



Universidade Federal do Rio de Janeiro

CCMN - Centro de Ciências Matemáticas e da Natureza

Instituto de Geociências

DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA

CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA DOS MILONITOS DA ÁREA DE SANTO ANTÔNIO DE PÁDUA E SEUS POSSÍVEIS USOS NA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO CIVIL

RODRIGO RODRIGUES DE ASSIS DA COSTA BEZERRA

**ORIENTADORES : EMÍLIO VELLOSO BARROSO
SUELI APARECIDA FERREIRA**

RELATÓRIO DE ESTÁGIO DE CAMPO IV

**RIO DE JANEIRO
JANEIRO DE 2004**

Esta monografia de fim de curso, junto com sua defesa oral pública, é parte integrante da disciplina Estágio de Campo IV, código IGLU05, turma IGC, e é parte dos requisitos para a obtenção do título de Geólogo, pelo Departamento de Geologia da Universidade Federal do Rio de Janeiro.

ÍNDICE

| | |
|---|----|
| I - Índice de Fotos ----- | V |
| II - Índice de Tabelas ----- | VI |
| III - Agradecimentos ----- | IX |
| | |
| 1 - Introdução ----- | 1 |
| 1.1 - Objetivos ----- | 1 |
| 1.2 – Metodologia ----- | 2 |
| | |
| 2 - A Indústria de Rochas de Santo Antônio de Pádua ----- | 3 |
| 2.1 – Localização ----- | 3 |
| 2.2 – Aspectos Fisiográficos ----- | 3 |
| 2.3 – Breve Histórico da Atividade na Região----- | 4 |
| 2.4 – Aspectos econômicos e Produtivos----- | 5 |
| 2.4.1 – Caracterização dos Produtos----- | 5 |
| 2.4.2 – Lavra e Beneficiamento----- | 6 |
| 2.5 – Aspectos Ambientais----- | 12 |
| | |
| 3 Geologia Regional----- | 14 |
| 3.1 - Agrupamento 1----- | 15 |
| 3.1.1 - Unidade Bela Joana ----- | 15 |
| 3.1.2 - Leptito Serra das Frecheiras ----- | 15 |
| 3.1.3 - Diques Máficos ----- | 16 |

| | |
|---|-----------|
| 3.2 - Agrupamento 2 ----- | 16 |
| 3.2.1 - Unidade Santo Eduardo ----- | 16 |
| 3.2.2 - Unidade Serra Vermelha ----- | 16 |
| 3.2.3 - Unidade Macuco ----- | 16 |
| 3.3 – Geologia Estrutural ----- | 17 |
| 3.4 – Geologia Local ----- | 18 |
| 3.4.1– Gnaisse Milonitizado (Milonito Gnaisse) ----- | 18 |
| 3.4.2 - Gnaisse Bandado ----- | 20 |
| 3.4.3 - Granulito ----- | 20 |
| | |
| 4 Caracterização Tecnológica ----- | 21 |
| 4.1– Introdução ----- | 21 |
| 4.2 – Finalidade dos Materiais Rochosos ----- | 22 |
| 4.2.1 – Concreto Hidráulico ----- | 25 |
| 4.2.2 – Concreto Betuminoso ----- | 27 |
| 4.2.3 – Lastro de Ferrovia ----- | 28 |
| 4.2.4 – Pedras de Revestimento ----- | 29 |
| 4.3 – Ensaio Tecnológicos ----- | 31 |
| 4.3.1 – Petrografia ----- | 31 |
| 4.3.2 – Índices Físicos ----- | 33 |
| 4.3.2.1 – Considerações Preliminares ----- | 33 |
| 4.3.2.2 - Metodologia ----- | 34 |
| 4.3.2.3 – Resultados ----- | 35 |

| | |
|---|-----------|
| 4.3.3 – Ensaio de Forma ----- | 37 |
| 4.3.3.1 – Considerações Preliminares ----- | 37 |
| 4.3.3.2 – Metodologia ----- | 37 |
| 4.3.4 – Dilatação Térmica Linear ----- | 40 |
| 4.3.4.1 – Considerações Preliminares ----- | 40 |
| 4.3.4.2 – Metodologia ----- | 40 |
| 4.3.5 – Resistência ao Esmagamento ----- | 42 |
| 4.3.5.1 – Considerações Preliminares ----- | 42 |
| 4.3.5.2 – Metodologia ----- | 42 |
| 4.3.5.3 – Resultados ----- | 43 |
| 4.3.6 – Resistência à Flexão ----- | 45 |
| 4.3.6.1 – Considerações Preliminares ----- | 45 |
| 4.3.6.2 – Metodologia ----- | 45 |
| 4.3.6.3 – Resultados ----- | 46 |
| 4.3.7 – Adesividade ----- | 47 |
| 4.3.7.1 – Considerações Preliminares ----- | 47 |
| 4.3.7.2 – Metodologia ----- | 47 |
| 4.3.7.3 – Resultados ----- | 47 |
| 4.3.8 – Resistência ao Impacto de Corpo Duro ----- | 49 |
| 4.3.8.1 – Considerações Preliminares ----- | 49 |
| 4.3.8.2 – Metodologia ----- | 49 |
| 4.3.9 – Abrasão Los Angeles ----- | 52 |
| 4.3.9.1 – Considerações Preliminares ----- | 52 |

| | |
|---|----|
| 4.3.9.2 – Metodologia ----- | 52 |
| 4.3.9.3 – Resultados ----- | 54 |
| 4.3.10 – Velocidade de Propagação~de Ondas Elásticas ---- | 57 |
| 4.3.10.1 – Considerações Preliminares ----- | 57 |
| 4.3.10.2 – Metodologia ----- | 57 |
| 4.3.13.3 – Resultados ----- | 59 |

Índice de Fotos

| | | |
|----------------|--|----|
| Foto 1: | Área degradada ----- | 5 |
| Foto 2: | Instrumentos utilizados na extração dos blocos do maciço----- | 07 |
| Foto 3: | Malha para a extração de blocos menores----- | 07 |
| Foto 4: | Bloco deslocado do maciço ----- | 08 |
| Foto 5: | Corte das placas na serraria----- | 09 |
| Foto 6: | Galpão de armazenagem das lajotas já beneficiadas ----- | 09 |
| Foto 07: | Montanha de rejeito às margens da estrada----- | 10 |
| Foto 08: | Tanque de decantação ineficaz, apresentando transbordamento de material----- | 11 |
| Foto 09: | Resíduos do tanque da foto anterior poluindo o córrego Bom Jardim, afluente do Rio Pomba----- | 12 |
| Foto 10: | Vista da máquina durante o ensaio de esmagamento----- | 43 |
| Foto 11: | Vista do material após o carregamento----- | 44 |
| Fotos 12 e 13: | Ensaio de flexão em andamento e conclusão----- | 46 |
| Foto 14: | Vista das amostras de “ Pinta Rosa “ com DOPE----- | 48 |
| Foto 15: | Vista das amostras de “ Pinta Rosa “ sem DOPE----- | 48 |
| Fotos 16 e 17: | Vista do ensaio de resistência ao impacto de corpo duro-- | 51 |
| Foto 18: | Tambor para a realização do ensaio de Abrasão Los Angeles----- | 56 |
| Foto 19: | Conjunto de aparelhos utilizados para a medição do tempo de propagação de ondas elásticas----- | 56 |

