNT, MB – 7,1987). Antes de sua utilização a mesma foi colocada em local para secagem ao ar natural. No Gráfico 5 são mostradas as curvas granulométricas da areia Caxitú e da Birra. Pode-se observar que para o mesmo intervalo de peneiras, as de malha s mais finas, a birra apresenta uma maior quantidade de finos em relação à areia Caxitú. Enquanto os finos desta areia Caxitú são constituídos basicamente de quartzo, os finos da Birra são predominantemente constituídos de caulinita. Esses finos acarretaram num maior consumo de água para se atingir a consistência padrão.

Outra observação importante é a grande quantidade de fragmentos de mica encontrados na birra, o que não se observa na areia.

Uma possível correção granulométrica pode melhorar o desempenho deste material para uso em argamassas de múltiplo uso.

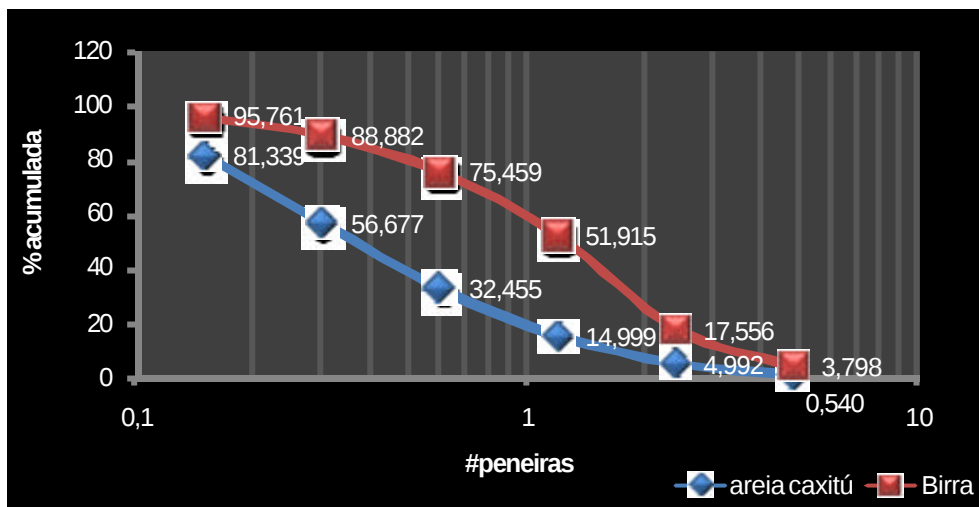


Gráfico 5 – Curvas granulométricas da Areia Caxitú e da Birra.

6.1.3 - Vermiculita

Foi utilizado vermiculita de granulometria fina segundo norma NBR 11.355 (MB 3.112), massa específica aparente NB 10.405 e com massa específica segundo norma DNER-ME 085/94 de 100g/l, adquirida em embalagem de sacos de papel Kraft contendo 0,1 m³ medidos na boca do expansor, vinda de uma jazida da região Sul do Estado do Piauí.

6.1.4 - Caulim

BIRRA - Rejeito grosso ou arenoso de caulim.

Foram utilizadas amostras de rejeito arenoso de caulim da mineradora CAULISA S.A localizada na província pegmatítica da Borborema, situada na cidade de Junco do Seridó, Sertão do Estado da Paraíba, conforme se observa na Figura 47.

A massa unitária da Birra foi determinada conforme a NBR 7251 (ABNT 1982), lembrando sempre que somente o material retido na peneira 2 mm, foi utilizado para este ensaio, e para todo estudo deste trabalho.

Esta opção se deve ao fato de que as mineradoras produzem em maior quantidade este resíduo.



Figura 47- Ilustração da localização de amostragem dos rejeitos de caulins utilizado na pesquisa.

As amostras foram conduzidas até o Laboratório de ensaios de materiais e estruturas LABEME, da Universidade Federal da Paraíba, Campus I, em sacos de NYLON, com alto teor de umidade. No laboratório, foram retirados da embalagem e colocados em recipientes de plástico com etiquetas de identificação para, em seguida, serem expostos a secagem em umidade natural e se determinar a granulometria.

Para efeito comparativo, utilizou-se o processo de determinação da granulometria por lavagem, para maior precisão dos resultados.

Vale registrar que cada traço foi identificado com etiqueta a qual mostrava a percentagem da vermiculita e da brra com acréscimo de 5% de vermiculita em ordem crescente. Os corpos de provas foram moldados de forma a que cada traço tivesse 6 moldes prismáticos. Portanto isto significa dizer que cada traço medido em percentual de vermiculita possuiu 12 amostras a serem ensaiados.

Outro registro importante a ser lembrado, é que a argamassa estudada em corpos de provas prismáticos que obedecendo a norma de 2005 também foi ensaiada em moldes cilíndricos de norma anterior (cilindros de corpos de prova com dimensões de 5 cm de diâmetro por 10cm de altura) e que os resultados obtidos através dos ensaios se assemelham com a nova norma, ou seja, não houve disparidade de valores nos dados, conforme anexo 01.

Massa unitária da Areia e da Birra: Foi determinada conforme a NBR 7251 (ABNT 1982).

A tabela 10 abaixo traz os resultados das análises dos materiais.

<i>Material</i>	<i>Massa específica (g/cm³)</i>	<i>Área específica (cm²/g)</i>	<i>Massa unitária (g/cm³)</i>	<i>Módulo de finura</i>
<i>Cimento Portland CP II Z 32</i>	3,00	4.289,12	1,08	-
<i>Areia do Rio Caxitú</i>	2,65	-	1,89	1,91
<i>Birra</i>	2,64	-	1,30	3,33

Tabela 10 – Características Físicas dos materiais

6.1.5 - Água

A água utilizada na produção de argamassa foi fornecida pela concessionária que abastece a cidade de João Pessoa e o restante do Estado, (CAGEPA), PB

Massa unitária da Areia e da Birra: Foi determinada conforme a NBR 7251 (ABNT 1982).

6.1.6- Preparação das argamassas

Para se verificar o potencial desses resíduos como materiais constituintes em argamassas de múltiplo uso, foram preparadas várias combinações de argamassas utilizando traços unitários em peso (**T. U. P**). Os materiais foram misturados a seco,

manualmente e depois se adicionou água com auxílio de uma proveta graduada para se atingir uma consistência pré-estabelecida de 255 mm (± 10 mm), verificada na mesa de espalhamento, conforme NBR 13276 (ABNT 1995).

7.0 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

7.1 - CARACTERIZAÇÕES DO RESÍDUO DO CAULIM(BIRRA).

7.1.1 - Análise Mineralógica (DRX) e Quantitativa

O gráfico 6 mostra o resultado da difração de raios-X do rejeito arenoso in natura do caulim (birra). No DRX da birra apresentado abaixo pode se observar uma predominância de caulinita (K), quartzo (Q), mica (M), conforme gráfico 6. Já o DRX da areia revela a predominância de quartzo em toda sua mineralogia como se pode constatar no gráfico 7 logo abaixo.

Nota-se ainda, que também houve uma variação mineralógica com as frações granulométricas, onde se observa uma concentração de quartzo superior ao da caulinita (o que ocorre no processo de inversão quanto se comparada à mesma com a borra, que é a parte argilosa do rejeito). Frise-se também à incidência da mica encontrada em relação à granulometria, pois, quanto menor maior será a quantidade de mica presente na amostra.

O gráfico 8 indica a variação de cada fase cristalina com a fração granulométrica.

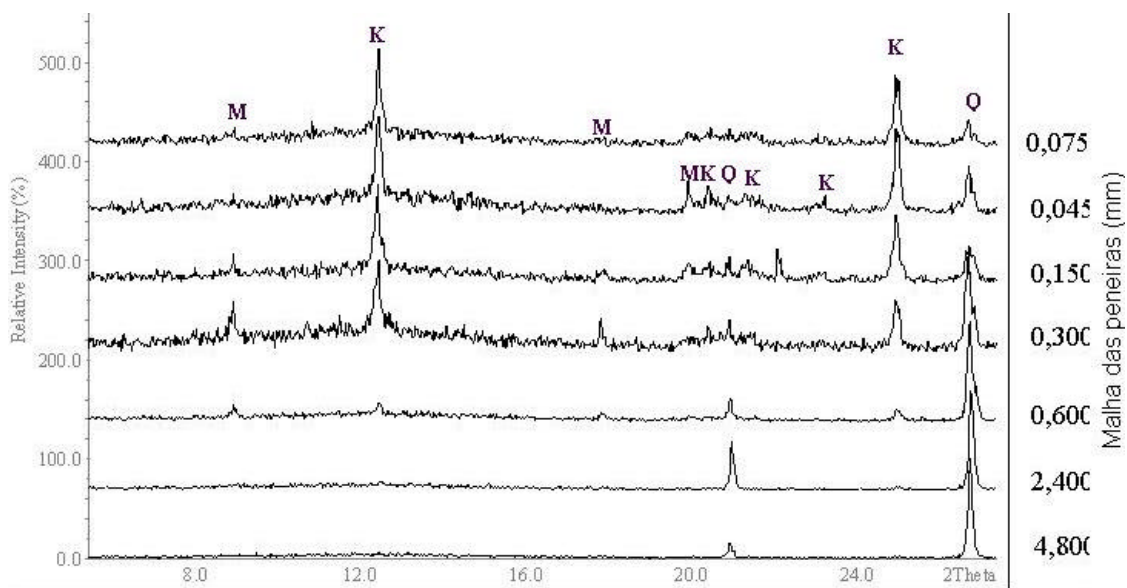


Gráfico 6 – DRX das frações da birra (Nóbrega, 2007)

No gráfico acima, é possível perceber a presença de quartzo, caulinita e mica, respectivamente K, Q e M, presentes no rejeito do caulim estudado neste trabalho.

Já o gráfico apresentado abaixo pode-se observar a presença de picos bem elevados de quartzo presente na amostra da areia estudada.

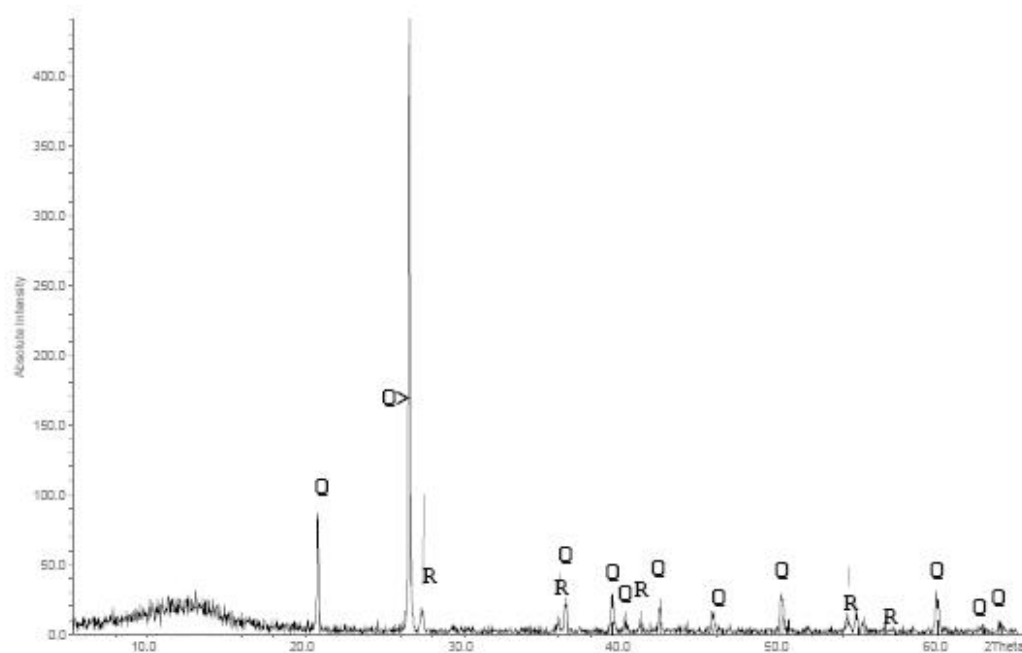


Gráfico 7 – DRX da areia Caxitú, (Nóbrega, 2007)

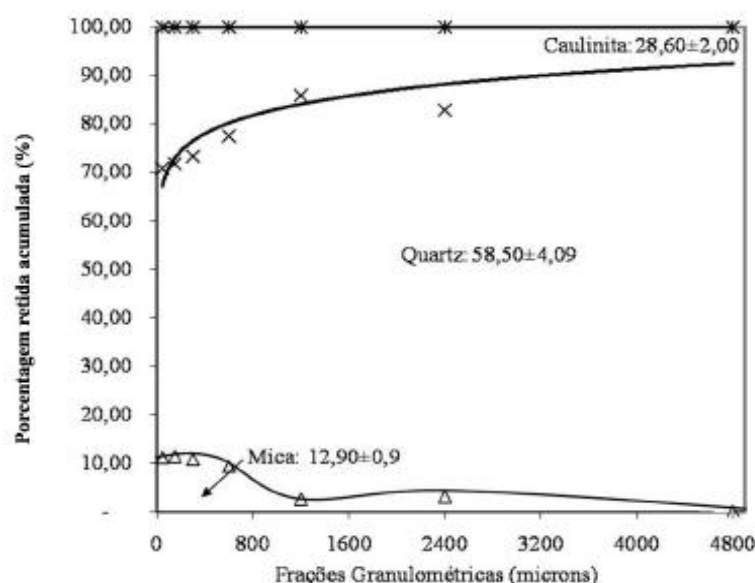


Gráfico 8 - Análise quantitativa das frações do rejeito arenoso, (Nóbrega, 2007)

7.1.2 – Massa Específica

As amostras de caulim *in natura* tiveram suas massas específicas determinadas através de ensaio foi realizado de acordo com a NBR 6474 (1984), que prescreve a determinação da massa específica do Cimento Portland e de outros materiais em pó, utilizando o frasco volumétrico de Le Chatelier.

A tabela 11 abaixo traz os valores das massas específicas e unitárias do rejeito grosso (birra) do caulim e da areia.

Material	Massa Específica (g/cm ³)	Massa unitária (g/cm ³)
Birra	2,64	1,30
Areia	2,65	1,60

Tabela 11– Massa unitária e específica dos agregados (birra e areia)

Observando a tabela acima, nota-se que a massa específica da birra é muito próxima a da areia, ou seja, na ordem de 2,65g/cm³, isto implica afirmar que segundo

esse parâmetro, o rejeito arenoso (birra) poderá ser bem aproveitado como agregado miúdo na confecção de argamassas de múltiplo uso. Segundo ainda a tabela, verifica-se que a massa unitária da birra é um pouco mais leve já que sua massa unitária fica por volta de $1,30\text{g/cm}^3$, o que em termos característicos de uso não implica em maiores restrições para sua utilização como agregado miúdo. Lembrando sempre que este comparativo será válido para confecção de argamassa com este material, pois neste caso a areia só foi utilizada para o chapisco dos blocos cerâmico.

7.1.3 - Análise Granulométrica

O gráfico 9 abaixo apresenta a curva de granulometria de dois agregados miúdos, o rejeito arenoso do processo de beneficiamento do caulim (birra) e a areia. O mesmo ainda traz informações dos limites utilizáveis do material nesta pesquisa, no caso da areia, este corte se deu por volta de 2 mm de diâmetro. O gráfico mostra que a areia Caxitú esta entre o limite inferior da zona ótima e o limite inferior da zona utilizável, ou seja, apresenta uma boa granulometria para confecção de argamassa. Com relação à granulometria da Birra, esta não se enquadra totalmente dentro do limite da zona utilizável, e por esta razão foi necessário limitar a granulometria para até 2 mm.