Índice de Tabelas

| | |
|---|----|
| Tabela 01: Divisão estratigráfica da região de Santo Antônio e Pádua segundo Grossi Sad & Donadello Moreira (1978) e Departamento de Recursos Minerais – DRM (1980) ----- | 14 |
| Tabela 02: Composição mineralógica “ Olho de Pombo “ ----- | 32 |
| Tabela 03: Composição mineralógica “ Pinta Rosa “ ----- | 33 |
| Tabela 04: Resultados, para as amostras de “ Pinta Rosa “, para os ensaios de absorção de água, porosidade aparente e massa específica aparente ----- | 36 |
| Tabela 05: Resultados, para as amostras de “ Olho de Pombo “, para os ensaios de absorção de água, porosidade aparente e massa específica aparente ----- | 36 |
| Tabela 06: Classificação dos fragmentos quanto a sua forma----- | 38 |
| Tabela 07: Classificação dos agregados para a fração $\frac{3}{4}$ ” – 1 “----- | 38 |
| Tabela 08: Classificação dos agregados para a fração 1 “– 1 $\frac{1}{2}$ ”----- | 39 |
| Tabela 09: Classificação dos agregados para a fração 1 $\frac{1}{2}$ ” – 2 “----- | 39 |
| Tabela 10: Valores Calculados por Oliveira, 1998, para a dilatação térmica linear dos tipos litológicos “ Olho de Pombo “ e “ Pinta Rosa “ ----- | 41 |
| Tabela 11: Resultados do ensaio de Resistência ao esmagamento para as litologias “ Pinta Rosa “ e “ Olho de Pombo “----- | 43 |
| Tabela 12: Resultados do ensaio de Resistência à Flexão para as litologias “ Olho de Pombo “ e “ Pinta Rosa “ ----- | 46 |
| Tabela 13: Resultados do ensaio de Impacto de corpo duro para a litologia “ Olho de Pombo “ ----- | 50 |
| Tabela 14: Resultados do ensaio de Impacto de corpo duro para a litologia “ Pinta Rosa “ ----- | 50 |

| | |
|--|-----------|
| Tabela 15: Massa a ser utilizada por graduação para o ensaio de Abrasão Los Angeles ----- | 53 |
| Tabela 16: Número de esferas a serem usadas para cada graduação ----- | 54 |
| Tabela 17: Resultados obtidos de Abrasão Los Angeles para a rocha “ Pinta Rosa “ na graduação A (25 mm a 9 mm) ----- | 54 |
| Tabela 18: Resultados obtidos de Abrasão Los Angeles para a rocha “ Pinta Rosa “ na graduação B (12,5 mm a 9,5 mm) ----- | 55 |
| Tabela 19: Resultados obtidos de Abrasão Los Angeles para a rocha “ Olho de Pombo “ na graduação A (25 mm a 9 mm) ----- | 55 |
| Tabela 20: Resultados obtidos de Abrasão Los Angeles para a rocha “ Olho de Pombo “ na graduação B (12,5 mm a 9,5 mm) ----- | 56 |
| Tabela 21: Resultado do ensaio de propagação de ondas elásticas para a rocha “ Pinta Rosa “ ----- | 59 |
| Tabela 22: Resultado do ensaio de propagação de ondas elásticas para a rocha “ Olho de Pombo “----- | 60 |

Caracterização Tecnológica dos Milonitos da Área de Santo Antônio de Pádua e Seus Possíveis Usos na Indústria da Construção Civil

1 - Introdução

O presente trabalho faz parte da disciplina Estágio de Campo IV, oferecida pelo Departamento de Geologia da Universidade Federal do Rio de Janeiro, no setor de Geologia de Engenharia e Ambiental. O estudo faz parte do projeto EGROM financiado pelo PADCT- FINEP (convenio N^o 88.98.0399.00) e coordenado pelo Prof Henrique Dayan.

1.1 - Objetivos

A utilização dos materiais rochosos em engenharia civil, sem o prévio conhecimento de suas propriedades tecnológicas, pode resultar em uma obra de características funcionais não apropriadas ao fim a que se destina, ou acarretar em um elevado custo de produção e/ou manutenção, uma vez que será necessária a aplicação de elevados coeficientes de segurança. Para evitar o encarecimento da obra é preciso determinar qual o tipo de rocha mais indicado para o empreendimento a ser realizado, e para isso são empregados em laboratório testes, cujos resultados irão descrever e avaliar as características físicas, mecânicas e químicas das rochas, visando prever o comportamento e indicar a adequada utilização de cada litologia.

O presente trabalho enfoca a atividade mineradora Região de Santo Antônio de Pádua, em especial as rochas conhecidas como “ Olho de Pombo “ e “ Pinta Rosa “. Estas duas rochas, assim como outros tipos litológicos que vêm sendo explorados na região, têm sido utilizadas como pedra de cantaria para revestimento. Em aplicações na indústria da construção civil as rochas são submetidas a condições bastante variadas, dentre as quais podemos destacar: atrito, impacto, intemperismo e fadiga térmica. Assim, adequadas caracterizações físicas, químicas e mecânicas são relevantes para que suas aplicações ocorram de maneira correta.

Caracterização Tecnológica dos Milonitos da Área de Santo Antônio de Pádua e Seus Possíveis Usos na Indústria da Construção Civil

Aliado ao interesse econômico temos ainda o ambiental, pois durante o processo de extração e de beneficiamento da rocha é gerada uma grande quantidade de rejeito, o que apresenta relação direta com o perfil da mineração local. O objetivo deste trabalho é investigar a real possibilidade da utilização “ in natura “ do rejeito gerado em outras áreas da construção civil, tais como: agregado para concreto hidráulico, pavimento asfáltico e lastro de ferrovia.

1.2 - Metodologia

O primeiro passo neste processo é a coleta do material, no contexto geológico, as rochas conhecidas popularmente como “ Olho de Pombo “ e Pinta Rosa “. Foram retiradas amostras em blocos de aproximadamente 40 cm de aresta e volume de aproximadamente, $0,064\text{m}^3$, e placas nas dimensões comercializadas em quantidade suficiente para que seja possível a realização dos ensaios tecnológicos necessários a fim de se conseguir obter os resultados para a confecção do presente relatório.

Após a amostragem, as rochas devem passar por uma prévia caracterização tecnológica, envolvendo ensaios e análises que permitam reconhecer suas propriedades físicas, químicas e mecânicas, tais como: (01) Análise petrográfica, (02) Massa Específica Aparente, (03) Porosidade Aparente ou Efetiva, (04) Absorção de Água, (05) Forma dos Fragmentos, (06) Dilatação Térmica Linear, (07) Abrasão Los Angeles, (08) Impacto de Corpo Duro, (09) Resistência ao Esmagamento, (10) Resistência a Tração na Flexão, (11) Adesividade e (12) Velocidade de Propagação de Ondas Elásticas.

Os procedimentos para execução dos ensaios são, em geral, normatizados pela ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). Por vezes foram utilizadas também as normas do IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas) e da ISRM (International Society for Rock Mechanics).