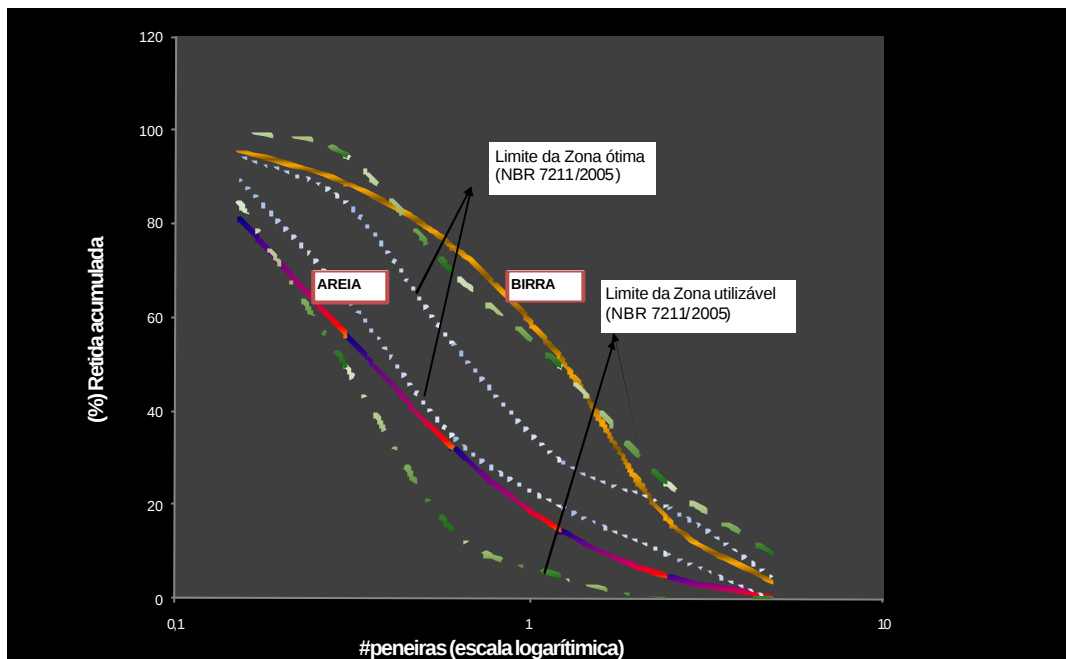


Gráfico 9 – curva granulométrica da areia e da birra

7.1.4 - Resistência à Compressão Simples, Tração por Flexão, Aderência à razão e Isolamento Térmico

Resistência à Compressão Simples

Para a confecção dos corpos de provas utilizados nos ensaios à compressão simples utilizou-se um traço 1:4, contudo a variação em percentual de vermiculita foi aumentando de 5% em 5%, conforme gráfico 10. Este processo se deu para se avaliar o desempenho mecânico de cada quantitativo, visto que os valores mínimos de cada percentual não deveriam ficar abaixo daquele recomendado em normas técnicas, ou seja, de 0,50 MPa para resistência à aderência e 2,0 MPa para tração por compressão..

Assim como a vermiculita, o rejeito arenoso do caulim também foi reduzido em 5% e 5% do traço medido em peso, de modo que no final as proporções dos dois materiais se igualassem em peso, ou seja, 50% de peso de vermiculita seria inserido no traço de 1:4, bem como o do rejeito do caulim. Outro aspecto importante nesse estudo foi o fator água/cimento, pois se verificou muito oscilante, devido à grande capacidade de absorção de água da vermiculita expandida. Os ensaios foram realizados no Laboratório

de Ensaio de Materiais e Estruturas - LABEME-CT, da Universidade Federal da Paraíba, Campus I, constataram que esse material absorveu até três vezes a quantidade de água em peso da amostra, ou seja, o fator água/cimento foi um elemento de extrema importância nesse processo.

Tal fato se comprovou quando dos resultados dos ensaios, onde se verificou que quanto maior a quantidade de água na amostra menor sua resistência, chamando a atenção apenas em alguns resultados obtidos que tiveram um desvio. Estes resultados serão melhor discutidos mais adiante.

O desempenho das argamassas produzidas com rejeito arenoso de caulim e vermiculita expandida ao longo do tempo, ou seja, aos 7 dias e 28 dias, e à aderência a são apresentados no gráfico 10.

No que se refere à resistência mínima à compressão simples e aderências à tração, estabelecida pela NBR 13749 da ABNT 1995, para argamassas de revestimento e de assentamento, a argamassa estudada com traço unitário em peso de 1:4 apresentou valores superiores aos estabelecidos pela norma, que é de no mínimo 2MPa e de 0,2 MPa respectivamente.

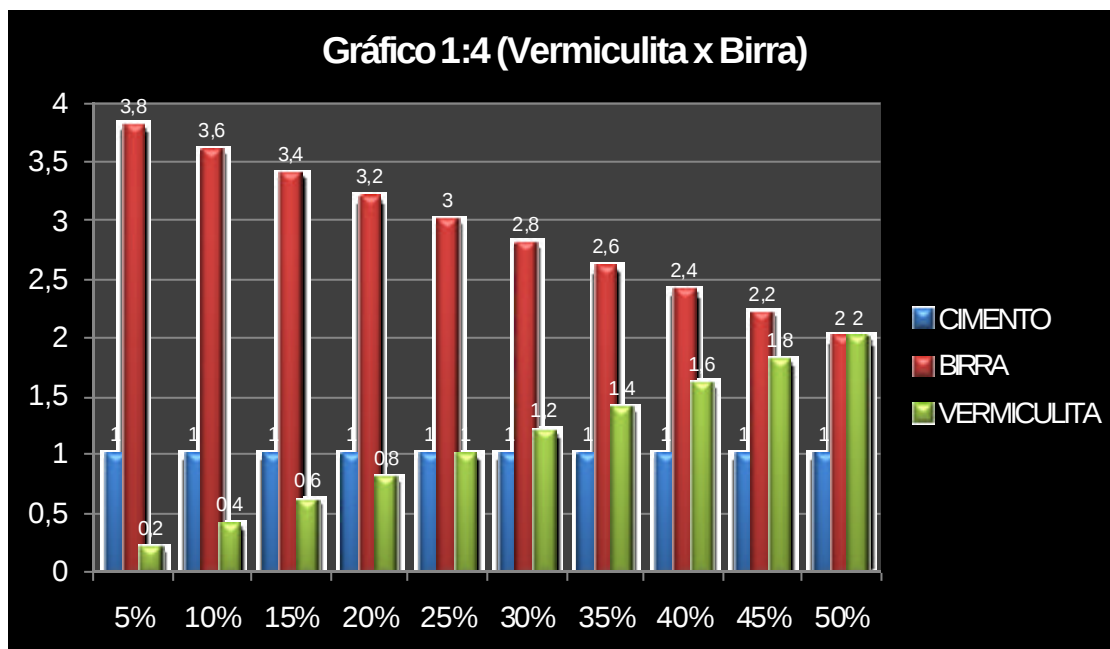


Gráfico 10 – Gráfico das quantidades de vermiculita e Birra no traço 1:4 (T.U.P.)

O gráfico 11 mostra os resultados da resistência à compressão simples. Nele os índices encontrados dos corpos de prova aos 7 e 28 dias. O gráfico traz ainda que o fator água/cimento foi um ponto preponderante, pois de fato quanto maior a quantidade de água na amostra menor a resistência do material. Um aspecto importante a se considerar é o momento em que a quantidade de vermiculita ficou entre 20% e 25%. Neste caso nota-se uma ligeira elevação da resistência a compressão do material.

Isto pode ser explicado da seguinte forma: O fator/ água cimento para essas duas amostras ficou na relação de 1,22, ou seja, esta quantidade de água é a ideal, levando-se em consideração que a vermiculita apresenta uma absorção de água limitada, de até 3 vezes o valor em peso do material expandido, e que para esse mesmo traço o fator de empacotamento não sofreu grandes variações. Essa tendência pode ser observada quando o corpo de prova foi rompido aos 7 e 28 dias, conforme gráfico 11.

Outra observação importante é que este mesmo comportamento também foi verificado quando o material foi moldado em corpos de prova cilíndricos de 5 cm de diâmetro por 10 cm de altura, pois estes serviram apenas de comparação e verificação dos resultados, conforme mostra o anexo01.

De fato, quando a quantidade de vermiculita cresce e o fator água cimento idem, observa-se uma tendência a linearidade decrescente da resistência à compressão simples de forma inversamente proporcional para o material quando no estado sólido e diretamente proporcional para o material quando no líquido, fazendo ressalva apenas nos percentuais acima citados.

O mesmo se observa quando da quantidade do rejeito mineral Birra, pois, quanto menor a quantidade do agregado miúdo, maior a resistência, embora essa relação também não seja linear, isto é a retirada da fração da Birra afeta de forma mais agressiva a resistência do material uma vez que o acréscimo da vermiculita proporciona uma reta mais linear decrescente conforme apresenta o gráfico 11.

Desta forma, o que se buscou foi determinar um traço cuja relação agregado miúdo (Birra), vermiculita expandida e água proporcionasse uma argamassa de uso múltiplo, atendendo às recomendações técnicas, e com de baixo valor de produção. A pesquisa mostrou que se referindo à resistência á compressão simples, o traço em que a vermiculita entra com percentual próximo de 20 a 30% seria o mais indicado, já que neste

caso a relação de água de amassamento da amostra permanece inalterada, o que explica uma relação estável, contribuindo assim para uma maior resistência do material. Essa relação ficou na ordem de 1,02, o que de certa forma é interessante já que não é comum argamassas com fator tão elevado, pois as mais comuns têm esse número por volta de 0,5, ou seja, bem abaixo do encontrado para esse tipo de argamassa.

Outro fator importante é a comparação dos resultados determinados nas proporções e os estabelecidos nas normas. Os dados da pesquisa mostram que se necessário, é possível uma redução considerável na quantidade de cimento Portland nas misturas. Isso fica evidente quando se compara os valores apresentados no gráfico abaixo traz elementos conclusivos em relação a afirmação, de fato mesmo quando da mistura em que se utiliza um percentual de 45% de vermiculita, quando atingidos os 28 dias determinados pela norma, esta apresenta um resistência acima dos 2 MPa, ou seja, a critério de uso, essa massa de cimento poderia ser substancialmente reduzida, o que efetivamente contribuiria na redução dos custos e consequentemente na matriz energética e com isso uma redução de poluentes na atmosfera .

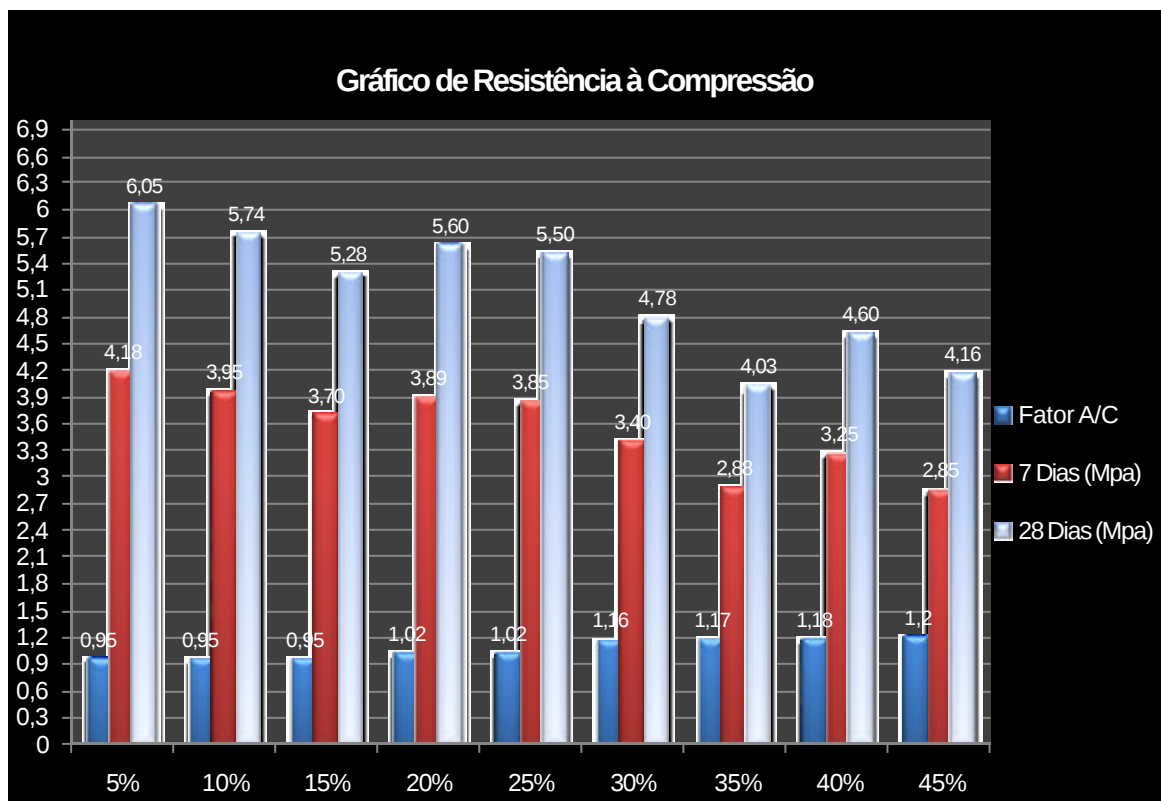


Gráfico 11- Resistência à compressão Simples (MPa)

Resistência à tração por Flexão

Em relação à resistência a tração por flexão, os resultados encontrados ficaram todos dentro do mínimo estabelecido pela norma, ou seja, de 2 MPa. Estes também apresentaram resultados muito semelhantes aos comentados acima, mas frisando apenas que, devido à baixa resistência e à baixa precisão do equipamento de ensaio não foi possível determinar o desvio máximo desses traços. Outro fator a se considerar é que nesse ensaio buscou-se apenas estabelecer valores mínimos da norma assim esses valores seriam de menor relevância, merecendo um estudo mais detalhado em outra oportunidade.

Resistência à Aderência

Os dados referentes à resistência à aderência são apresentados no gráfico 12 abaixo.

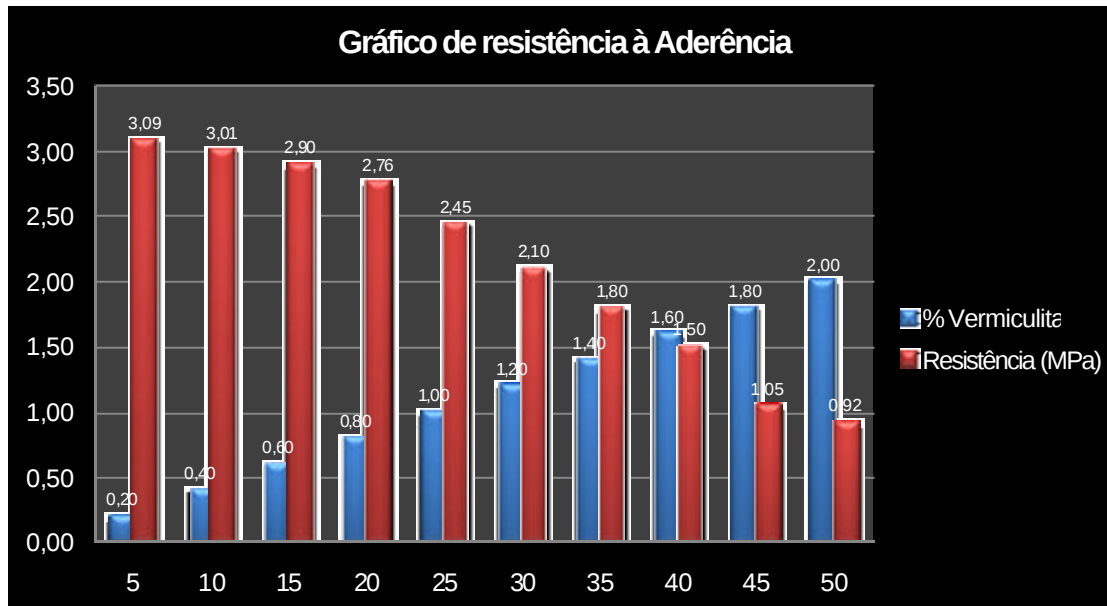


Gráfico 12- Resistência à aderência

O gráfico 12 traz dados e valores referentes à resistência à aderência, onde podemos verificar o desempenho dos materiais unidos em proporções crescentes (para a

vermiculita expandida) e decrescentes, no caso do rejeito de caulim (birra). Pelos resultados nota-se uma ligeira queda da resistência à flexão por tração quando os valores da vermiculita expandida adicionada a massa de cimento, água e rejeito de caulim se aproximam dos 20% como ocorreu quando do ensaio à compressão simples. Tal fato confirma a tendência desse percentual, ou seja, entre 5% a 20%, a queda de resistência se comporta de maneira mais suave, e isto se verifica quando o valor chega próximo dos 30%, onde se percebe novamente uma linearidade entre os valores de forma decrescente, como podemos observar no gráfico acima. Desta forma, fica evidente que em termos de resistência a tração por flexão esses valores seriam os mais recomendados, levando-se em consideração apenas esse fator.

Outro ponto a se considerar foi à alta resistência apresentada quando adicionada à argamassa os primeiros percentuais da vermiculita expandida à massa. Estes valores se encontram bem acima do estabelecido por norma, que é de 2 MPa, isto implicaria numa menor quantidade de cimento no produto que se justificaria pela redução dos custos de produção da argamassa, pois não haveria, a princípio, uma grande quantidade de cimento afim de se atender a parâmetros técnicos, já que mesmo com a quantidade máxima de vermiculita no traço, o valor estabelecido em norma seria ultrapassado quase que por duas vezes.