De posse dos dados tecnológicos avaliou-se a adequação do uso da rocha para

Caracterização Tecnológica dos Milonitos da Área de Santo Antônio de Pádua e Seus Possíveis Usos na Indústria da Construção Civil

os fins já mencionados: revestimento, agregado para concreto, pavimento asfáltico e lastro de ferrovia.

2 - A Indústria de Rochas de Santo Antônio de Pádua

2.1 - Localização

A área em estudo localiza-se no Município de Santo Antônio de Pádua, noroeste do estado do Rio de Janeiro, a aproximadamente 256 km da cidade do Rio. Sua área territorial é de 615 km² e sua população é de aproximadamente 60.000 habitantes, de acordo com a Contagem da População - 1996 do IBGE. Tem ao norte o município de Miracema, ao sul Cantagalo, Itaocara e Aperibé, a leste Cambuci e a oeste no Estado de Minas Gerais os municípios de Pirapetinga, Recreio e Palma.

2.2 - Aspectos Fisiográficos

A região possui predominantemente clima quente e úmido, com temperaturas compreendidas entre 4^oC e 38^oC, com média em torno de 21^oC. O Índice de precipitação pluviométrica médio é de aproximadamente 1200mm/ano. O período chuvoso inicia-se em outubro, com aumento progressivo da pluviosidade até dezembro.

O quadro atual apresenta algumas áreas florestais com vegetação remanescente e/ou secundária em distintos estágios de sucessão, principalmente nas porções geograficamente mais elevadas.

Caracterização Tecnológica dos Milonitos da Área de Santo Antônio de Pádua e Seus Possíveis Usos na Indústria da Construção Civil

2.3 - Breve Histórico da Atividade na Região

A atividade extrativa em Santo Antônio da Pádua iniciou-se, ainda, no fim dos anos 50 e início da década de 60, quando as rochas que afloram na região, fáceis de deslocar e propícias a confecção de lajes, passaram a ser aproveitadas no calçamento dos currais da região, sendo por isso comumente chamadas de pedra de curral .

A possibilidade de desdobramento, o fácil beneficiamento do material, produzindo pequenos " ladrilhos " de 11,5 x 23,0 cm e a introdução desse produto no mercado ampliou o número de pedreiras e proporcionou o aparecimento das serrarias. A exploração deste material, cujo preço compete com vantagem com outros tipos de rochas utilizadas para o mesmo fim se intensificou nas décadas da 80 e 90.

Com o crescimento do mercado, ao longo das décadas de 80 e 90, começaram a proliferar pequenas minerações, que trabalham de maneira individual e inteiramente informal, localizadas principalmente às margens da rodovia e em pequenos lugarejos distritais.

No início da década de 90, o DRM/RJ realizou um estudo inicial da atividade no Município, constatando que a grande parte dos empreendimentos não possuía licenciamento mineral (concedido pelo DNPM - Departamento Nacional da Produção Mineral), bem como a totalidade não tinha licença ambiental (concedida pela FEEMA - Fundação Estadual de Engenharia do Meio Ambiente).

As características do material, aliadas a extração por meios artesanais, beleza estética em " estado bruto " e baixo valor de custo, o tornaram um material de rápida aceitação no mercado consumidor, alterando seu uso de simples calçamento de curral para o de rocha de revestimento, principalmente externo, em construção civil.

De um modo geral, as áreas de extração localizam-se nas porções mais elevadas das serras e em função das técnicas rudimentares de lavra, na maioria dos casos, sem nenhum critério técnico, geram inúmeros problemas ambientais, degradando fortemente as áreas adjacentes (foto 01).

Caracterização Tecnológica dos Milonitos da Área de Santo Antônio de Pádua e Seus Possíveis Usos na Indústria da Construção Civil



Foto 1: área degradada.

2.4 - Aspectos Econômicos e Produtivos

2.4.1 - Caracterização dos Produtos

Em virtude da estrutura bem orientada, as rochas da região formam grandes lâminas que se destacam com facilidade, apresentando uma série de variações de tonalidade, podendo após os trabalhos de serragem, produzir lajotas, almofadas e placas utilizadas, "*in natura*", na construção civil como revestimento e pisos, substituindo, com preço bem mais acessível os granitos polidos, mármore e outras rochas existentes.

Caracterização Tecnológica dos Milonitos da Área de Santo Antônio de Pádua e Seus Possíveis Usos na Indústria da Construção Civil

2.4.2 - Lavra e Beneficiamento

Devido a localização das jazidas na vertente das encostas, as operações de lavra desenvolvem-se em sentido contrário às mesmas, aproveitando a declividade natural do terreno.

A lavra executada na região é manual, a céu aberto, pelo processo de cantaria, utilizando explosivos para a separação de grandes placas do maciço rochoso .

A limpeza da área é feita utilizando-se tratores, com os quais efetuam a retirada da vegetação e da camada intemperizada, até que ocorra a exposição da rocha fresca. A rocha exposta é então perfurada manualmente com ponteiras de aço, popularmente conhecidas na região como " pixotes ", " escopos ", " ponteiras " e " macetas" (foto 02). Assim a rocha é fraturada (foto 03), originando um grande bloco deslocado do maciço (foto 04). Após os trabalhadores introduzem, por percussão, pontaletes em pequenas perfurações, até a profundidade aproximada de 10cm, obedecendo uma malha quadrada de 50 x 50 cm. A seguir, introduzem cunhas metálicas nos furos e por sucessivas pancadas nas cunhas, conseguem separar os blocos menores do inicialmente deslocado , cuja profundidade (espessura) varia de acordo com a espessura da rocha separada do maciço (Canha, 1992). Atualmente, procura-se utilizar pouco este método, uma vez que as perdas geradas são muito grandes. Algumas pedreiras utilizam também o *Jet flame*", que consiste em um maçarico que funciona a ar comprimido gerando uma chama de aproximadamente 8.000º C, para a abertura do canal, através da fusão total da rocha. Muito embora dependendo do tamanho e profundidade do corte, o uso desta ferramenta nem sempre agiliza a produção, porém o corte mais controlado evita perdas desnecessárias, o que se gera aumento da produção.

Caracterização Tecnológica dos Milonitos da Área de Santo Antônio de Pádua e Seus Possíveis Usos na Indústria da Construção Civil



Foto 02: Instrumentos utilizados na extração dos blocos do maciço



Foto 03: Malha para a extração de blocos da pedra.

Caracterização Tecnológica dos Milonitos da Área de Santo Antônio de Pádua e Seus Possíveis Usos na Indústria da Construção Civil



Foto 04: Bloco deslocado do maciço.

Os blocos são lançados ao solo, onde sofrem o deslocamento final através de martelos e talhadeiras tipo faca, gerando placas de 50 x 50 x 4 cm, denominadas no local de "laje *natural*". As pedreiras fornecem às serrarias as "lajes naturais", que são então beneficiadas. As serrarias que não possuem mina, adquirem as "lajes naturais" nas diversas minas locais. Nas serrarias as placas são cortadas com o uso de uma serra de disco adiantada (foto 05). Após o corte é feito o acabamento nas arestas laterais, o produto é uma placa de aproximadamente 47 x 47 x 4cm, essa laje é então subdividida em pequenos blocos de 11,5 x 23 x 4 cm. O produto final é obtido quando esses bloquinhos são subdivididos manualmente, com o uso do martelo e ponteiros tipo faca, em peças mais finas com 11,5 x 23 x 1,5cm, denominadas "lajinhas" (foto 06), (Canine, 1992). Todo esse processo, devido ao método rudimentar de beneficiamento, gera grandes quantidades de rejeito (foto 07) , o que traz diversos prejuízos à região.