Isolamento Térmico

O gráfico 13 traduz os resultados obtidos durante a execução de medição de temperatura das faces dos blocos cerâmicos. Este ensaio foi realizado em dias de intensa irradiação solar, mantendo-se sempre um horário fixo, de 10h00minh da manhã até as 14h00minh, durante 4 dias. A princípio, a leitura deveria seguir em dias consecutivos, mais tarde se verificou impossível devido a alterações climáticas. Essas leituras eram feitas sempre no intervalo de 1 hora em 1 hora. No final de cada dia fez-se sempre quatro leituras em cada placa. As placas foram todas com uma espessura de 12 cm, sendo de 10 cm do bloco cerâmico e de 2 do revestimento da argamassa. As placas foram dispostas sempre em ordem crescente de acréscimo de vermiculita adicionada no traço, devendo também as mesmas ficarem enfileiradas e expostas à irradiação solar com inclinação de

15 graus de forma a absorver a máxima quantidade de calor. Com auxílio de um termômetro a laser com precisão de 0.1°C , mediu-se a temperatura em cinco pontos de cada placa, sendo estes localizados nos quatro cantos das planas e mais um no centro, fazendo-se a leitura e anotando-se os dados. Este processo se repetia na mesma placa no lado inferior, ou seja, aquele que não recebia irradiação solar e se comparava os dados, de forma que ao final de cada dia se obtinha 450 (quatrocentos e cinquenta) leituras. Após isso se calculou a média das temperaturas e o resultado foi comparado com as leituras do próximo dia. Passados quatro dias o que se viu foi que não houve grandes oscilações de temperatura de um dia para outro, não só em relação às faces das placas como em percentuais de vermiculita de modo que o desvio padrão dos resultados individuais de cada placa foi mínimo nas duas faces. O gráfico 13 abaixo traz o resumo destes resultados. Pode-se observar no que a variação de temperatura foi muito considerável entre faces, o mesmo se verifica quando da mudança de traço em percentual, ou seja, quanto maior a quantidade de vermiculita na amostra maior é a capacidade da argamassa de apresentar isolamento térmico, como esperado. Com relação ao rejeito de caulim este se comporta quase que como uma areia média (Quartzo), assim não influencia relevantemente nessa característica. Com relação à resistência supracitada não se observa nenhuma modificação importante a se considerar, pois como se vê as temperaturas nas faces inferiores das placas vai diminuindo com acréscimo de vermiculita de forma linear.

Outra observação importante é o fator de empacotamento, verificado em cada proporção de vermiculita devido à variação da densidade do corpo de prova. Com o acréscimo deste mineral o fator de empacotamento diminui, consequentemente reduz consideravelmente a densidade da argamassa, portanto este material pode ser utilizado como elemento de substituição de outro que tenha densidade elevada e assim diminuir esforços nas estruturas, fator esse bastante importante.

Cabe ainda uma observação em relação ao fato de esta argamassa possuir elevado grau de porosidade, limitando seu uso a ambientes livres de umidade já que este sendo grande absorvente de água poderia servir de meio de culturas para alguns microorganismos como fungos etc., portanto fica feito o registro.

Por fim foi estudado, para comparação dos resultados, qual o comportamento da argamassa em relação à resistência do material à compressão e a resistência à passagem

de calor sem a adição da vermiculita expandida, e os resultados estão apresentados nos gráficos em anexos.

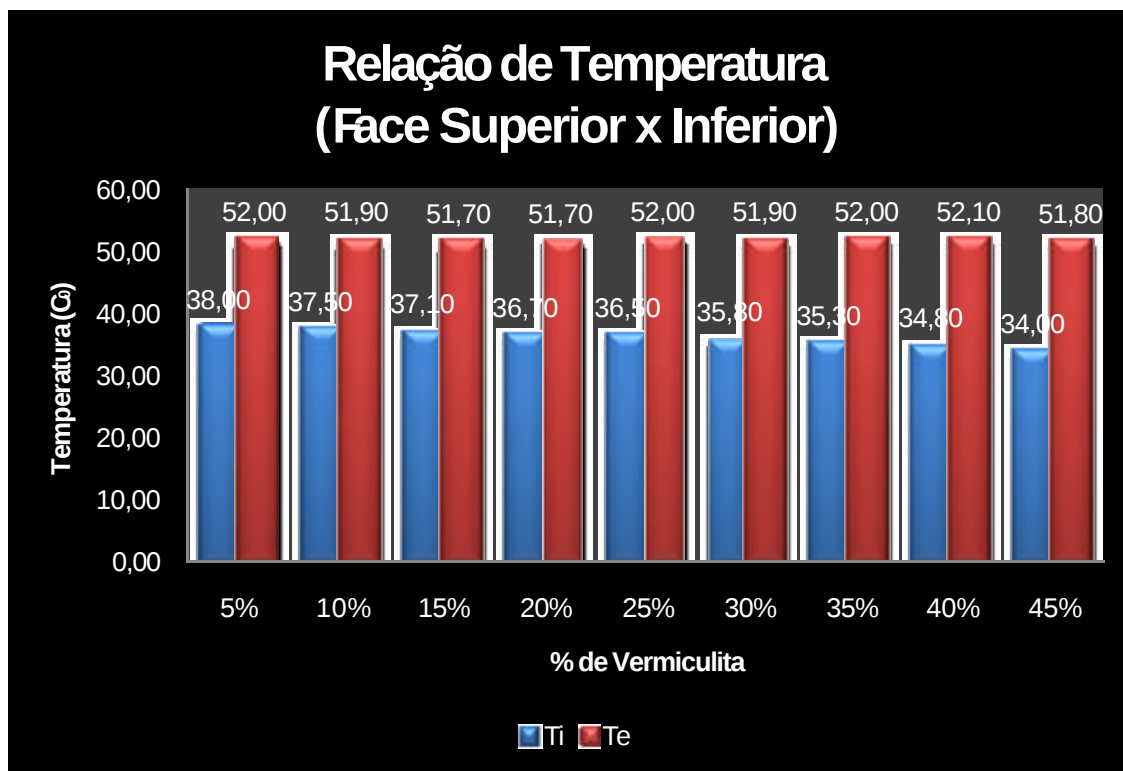


Gráfico 13 – Gradiente de temperatura

Ti – Temperatura interna da placa

Te – Temperatura externa da placa

8.0 - CONSIDERAÇÕES FINAIS

Verifica-se que o material estudado está em conformidade com normas técnicas referentes às argamassas de assentamento e revestimento, portanto, desde que guardadas as recomendações estabelecidas neste estudo, pode-se afirmar que este material apresenta excelentes características térmicas e acústicas, sendo assim mais uma opção para o mercado consumidor.

Outro fator de extrema relevância é o fato de esta pesquisa possibilitar uma alternativa para um grave problema ambiental que é o que fazer e onde dispor os resíduos da produção de caulim.

A mineração do Estado da Paraíba é um grande gerador desse resíduo, logo este estudo traz uma opção ambiental sustentável para essa problemática.

Outro ponto a se considerar seria o custo de produção desse material, que é significativamente bem menos oneroso de que as argamassas convencionais, pois um dos principais componentes, a Birra, basicamente seria o custo de transporte, assim esse elemento estaria sendo colocado no mercado a preços acessíveis. Outra hipótese é a substituição do agregado miúdo, a areia, elemento indispensável para esse tipo de argamassa, pelo rejeito, isso contribuiria substancialmente na preservação das jazidas de areia e assim evitando a degradação do meio ambiente.

Ao final do trabalho foi desenvolvida uma nova argamassa com propriedades termo-acústica;

Devido à vermiculita reter água na sua estrutura, observamos que há um limite de absorção na qual se obtém uma máxima Resistência mecânica.

A pesquisa mostra um direcionamento para o aproveitamento de rejeito de caulim com maior valor agregado, assim como sinalizar para a o aprimoramento das unidades de processamento de rejeito de caulim, principalmente, com relação aos equipamentos de cominuição/classificação.

Observamos ainda que um dos gargalos tecnológicos para a ampla utilização da vermiculita na construção civil são as técnicas de expansão da vermiculita, que utiliza fornos inadequados para expansão.

9 - SUGESTÕES FUTURAS

Avaliar o comportamento mecânico desta argamassa com traços com outros tipos de resíduos visando menor consumo de cimento

Estudar a mistura dos dois materiais oriundos do resíduo do caulim (Birrás e Borra), para se obter um material com fator de empacotamento maior e assim produzir-lo com características físicas majoradas.

Estudar processos alternativos de pesquisas geológicas do resíduo visando melhorar a extração da borra, que possui maior valor agregado.

Estudar as potencialidades do rejeito industrial do caulim como material de substituição do agregado miúdo na confecção de argamassas de assentamento e revestimento.

Acompanhar a absorção de água da vermiculita expandida para melhor determinação do fator água cimento nos traços. .

Analisar melhor os rejeitos visando o aproveitamento integral dos constituintes minerais que o formam: Mica, minerais metálicos e quartzo, através de técnicas de processamento mineral.

Estudar a viabilidade da aplicação de hidrociclonagem para classificação do minério de caulim.

10 – NOM ENCLATURAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
NBR	Norma Brasileira Registrada
A/C	Fator água/cimento
Al	Alumínio
Al_2O_3	Óxido de Alumínio
ASTM	American Society for Testing and Materials
BET	Braunauer, Emmet e Teller, técnica de caracterização de parâmetros como área superficial e tamanho de partícula.
CaO	Óxido de Cálcio
CaSO_4	Sulfato de Cálcio
$^{\circ}\text{C}$	Grau Celsius
CONSITRA	Consórcio Setorial Para Inovação e Tecnologia de Revestimento de argamassa.
DNPM	Departamento Nacional de Produção Mineral
DRX	Difração de Raios X.
Fe_2O_3	Óxido de Ferro
LABEME	Laboratório de Ensaios de Estruturas e Materiais
K^{+}	Potássio
MgO	Óxido de Magnésio
Na^{+}	Sódio
NaSO_4	Sulfato de Sódio
RCS	Resistência à Compressão Simples
SiO_2	Óxido de Silício
Ti	Temperatura interna da Placa.
Te	Temperatura externa da Placa.
t	toneladas

T.U.P	Traço Unitário em Peso
µm	Micrômetro
PPGEMinas	Programa de Pós- Graduação em Engenharia Mineral
PROX	Reação de oxidação seletiva ou oxidação preferencial
WGS	Water gas shift
WGSR	Water gas shift reaction
HTS	High temperature shift
LTS	Low temperature shift
MME	Ministério das Minas e Energia
OIE	Oferta de energia interna
UFSCar	Universidade Federal de São Carlos
UFCE	Universidade Federal do Ceará
UFBA	Universidade Federal da Bahia
UFCG	Universidade Federal de Campina Grande
UFPB	Universidade Federal da Paraíba
USGS)	Mineral Commodity Minerals Summarie
UAEMa	Unidade Acadêmica de Engenharia de Materiais
MEV	Microscopia Eletrônica de Varredura

11 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, S M. Desenvolvimento de compósitos duráveis e resistentes através da substituição parcial do cimento por resíduo da indústria cerâmica. 2002. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica), Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9937: Agregado - Determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do Frasco Chapman. Rio de Janeiro, 1987

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR-7251, Agregado em estado solto - Determinação da massa unitária, Associação Brasileira de Normas Técnicas, Agregado, Rio de Janeiro 1982;

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7224: Agregado – Determinação da composição Granulométrica. Rio de Janeiro, 1994

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM C 270 - Standard Specification Mansory Cement. EUA, 1982.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. Standard Specification for Masonry Cement. ASTM C 91. EUA. 1999.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS NBR 7211: Agregados para concreto - Especificação. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7224: Agregado – Determinação da composição Granulométrica. Rio de Janeiro, 1994.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13280: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da densidade de massa aparente no estado endurecido. Rio de Janeiro, 1995.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13281 – Argamassas de assentamento e revestimento: requisitos. Rio de Janeiro, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6474 - Cimento Portland e outros materiais em pó: Determinação da massa específica. Rio de Janeiro, 1984.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5751 - Índice de atividade pozolânica com a cal. Rio de Janeiro, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13528: Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas – determinação da resistência de aderência à tração. Rio de Janeiro, 1995.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9778 – Argamassa e Concreto Endurecido – Determinação da absorção de água por imersão – Índice de vazios e Massa específica. Rio de Janeiro 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR-9776, Agregados – Determinação da massa específica de agregados miúdos por meio de frasco de Chapman, Rio de Janeiro 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR-13276: Argamassa para assentamento de paredes e tetos - Determinação do teor de água para obtenção do índice de consistência padrão. Rio de Janeiro, 1995.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7215 - Cimento Portland - Determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro, 1994

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICA. NBR13279 - Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão, Rio de Janeiro, 1996.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR-5739: Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos de concretos e argamassas. Rio de Janeiro, 1994.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR13276- Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Preparo da mistura e determinação do índice de consistência, Rio de Janeiro, 1996.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10520: Informação e documentação: citações em documentos: apresentação. Rio de Janeiro, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6027: Informação e documentação: numeração progressiva das seções de um documento escrito: apresentação. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6023: Informação e documentação: referências: elaboração. Rio de Janeiro, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6028: Informação e documentação: resumo: apresentação. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14724: Informação e documentação: trabalhos acadêmicos: apresentação. Rio de Janeiro, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7251. Agregado em estado solto - Determinação da massa unitária. Rio de Janeiro 1982

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9778: Argamassa e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água por imersão, índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro, 1987

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9779: Argamassas e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água por capilaridade. Rio de Janeiro, 1995

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. R10405- MB2775- Vermiculita expandida - Determinação de massa específica aparente por compactação, 1996.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. BR10406- Vermiculita expandida - Determinação da umidade. Rio de Janeiro, 1996.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. BR11355- Vermiculita expandida - Análise granulométrica.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. R10406 MB1867- Vermiculita expandida - Determinação da umidade, Rio de Janeiro, 1988.

BOLORINO, H.; CINCOTTO, M. A. Influência do tipo de cimento nas argamassas. In: I Simpósio Brasileiro de Tecnologia de Argamassas, 1997, Salvador. Anais. 1997, CD-ROM

BEAUDOIN J. J. Properties of Portland cement paste reinforced with mica flakes. Cement and Concrete Research, v. 13, 1983.

CARNEIRO, A. M. P. Contribuição ao estudo da influência do agregado nas propriedades de argamassas compostas a partir de curvas granulométricas. Tese (Doutorado em Engenharia Civil), Escola Politécnica de São Paulo, São Paulo, 1999

CINCOTTO, M. A.; SILVA, M. A. C.; CASCUDO, H. C. Argamassas de revestimento: características, propriedades e métodos de ensaio. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1995. Boletim Técnico n. 68

CLARK, Kenneth. The Potter's Manual. London: Quarto Publishing Limited, 1992.

CONAMA – Resolução 313 de 29 de outubro de 2002. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res02/res31302.htm>>, acesso em nov de 2006.

COOLBEK, John. Materiales para el Ceramista. Barcelona: Ediciones CEAC, 1ª. Ed. Española, 1989.

DO Ó, S. W. Análise da Retenção de água em argamassas de revestimento aditivadas. 2004. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) UnB, Brasília, 2004.

FIORITO, A. J. S. Manual de argamassas de revestimento: estudos e procedimentos de execução. 2 ed. São Paulo, Pini, 2005.

FILHO, A. C. B. Bambu: generalidades e seu emprego como reforço em vigas de concreto. 2004. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2004.

GUIMARÃES, J. E. P. A cal – fundamentos e aplicações na engenharia civil. 2. ed. São Paulo: Pini, 2002.

LIMA, J. M. Estudo de aproveitamento do resíduo do beneficiamento de caulim como matéria prima na produção de pozolanas para cimentos compostos e pozolânicos. 2004. Dissertação (Mestrado em Engenharia civil), UFPA, Belém - PA, 2004.

LUZ, Adão Benvindo, LINS, Fernando Antonio Freitas – Rochas e Minerais Industriais: usos e especificações/Ed, Rio de Janeiro, CETEM/MCT/2005.

LEACH, Bernard. Manual del Ceramista. Barcelona: Editorial H. Blume, 1ª. Ed. Española 1981.

LIRA, B.B, 2006, Comunicação Pessoal e notações de aulas.

LIRA, B.B, 2007, Comunicação Pessoal e notações de aulas.

MASSAZZA, F. Pozzolanic Cements. Cement & Concrete Composites, v. 15, 1993.

MATTOS, L. R. DA S. de. Identificação e caracterização das argamassas para revestimento externo utilizadas na cidade de Belém-PA. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) UFPA, Belém – PA, 2003.

MEHTA, P.K.; MONTEIRO, P.J.M. Concreto: estrutura, propriedades e materiais. 1-º ed. São Paulo: PINI, 1994.

NAKAKURA, E. H. Análise e classificação das argamassas industrializadas.

NBR 13281 e a Meruc. 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), USP, São Paulo, 2003.