Caracterização Tecnológica dos Milonitos da Área de Santo Antônio de Pádua e Seus Possíveis Usos na Indústria da Construção Civil



Foto 05: Vista da serra durante o corte e ao fundo o rejeito gerado.



Foto 06: Vista do galpão de armazenagem das lajotas já beneficiadas

Caracterização Tecnológica dos Milonitos da Área de Santo Antônio de Pádua e Seus Possíveis Usos na Indústria da Construção Civil



Foto 07: Montanha de rejeito às margens da estrada.

Os tipos de rocha produzidos e comercializados na região são conhecidos como:

(a) " **Olho de Pombo** ", a mais comum e comercializada, de cor cinza médio com cristais brancos; (b) " **Pinta Rosa** ", de cor cinza média com cristais cor de rosa; (c) " **Granito Fino** ", de coloração cinza; (d) " **Pedra Madeira** ", encontrada nas cores rosa e amarela a branca, (e) " **Ouro Velho** " ou " **Pedra Preta** " ou " **Pedra de Curral** ", de coloração cinza escuro (Canine & Rocha, 1994). As três primeiras são comumente conhecidas como " Pedra Miracema " ou, mais recentemente, como " Pedra Paduana ".

As tipos litológicos abordados neste relatório: " Olho de Pombo " e " Pinta Rosa ", são comercializadas com as seguintes denominações e dimensões:

- " lajinha " : 11,5 x 23 x 1,5cm;
- " bloquinho " : 11,5 x 23 x 4 cm;
- " laje bruta " : 47 x 47 x 4cm.

Caracterização Tecnológica dos Milonitos da Área de Santo Antônio de Pádua e Seus Possíveis Usos na Indústria da Construção Civil

O processo de beneficiamento envolve o desbaste da laje, vinda da frente de lavra, mediante o apicotamento de suas faces maiores e o corte em serras adiamantadas, para a produção de blocos de rocha na forma de paralelepípedos, já cortados e padronizados nas dimensões comerciais, e a subdivisão manual desses paralelepípedos em lajotas mais finas.

A operação de serragem produz grande quantidade de partículas finas, que devem ser carreadas pela água utilizada no resfriamento do disco adiamantado das serras para as caixas de decantação, ficando as partículas finas, na maioria dos casos, depositadas no fundo e a água desviada para os cursos d'água, processo que se torna ineficaz se não houver manutenção periódica nas caixas de decantação, o que foi verificado nas pedreiras visitadas, (foto 08).



Foto 08: Tanque de decantação, ineficaz, apresentando transbordamento de material.

Caracterização Tecnológica dos Milonitos da Área de Santo Antônio de Pádua e Seus Possíveis Usos na Indústria da Construção Civil



Foto 09: Resíduos do tanque da foto anterior poluindo o Córrego Bom Jardim, afluente do Rio Pomba

2.5 - Aspectos Ambientais

A mineração é de um modo geral, uma atividade que pode provocar modificações significativas nas condições ambientais e comprometer a área de extração e suas vizinhanças, não só durante, mas também após o encerramento das atividades. Assim, a mineração, nas suas diversas fases, causa impactos ao meio ambiente, sendo as dimensões desses impactos proporcionais às dimensões do empreendimento, da área de influência, dos critérios técnicos envolvidos e das características do meio na qual está situada. Abaixo-se citam-se os principais impactos ambientais identificados por Nogueira (2000) para a região de Santo Antônio de Pádua:

Caracterização Tecnológica dos Milonitos da Área de Santo Antônio de Pádua e Seus Possíveis Usos na Indústria da Construção Civil

- Alteração dos níveis de ruído : Devido ao pequeno número de equipamentos utilizados, e sua utilização restrita às áreas de lavra;
- Alteração da qualidade do ar : Devido aos gases, que por sua vez, provém das detonações de explosivos, da queima do óleo diesel pelos motores e pelo jet flame . Partículas finas, produzidas na extração e beneficiamento das rochas também contribuem para alterar a qualidade do ar;
- Alteração da qualidade da água : Podendo ocorrer pela contaminação por óleos, graxas e combustíveis, provenientes das máquinas e equipamentos em uso, por esgoto “ *in natura* “ e pela elevação dos níveis de turbidez e de assoreamento, causados pelo carreamento pelas águas superficiais de sedimentos oriundos dos taludes, bota fora, vias de acesso e pátios de estocagem;
- Instabilidade de cortes e aterros : Podendo ocorrer tanto nos taludes escavados em solo e resultantes da fase de extração da rocha, como também em áreas de bota fora;
- Retirada da cobertura vegetal : Decorrente da etapa de preparação das frentes de lavra, sendo mais intenso durante a abertura das futuras frentes de lavra e na criação de estradas e praças de trabalho;
- Alteração paisagística : Alteração da topografia original do terreno, acompanhado do impacto visual decorrente, sendo inevitável, como em toda atividade mineira, e irreversível;

Caracterização Tecnológica dos Milonitos da Área de Santo Antônio de Pádua e Seus Possíveis Usos na Indústria da Construção Civil

3 - Geologia Regional

No presente trabalho é adotada a divisão estratigráfica (tabela 1) , resultado de estudos empreendidos na área de Santo Antônio de Pádua pelo Departamento de Recursos Minerais - DRM (1980). A descrição da geologia regional segue, então, as linhas do acima referido trabalho.

| Divisão | Grossi Sad & Donadello Moreira (1978) | DRM (1980) |
|----------------|--|--|
| Agrupamento 1 | Diques máficos Leptito Serra das Frecheiras Charnockito Serra da Bolívia | Diques Máficos Leptito Serra das Frecheiras Unidade bela Joana |
| Agrupamento 2 | Unidade Macuco Unidade Serra Vermelha Unidade Itaocara | Unidade Macuco Unidade Serra Vermelha Unidade Santo Eduardo |

Tabela 1 - Divisão estratigráfica da região de Santo Antônio de Pádua Segundo Grossi Sad & Donadello Moreira (1978) e Departamento de Recursos Minerais - DRM (1980).

A área objeto de mapeamento do DRM posiciona-se na parte oriental do Estado do Rio de Janeiro a engloba parte dos municípios de Santo Antônio do Pádua, Cambuci, Cantagalo, Itaocara e São Sebastião do Alto.

É importante mencionar que a coluna estratigráfica elaborada pelo DRM (1980), apenas substituiu os nomes das Unidades Itaocara e Charnockito Serra da Bolívia de Grossi Sad e Donadello Moreira (1978), por Unidades Santo Eduardo e Bela Joana, respectivamente.

Caracterização Tecnológica dos Milonitos da Área de Santo Antônio de Pádua e Seus Possíveis Usos na Indústria da Construção Civil

3.1 - Agrupamento 1

3.1.1 - Unidade Bela Joana

A unidade Bela Joana ocupa áreas da Serra de Jose de Melo e Serra da Bolívia, com limites ultrapassando o próprio limite leste da folha.

É composta por rochas da série charnockítica, correspondentes a tipos básicos (gabros e noritos) e intermediários (diorito, tonalito e quartzo monzonito), pois apresenta composição química variável, textura correspondente à de rochas plutônicas, portadoras de hiperstênio, com ou sem clinopiroxênio, biotita e granada. Usualmente, exibem trama equigranular e a paragênese mineral equivale à das rochas da fácies granulito. A origem destas rochas está provavelmente ligada a diferenciação magmática com assimilação parcial das encaixantes.

Foram mapeados dois corpos individuais, numa área de 12 Km² na Serra de José Melo e outra com 25 Km² na Serra da Bolívia. Tratam-se do corpos alongados, lenticulares e contatos que se apresentam bruscos, demonstrando assim caráter de intrusão ao longo de estratos dobrados das rochas encaixantes (Gross Sad & donadello Moreira, 1978).

3.1.2 - Leptito Serra das Frecheiras

São rochas formadas essencialmente por microclina e quartzo, de trama gnáissica muito fina. Distinguem-se dos granulitos por não apresentarem laminação e nem quartzo discoidal em sua composição mineralógica. Tratam-se da rochas intrusivas ígneas, injetadas após a fase de granulitização regional. Dois corpos destas rochas aparecem nos flancos da Serra das Frecheiras, no mesmo local já mencionado por Rosier (1957).

Caracterização Tecnológica dos Milonitos da Área de Santo Antônio de Pádua e Seus Possíveis Usos na Indústria da Construção Civil

3.1.3 - Diques Máficos

Ocorrem corpos em dique, de material diabásico neo metamorfoseado₁ paralelos entre si e arranjados segundo N45⁰E (Grossi Sad & Donadello Moreira, 1978). Tais corpos são atribuídos ao magmatismo Cretáceo terciário do Brasil Meridional. A rocha dos diques apresenta-se esverdeada a cinzenta.

3.2 - Agrupamento 2

O agrupamento 2 apresenta uma sequência original de grauvacas, com intercalações de arenitos, calcários e margas, depositada em ambiente geossinclinal e metamorfizada na fácies anfibolito alto e granulito. Está arranjada segundo uma estrutura sinforme regional e Independentemente da complexidade metamórfica da área, ainda pode ser reconhecida. Esta sequência corresponde ao Grupo Paraíba do Sul ou Série Paraíba-Desengano. Abaixo são sucintamente descritas três unidades do agrupamento 2.

3.2.1 - Unidade Santo Eduardo

A unidade Santo Eduardo aflora na maior parte da falha Santo Antônio de Pádua e desenvolve-se em duas ocorrências distintas flanqueando as rochas das unidades Serra Vermelha a Macuco. A ocorrência de maior incidência ocupa toda a área a nordeste da Serra da Caledônia, exceto nas porções com leptitos e charnockitos, a de menor incidência ocupa o sudeste de Serra Vermelha.

3.2.2 - Unidade Serra Vermelha

Duas faixas da unidade Serra Vermelha foram caracterizadas, uma na Serra da Caledônia e outra na Serra Vermelha. As duas faixas posicionam-se na parte central do

Caracterização Tecnológica dos Milonitos da Área de Santo Antônio de Pádua e Seus Possíveis Usos na Indústria da Construção Civil

sinforme Santa Maria Madalena, cujo núcleo é ocupado pela unidade Macuco (Grossi Sad & Donadello Moreira, 1978).

A faixa da Serra da Caledônia é constituída por anfibólio gnaisses, anfibolitos e mármore calcíticos, predominantemente sobre dolomíticos. Já a Faixa da Serra Vermelha é composta por biotita gnaisses, anfibólio gnaisses, anfibolitos e mármore calcíticos e dolomíticos.

O contato de topo da Unidade Serra Vermelha para a Unidade Macuco apresenta-se transicional.

3.2.3 - Unidade Macuco

A unidade Macuco posiciona-se paralelamente ao curso do Rio Paraíba do Sul e é limitada a noroeste e sudeste por rochas da unidade Serra Vermelha (Grossi Sad & Donadello Moreira, 1978). As exposições da unidade Macuco são pouco aparentes, uma vez que ela ocupa uma zona deprimida entre Serras da Caledônia e Vermelha.

A predominância de biotita - gnaisses e presença de biotita - granada gnaisses, anfibólio gnaisses, anfibolitos e produtos migmatizados destas litologias, sempre muito laminados, compõem a unidade.

3.3 - Geologia Estrutural

A sequência metassedimentar do Agrupamento 2, a partir do exame conjunto das folhas Santa Maria Madalena a Santo Antônio de Pádua, se distribui segundo um sinforme maior denominado Santa Maria Madalena. A estrutura penetrativa, na definição do sinforme é a foliação do plano axial ligada ao dobramento apertado ou dobramento de deslizamento. Para a unidade Santo Eduardo, o flanco noroeste do sinforme arranja-se segundo N46°E/68°SE e o flanco sudeste, segundo N46°E, sub-horizontal. Para a unidade Serra Vermelha, os dados para ambas as abas indicam um máximo principal a

Caracterização Tecnológica dos Milonitos da Área de Santo Antônio de Pádua e Seus Possíveis Usos na Indústria da Construção Civil

N49⁰E/68⁰E. O eixo determinado é N49⁰E, sub-horizontal. A unidade Macuco, no núcleo do sinforme é verticalizada, com arranjo geral para N44⁰E, concordante com as direções Santo Eduardo e Serra Vermelha (Grossi Sad & Donadello Moreira. 1980).

Segundo Dayan et.al (1997), a Falha de Santo Antônio de Pádua, está conectada a Zona de Cisalhamento do Rio Paraíba do Sul. As feições observadas como a foliação o milonítica, lineações sub-horizontais, mullions, dobras, etc, conjuntamente com os indicadores cinemáticos demonstram o caráter dextral do movimento para esta falha (Canha, 2000).

Segundo Corrêa Neto (1995 in Braga, 2001), a região sofreu dois eventos tectônicos. Em um primeiro evento foram geradas falhas de empurrão e foliações de baixo ângulo, e no segundo, o qual possuiu caráter transpressivo, deu-se origem a um sistema de zonas de cisalhamento.

O mesmo autor, baseando-se em Lamego (1936 in Braga, 2001), apresenta uma evolução polifásica para a região, e durante o estágio compressivo, empurrões sub-horizontais com vergência para NW teriam se formado. Ainda de acordo com esse autor, posteriormente a deformação teria se concentrado na região do atual leito do Rio Paraíba do Sul, verticalizando os falhamentos.

3.4 - Geologia Local

Os dados apresentados neste tópico, são de autoria de Canha (2000) e constituem uma sinopse da geologia local, referente a Unidade Santo Eduardo, na qual se localizam os tipos fundamentais de rochas exploráveis.

3.4.1 - Gnaiss Milonitizado (Milonito Gnaiss)

Trata-se de tipo litológico que aparece na forma de corpos tabulares, encaixados

Caracterização Tecnológica dos Milonitos da Área de Santo Antônio de Pádua e Seus Possíveis Usos na Indústria da Construção Civil

na Falha do Santo Antônio de Pádua, intercalada com granulito, o contato apresentando caráter intrusivo e é considerado economicamente viável pelos produtores de rochas ornamentais sendo que seu produto final recebe comercialmente a denominação de Pedra Madeira.