NASCIMENTO PAULO, R. S. V. M. Caracterização de argamassas industriais. Dissertação (Mestrado em Gestão Ambiental, Materiais e Valorização de Resíduos), Universidade de Aveiro, Aveiro – Portugal, 2006.

NETO P. N. de S.; RODRIGUES J. K. G.; SILVA JÚNIOR F. ALVES DA; GUIMARÃES L. C. Utilização do resíduo com origem no processamento do caulim como filler em misturas asfálticas. In 35-ª Reunião Anual de Pavimentação, 2004, Rio de Janeiro. Anais... 2004, CD-ROM.

NEVILLE, A. M. Propriedades do concreto. Trad. Salvador E. Giammuso, São Paulo 2 ed. 1997.

NÓBREGA, Aline Figueirêdo da. Potencial de aproveitamento de resíduos de caulim paraibano para o desenvolvimento de argamassas de múltiplo uso.(Dissertação em Engenharia Urbana, Universidade Federal da Paraíba, 2007).

NÓBREGA, A.F, DANTAS, K.C.B., OLIVEIRA, M.P., TORRES, S.M., BARBOSA, N.P. Avaliação do desempenho de argamassas com o uso de rejeito de caulim industrial como material de substituição do cimento Portland. In: Conferência Interamericana sobre Materiais e Tecnologias não-convencionais na Construção Ecológica e Sustentável, 2005, Rio de Janeiro. Anais. Rio de Janeiro, IAC-NOCMAT, 2005 – CD-ROM.

ROLIM, H.O. Potencial de uso agrícola do rejeito de caulim. Dissertação (Mestrado em Agronomia), UFPB, Areia, 2003.

OLIVEIRA, M.P. Estudo de um caulim calcinado do estado da Paraíba como material de substituição parcial do cimento Portland. 2004. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola), UFPB, Campina Grande, 2004.

QUEIROZ, V. DO S. O. de ; PIMENTEL, S. R. DE O.; MARTINS, M. L.; SOUZA, P. S. L. Avaliação comparativa do desempenho da argamassa de cimento e areia com resíduo da indústria de beneficiamento do caulim. In: VI Simpósio Brasileiro de Tecnologia de Argamassas, 2005, Florianópolis. Anais... 2005, CD-ROM.

NORTON, F.H. Ceramica para el Artista Alfarero. México:C.E.C.S.A.,12ª. Impresión, 1976.

VIEIRA, Álvaro. Tecnologia dos Solos. Universidade Federal do Ceará, 1998

SILVA, N. G. da. Argamassa de revestimento de cimento, cal e areia britada de rocha calcária. Dissertação (Mestrado em Construção Civil), UFPR, Curitiba, 2006.

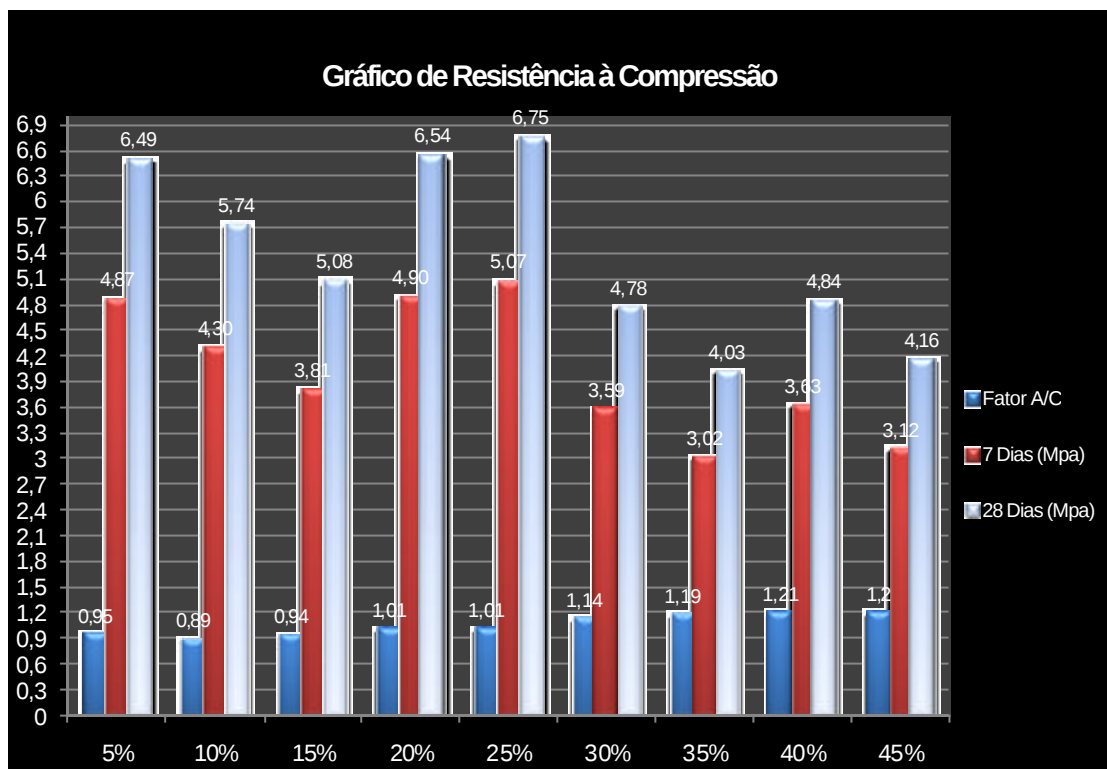
SILVA, N. G. DA; BUEST, G.; CAMPITELI, V. C. – Argamassas com areia britada: influencia dos finos e da forma das partículas. In: VI Simpósio Brasileiro de Tecnologia de Argamassas, 2005, Florianópolis. Anais... 2005, CD-ROM.

SOUSA, J.B.M. Ocorrência, distribuição e variabilidade granulométrica da argila caulim nos pegmatitos das regiões de Equador e Junco do Seridó-PB. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Minas) - Centro de Ciências e Tecnologia, UFPB, Campina Grande, 1997.

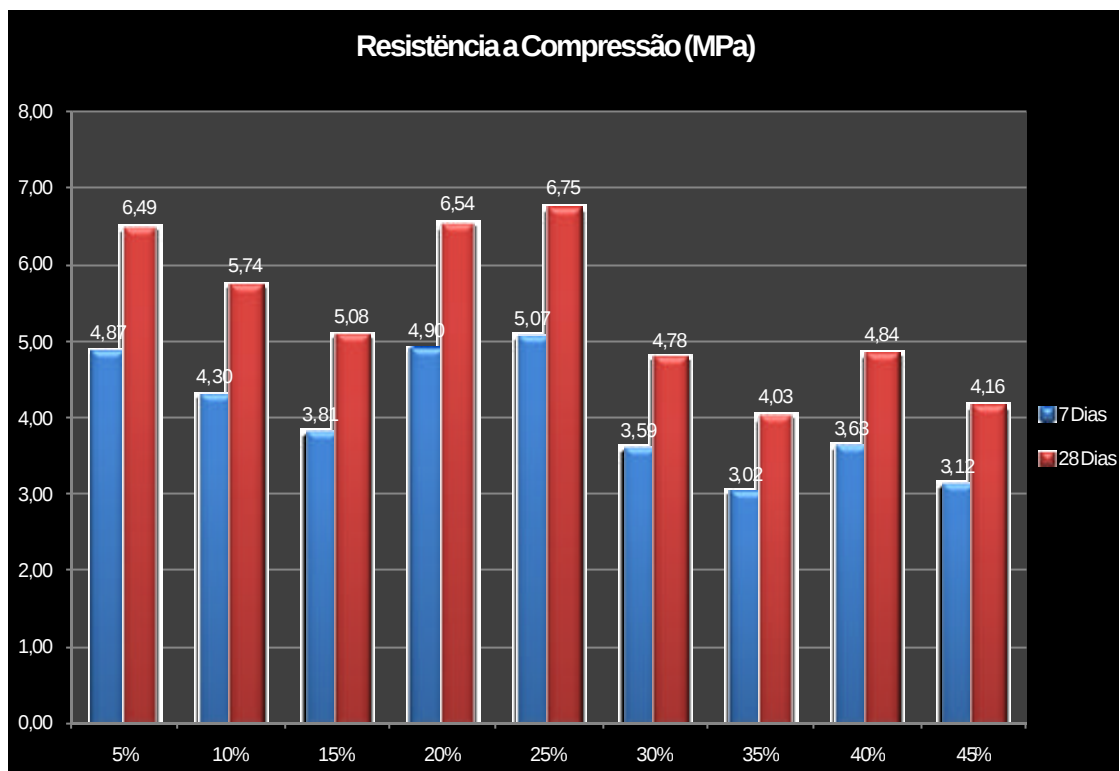
TORRES, S. M. Concreções lateríticas como material de substituição do cimento: estudo de algumas propriedades mecânicas e caracterização por difração de raios x, análise, térmica diferencial e termogravimétrica. 1999. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica), UFPB, João Pessoa, 1999.