Sua mineralogia é essencialmente quartzo-feldspática, sendo estes minerais responsáveis por mais de 90% da composição da rocha, em percentuais praticamente iguais de microclina, plagioclásio e quartzo. Seus principais acessórios são: biotita, anfibólio, alanita, apatita, opacos e mais raramente titanita e zircão. Também são observados associados a hidrotermalismo, carbonatos e sulfetos (Braga, 2001).

A trama das rochas na falha estudada é geralmente milonítica, apresentando extensas fitas de quartzo, paralelas ou sub-paralelas à foliação. Porfiroclastos e cristaloblastos de formas elipsoidais, medindo de 0,1 a 4 cm estão inclusos em uma matriz granoblastica de grã fina (0,1 a 0,3mm), (Canha 2000).

Sua cor varia de amarelo a branco quando mais alterada, passando a uma coloração de tom rosado a verde quando pouco ou não intemperizadas. Apresenta granulometria em geral medial, tornando-se fina quando mais deformadas.

Ao norte da Serra do Catete, a atitude da foliação, em grande parte dos afloramentos, está constantemente mergulhando aproximadamente 70 para sudeste, com strike 047/227.

Existe uma lineação mineral, a qual ocorre, predominantemente, pela orientação e alinhamento de minerais prismáticos, principalmente anfibólio (hornblenda) e pelas fitas de quartzo (Canha, 2000).

Associados a esta rocha aparecem corpos tabulares de pegmatitos, ora concordantes, ora na forma de diques, cortando os planos da foliação e pequenos geodos, que exibem minerais bem cristalizados. A mineralogia destes corpos consiste de k-feldspato, quartzo, anfibólio, piroxênio, calcita, alanita, biotita e sulfetos.

A foliação milonítica é bem desenvolvida, conferindo à rocha um excelente plano de clivagem, permitindo sua produção comercial como pedra de revestimento.

Os contatos do milonito gnaisse são constituídos dos chamados gnaisse bandado

Caracterização Tecnológica dos Milonitos da Área de Santo Antônio de Pádua e Seus Possíveis Usos na Indústria da Construção Civil

e granulito.

3.4.2 - Gnaiss Bandado

O gnaiss bandado apresenta-se em cores cinza escuro, intensamente bandados, devido principalmente ao arranjo de minerais máficos, tubulares (biotitas) e prismáticos (anfíbólios e piroxênios), dispendo-se em bandas, e com intercalações de domínios quartzo-feldspáticos, ou são distribuídos de forma anastomosada quando na presença de porfiroclastos. Por vezes, ocorrem fitas de quartzo, que se dispõem paralelamente ou sub-paralelamente aos planos de foliação, que apresentam atitude constante em grande parte dos afloramentos, mergulhando aproximadamente 65° para sudeste, com strike de 040/220. Afloram principalmente ao norte da Falha de Santo Antônio de Pádua e nos bordos das faixas miloníticas.

3.4.3 - Granulito

Esta rocha é denominada pelos mineradores da Moledo, significando que é um tipo litológico não explorado comercialmente.

Os granulitos ocorrem, geralmente, na cor verde claro a verde escuro, com aspecto bandado. Em sua mineralogia estão presentes principalmente piroxênio, anfibólio, plagioclásio, biotita, granada e quartzo. Entretanto, esta composição mineralógica não é constante, havendo variações proporcionais nas quantidades de quartzo com anfibólio e piroxênio.

A foliação da rocha é dada pela alternância de bandas félsicas (quartzo - feldspáticos) e máficas (piroxênio, anfibólio e biotita), na maioria dos casos é protomilonítica e exibe atitudes concordantes com as rochas com as quais estão em contato N40°E/70°SE.

4 – Caracterização Tecnológica

4.1 – Introdução

O estudo, para a utilização dos diferentes tipos de rochas para as inúmeras finalidades da construção civil, envolve possíveis problemas, das mais variadas naturezas, tais como: baixas características mecânicas, alta velocidade de alteração e conseqüente queda de resistência mecânica, produção de finos, reatividade com álcalis do cimento, conteúdo elevado de matéria orgânica e fragmentos friáveis, má adesividade a ligantes betuminosos, baixa aderência às argamassas, índices inadequados de forma após britagem, etc. Portanto, o emprego de agregados sem um conhecimento detalhado de seu comportamento tecnológico pode levar à construção de estruturas com más características funcionais ou requerer a utilização de elevados coeficientes de segurança e, por conseguinte, onerar os custos. Quando se trata de rochas para revestimento, sobretudo aquelas consideradas ornamentais, além dos aspectos funcionais, deve-se considerar também a deterioração de suas características estéticas e de rigidez (Yashida & Farjallat etat, 1972).

Durante toda sua vida útil, uma estrutura ou revestimento estará sujeita a oscilações consideráveis de temperatura, de umidade, além de ações de impacto, desgastes abrasivos, entre outros. Os climas tropical a subtropical, característicos do Brasil, com altas pluviosidades e variações de temperatura, promovem ciclos de umedecimento e secagem das rochas submetendo-as à dilatação e contração que ocasionam manchas e decomposição dos minerais.

A caracterização tecnológica das rochas para a construção civil, seja para fins ornamentais ou como agregado, é realizada através da execução de ensaios onde são determinadas suas peculiaridades. Para que se possa recomendar a uso de um determinado tipo de rocha ou influenciar na formação de preço de mercado, deve-se

Caracterização Tecnológica dos Milonitos da Área de Santo Antônio de Pádua e Seus Possíveis Usos na Indústria da Construção Civil

considerar os índices físicos, químicos e mecânicos, que subsidiam a escolha da sua correta utilização. Dessa forma, toda rocha empregada no setor da construção, seja como rocha ornamental ou agregado deve apresentar certas características técnicas que permitam sua aplicação. Tais características são determinadas em laboratório, através de ensaios específicos, que orientam para o uso correto da rocha.

Este trabalho baseou-se nas normas da ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas), por vezes IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas), ASTM (American Society for Testing and Material), DNER (Departamento Nacional de Estradas e Rodagem).

4.2 - Finalidade dos Materiais Rochosos

As classificações e finalidades dos materiais rochosos descritos nesse item, baseiam-se na descrição de Frazão & Paraguassu (1998).

Os materiais rochosos utilizados na construção civil possuem diferentes formas para diferentes usos:

- Pedra britada, pedrisco, areia artificial, pó de pedra e seixos usados em concretos hidráulico e betuminoso, como filtros e transições em barragens de terra e de enrocamento, como lastro de ferrovia e como drenos em outras obras civis, tais como estradas, aeroportos, estações de tratamento de água, etc;
- Placas de pedra para revestimento de paredes e pisos;
- Blocos usados como elementos estruturais em barragens ou como proteção de taludes, encostas e portos marítimos, na forma do enrocamentos e como muros de arrimo.

Caracterização Tecnológica dos Milonitos da Área de Santo Antônio de Pádua e Seus Possíveis Usos na Indústria da Construção Civil

Os materiais rochosos na forma granular, são denominados **agregados**, na forma de placas dimensionadas, são conhecidos como **rochas** ou **pedras ornamentais** ou ainda, **pedras de revestimento**.

Os **agregados** são materiais granulares, sem forma ou volume definidos, de dimensões e propriedades adequadas para uso em obras de engenharia civil. Podem ser classificados quanto à origem, dimensão e massa unitária.

Quanto a **origem**, os agregados podem ser classificados em :

- **Naturais** : Encontrados na natureza sob a forma definitiva de utilização (areia de rio, seixo rolado, pedregulho, etc);
- **Artificiais** : São os que necessitam ser modificados texturalmente para chegar a condição necessária e apropriada ao seu uso. Entre os tipos petrográficos mais utilizados estão os basaltos, granitos, calcários, arenitos, quartzitos e gnaisses.

Quanto à **dimensão**, os agregados classificam-se em:

- **Miúdo** : O agregado miúdo é a areia natural, na maior parte das vezes quartzosa ou, se artificial, é resultante do britamento de rochas estáveis, apresenta dimensão máxima característica igual ou inferior a 4,8 mm;
- **Graúdo**: O agregado graúdo é o pedregulho natural, ou a pedra britada proveniente do britamento de rochas estáveis, de dimensão máxima característica superior a 4,8 mm.

Esta classificação é a mais importante para fins de utilização prática, mas leva em

Caracterização Tecnológica dos Milonitos da Área de Santo Antônio de Pádua e Seus Possíveis Usos na Indústria da Construção Civil

consideração apenas o tamanho dos agregados, ficando a sua natureza ou origem para serem caracterizadas separadamente.

Quanto à **massa unitária**, pode-se classificar os agregados em:

- **Leves** : Pedra-pomes, vermiculitas e argilas expansivas, etc.;
- **Normais** : Areias quartzosas, pedras britadas e pedregulhos;
- **Pesados** : Barita, magnetita, limonita, etc

As **Pedras de Revestimento** são componentes de construção, com formas e geometrias, em geral, regulares, que se destinam ao embelezamento das edificações, além de lhes propiciar funcionalidade. Suas denominações são:

- **Chapa** : material rochoso de formato laminado com espessura menor que 4 cm, de contorno não necessariamente regular, obtido diretamente da pedreira ou pelo desdobramento de blocos;
- **Placa ou Ladrilho** : Componente com geometria e dimensões padronizadas, obtidas de uma chapa;
- **Laje** : Corpo rochoso planar que não passou por nenhum processo de aperfeiçoamento mecanizado.

Neste trabalho investigam-se as propriedades tecnológicas das rochas “ Pinta Rosa “ e “ Olho de Pombo “ e analisam-se as possibilidades de suas aplicações em diversos usos, tanto como agregado (concreto hidráulico, concreto betuminoso e lastro

Caracterização Tecnológica dos Milonitos da Área de Santo Antônio de Pádua e Seus Possíveis Usos na Indústria da Construção Civil

de ferrovia), quanto como pedra de revestimento, que tem sido a única finalidade de comercialização destes tipos litológicos.

4.2.1 - Concreto Hidráulico

O concreto hidráulico origina-se da mistura, em proporções convenientes, de agregados (graúdos e miúdos), cimento e água. Essa mistura deve, inicialmente, adquirir plasticidade a fim de facilitar o manuseio e o lançamento em forma e, ao longo do tempo, adquirir coesão e resistência mecânica, portanto trata-se de um material duro e compacto, no qual todas as partículas de agregado bem como todos os espaços entre elas também são preenchidos com cimento.

A propriedade básica de qualquer cimento artificial é que, quando misturado com água, com o passar do tempo ele endurece em uma massa resistente e coesa. A maior parte dos cimentos são usados na fabricação de concreto, sendo a variedade mais comum denominada cimento Portland. Os três constituintes essenciais do cimento Portland são o carbonato de cálcio (CaCO_3), a sílica (SiO_2) e a alumina (Al_2O_3). O primeiro é componente dos calcários e os demais são os principais componentes de folhelhos e argilas. Uma pequena quantidade de ferro é também um constituinte necessário e está presente na maioria das rochas argilosas. A razão para se fazer concreto é que o cimento por si só, seria muito caro, e além disso não é suficientemente forte para ser um material de suporte. A adequação do agregado depende menos do tipo da rocha do que da forma, tamanho e granulometria dos fragmentos.

Neste uso, os agregados exercem as seguintes funções:

- contribuir com adesão capaz de resistir aos esforços solicitantes, ao desgaste e as ações das intempéries;

Caracterização Tecnológica dos Milonitos da Área de Santo Antônio de Pádua e Seus Possíveis Usos na Indústria da Construção Civil

- reduzir as variações de volume de quaisquer naturezas;
- contribuir para redução do custo do concreto.

Os agregados para uso em concreto hidráulico devem atender a alguns requisitos de qualidade para que possam apresentar bom desempenho. São eles:

- adequada distribuição granulométrica, para obter maior compacidade, resultando em menor índice de vazios, o que possibilita maior economia de cimento e ganho de resistência;
- forma das partículas, a mais equidimensional possível, para garantir a facilidade de manuseio e operação, aumentar a compacidade e promover maior resistência do concreto;
- rugosidade adequada, para melhorar a aderência entre a argamassa e o agregado;
- adequada resistência mecânica, para suportar as solicitações mecânicas, tanto as que surgirem durante a preparação do concreto, como as originadas pelos esforços estruturais;
- adequada composição mineralógica, para garantir a sua durabilidade e evitar as reações químicas indesejáveis com substâncias químicas contidas no cimento;
- ausência de impurezas associadas, para impedir o empobrecimento da qualidade do concreto.

4.2.2 - Concreto Betuminoso

Concreto betuminoso é um produto originado da mistura, em proporções convenientes, de agregados e betume, destinados ao uso, principalmente, em pavimentos, onde são requeridas coesão, flexibilidade e resistência. Tais concretos tendem a ser mais flexíveis do que os concretos hidráulicos, permitindo um maior grau de movimento elástico sob o tráfego.

No perfil de um pavimento rodoviário, com suas subdivisões a utilização dos agregados ocorre de acordo com os resultados que deles são esperados. Sobre o subleito, que é a superfície do solo após a terraplanagem, pode ser necessário a colocação de uma camada de reforço e regularização. Sobre ela vem a sub-base, que é uma camada de fundação e drenagem feita de agregado solto. A permeabilidade é conseguida com o uso de fragmentos graúdos, junto com relativamente pouca quantidade de finos, de modo que haja o preenchimento de espaços que porventura possam ter se formado. A base é a principal camada de suporte e distribuição de carga, de modo que ela deve ser muito forte. Os agregados que a constituem, devem ser bem graduados e são usualmente ligados com betume. Ela é dimensionada para não se deformar e fornece uma superfície sobre a qual é lançado o revestimento, camada sobre a qual os veículos trafegam. O revestimento deve fornecer uma superfície segura, lisa, durável e impermeável, sendo também antiderrapante.

Para esse uso, os agregados devem apresentar as seguintes características:

- suportar e distribuir a carga do tráfego, transferindo-a as camadas inferiores;
- resistir a ação abrasiva do tráfego,
- proteger o sub-leito da ação das intempéries, principalmente da ação mecânica da água;

Caracterização Tecnológica dos Milonitos da Área de Santo Antônio de Pádua e Seus Possíveis Usos na Indústria da Construção Civil

- melhorar as condições da capa de rolamento quanto ao conforto.