Zevin L. S., Kimmel G., Quantitative X-ray Diffractometry, Springer verlog, New York, Inc., 1999.

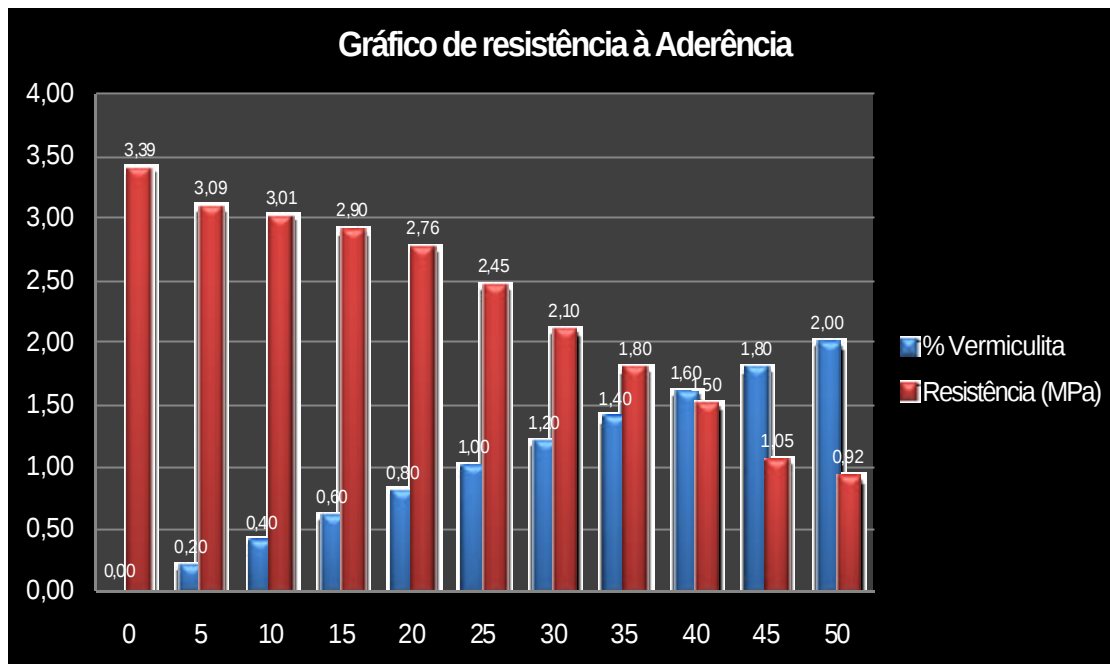
ANEXOS



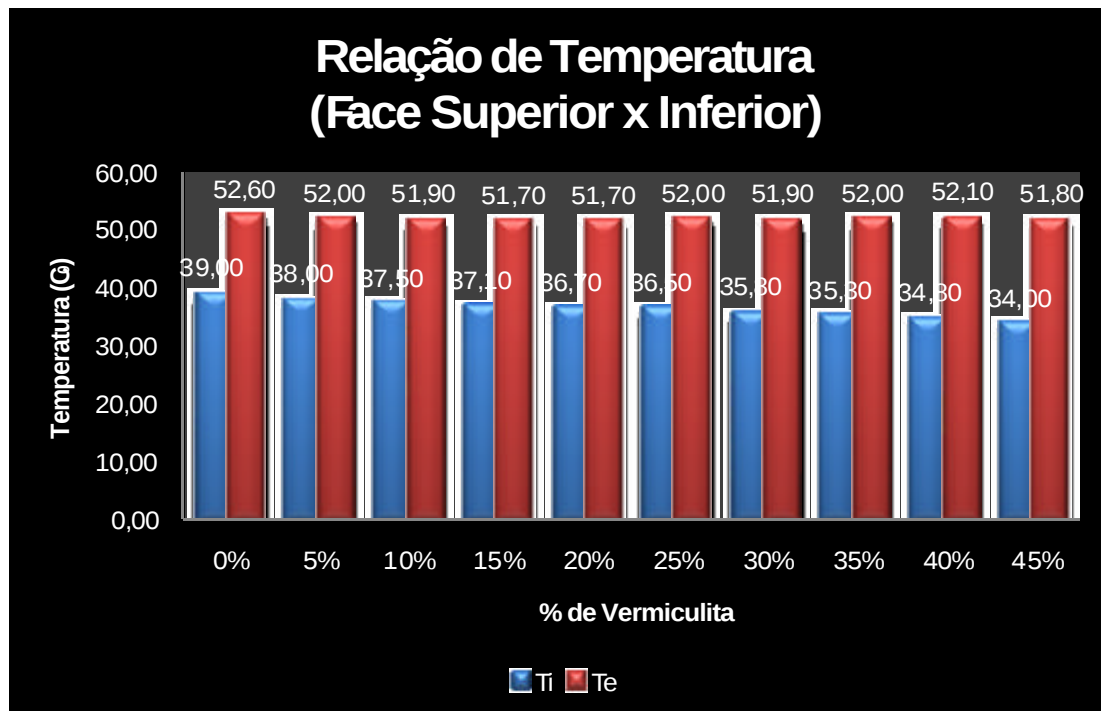
Anexo 01 – Gráfico de resistência à compressão em moldes cilíndricos



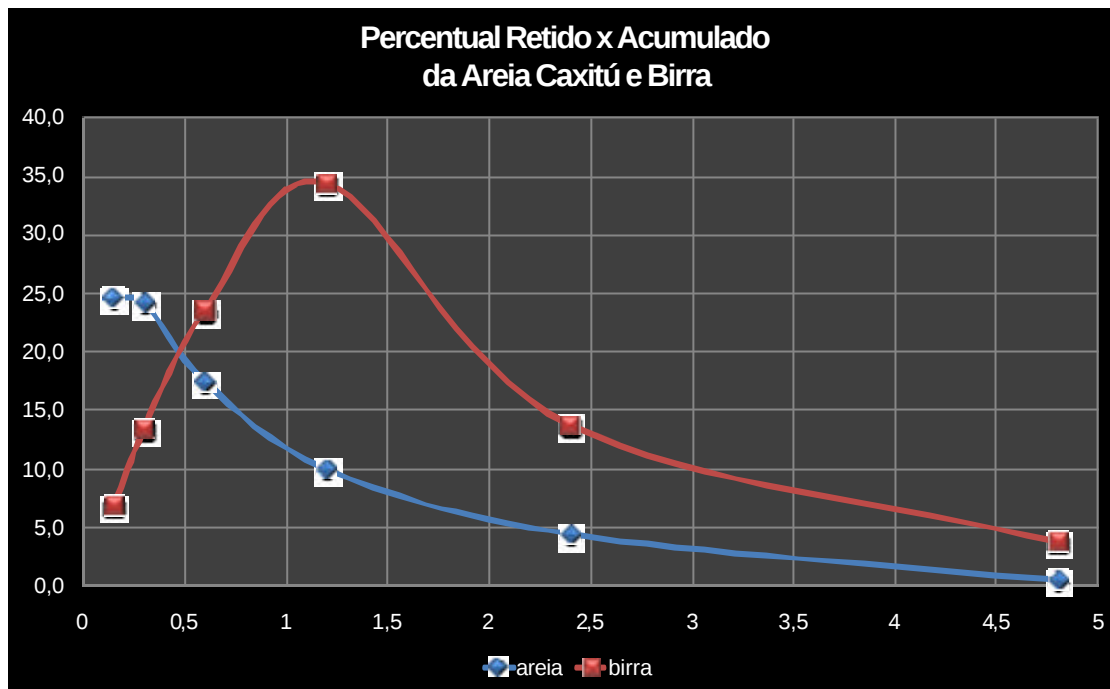
Anexo 02 – Gráfico de resistência à compressão em moldes cilíndricos (MPa)



Anexo 03 - Gráfico de Resistência à aderência (Mpa)



Anexo 04 - Gráfico de Resistência ao Calor.



Anexo 05 - Gráfico de percentual retido x acumulado da areia Caxitú e Birra