Os agregados para uso em concreto betuminoso devem atender a alguns requisitos de qualidade para que possam apresentar bom desempenho. São eles:

- Boa tenacidade e resistência ao polimento, para suportar as ações mecânicas promovidas pelo avanço dos pneus dos veículos;
- Boa resistência à compressão, para resistir ao peso dos veículos;
- Ausência de minerais alteráveis, para resistir as ações intempéries;
- Boa adesividade, para impedir o deslocamento da película de betume;
- Forma, a mais equidimensional possível para diminuir o consumo de betume e também, melhorar a resistência mecânica.

4.2.3 - Lastro de Ferrovia

Lastro de ferrovia é uma superfície granular com distribuição granulométrica conveniente, sobre a qual se assentam os dormentes que, sobre os quais por sua vez, se assentam os trilhos. Neste uso, os agregados exercem as seguintes funções:

- suportar os dormentes, resistindo aos movimentos horizontais, gerados pela ação do tráfego e as mudanças de temperatura dos trilhos;
- distribuir as cargas, reduzindo a intensidade da pressão sobre o leito da ferrovia;

Caracterização Tecnológica dos Milonitos da Área de Santo Antônio de Pádua e Seus Possíveis Usos na Indústria da Construção Civil

- constituir um meio para a drenagem da águas sob os dormentes;
- permitir que os trilhos e os dormentes se movam verticalmente sob as cargas repentinamente aplicadas;
- reduzir os efeitos destrutivos de impacto;
- retardar e evitar o crescimento da vegetação.

Para o uso da rocha como lastro de ferrovia, os requisitos de qualidade que os agregados devem atender para que tenham bom desempenho são:

- alta tenacidade, para suportar o impacto gerado pelos instrumentos de compactação e pela passagem das composições do trem;
- alta resistência ao desgaste para resistir as ações do atrito devido à passagem das Composições e movimentação horizontal dos trilhos;
- alta resistência à compressão, para suportar o peso do veículo de transporte;
- apresentar minerais pouco alteráveis para resistir ao intemperismo;
- forma adequada das partículas, para garantir bom imbricamento do lastro e manter sua estabilidade geométrica.

4.2.4 - Pedras de Revestimento

As pedras de revestimento servem de elemento durável e decorativo como

Caracterização Tecnológica dos Milonitos da Área de Santo Antônio de Pádua e Seus Possíveis Usos na Indústria da Construção Civil

revestimentos verticais de exteriores e interiores e de piso para edificações. Neste uso, as placas de rocha exercem as seguintes funções:

- manter os aspectos estéticos ao longo do tempo;
- promover isolamento térmico na edificação;
- proteger as estruturas do intemperismo;
- facilitar a limpeza .

As placas de revestimento devem atender alguns requisitos de qualidade para que tenham bom desempenho. São eles:

- alta resistência ao intemperismo e a agentes químicos agressivos, quando usados em revestimentos exteriores;
- baixa capacidade de absorção de líquidos, visando evitar manchas e, também, impedir a sua deterioração;
- baixa dilatação térmica, para garantir a estabilidade do revestimento;
- alta resistência ao desgaste, para serem usadas em pisos;
- alta resistência à flexão, quando sua utilização for em revestimentos fixados por ancoragens metálicas;
- aspecto estético agradável

4.3- Ensaio Tecnológicos

4.3.1 – Petrografia

Lâmina “ Olho de Pombo “

- **Quartzo** – Se apresenta formando fitas com abundante extinção ondulante, bandas de deformação e formação de subgrãos por recristalização;
- **Ortoclásio** – Os cristais estão presentes como porfiroclastos xenomórficos, com hábito alongado. Alguns cristais apresentam inclusões sub-arredondadas de quartzo e veios de carbonato;
- **Microclina** – Formam cristais xenomórficos e hipidiomórficos, com geminação tartan, que ocasionalmente apresenta-se distorcido;
- **Plagioclásio** – Apresenta-se como cristais xeno à hipidiomórficos, suave extinção ondulante;
- **Hornblenda/Biotita** – Cristais xenomórficos a hipidiomórficos, alterando-se para biotita;
- **Zircão** – Apresenta-se em pequenos cristais hipidiomórficos prismáticos curtos;
- **Opacos** – Xeno à hipidiomórficos;
- **Sericita** – Traços;
- **Apatita** – Traços;
- **Titanita** – Traços.

Caracterização Tecnológica dos Milonitos da Área de Santo Antônio de Pádua e Seus Possíveis Usos na Indústria da Construção Civil

| Minerais | % | % | % | % | % | Total (%) |
|--------------|----|----|----|----|----|-------------|
| Quartzo | 40 | 40 | 30 | 40 | 20 | 34 |
| Ortoclásio | 25 | 15 | 20 | 15 | 34 | 22 |
| Microclina | 05 | 10 | 15 | 10 | 10 | 10 |
| Plagioclásio | 10 | 10 | 15 | 10 | 20 | 13 |
| Horn/Biot. | 15 | 25 | 20 | 20 | 15 | 19 |
| Zircão/Opa. | 05 | - | - | 05 | - | 02 |
| Titanita | - | - | - | - | - | - |
| Apatita | - | - | - | - | - | - |

Tabela 02: Composição Mineralógica “ Olho de Pombo “

Lâmina “ Pinta Rosa “

- **Quartzo** – Se apresenta formando fitas com abundante extinção ondulante, bandas de deformação e formação de subgrãos por recristalização;
- **Ortoclásio** – Os cristais estão presentes como porfiroclastos xenomórficos com hábito alongado. Alguns cristais apresentam intercrescimento de quartzo;
- **Microclina** – Formam cristais xenomórficos e hipidiomórficos, com geminação tartan, que ocasionalmente apresenta-se distorcida;
- **Plagioclásio** – Apresenta-se como cristais xeno à hipidiomórficos, suave extinção ondulante;
- **Hornblenda/Biotita** – Cristais xenomórficos a hipidiomórficos, alterando-se para biotita;
- **Zircão** – Apresenta-se em pequenos cristais hipidiomórficos prismáticos curtos;
- **Opacos** – Xeno à hipidiomórficos;
- **Sericita** – Traços;

Caracterização Tecnológica dos Milonitos da Área de Santo Antônio de Pádua e Seus Possíveis Usos na Indústria da Construção Civil

- Apatita – Traços;
- Titanita – Traços.

| Minerais | % | % | % | % | % | Total (%) |
|--------------|----|----|----|----|----|-------------|
| Quartzo | 30 | 40 | 40 | 25 | 40 | 35 |
| Ortoclásio | 15 | 10 | 10 | 35 | 25 | 19 |
| Microclina | 15 | 10 | 05 | 10 | 10 | 10 |
| Plagioclásio | 10 | 20 | 15 | 20 | 15 | 16 |
| Horn/Biot. | 25 | 20 | 25 | 10 | 10 | 18 |
| Zircão/Opa. | 05 | - | 05 | - | - | 02 |
| Titanita | - | - | - | - | - | - |
| Apatita | - | - | - | - | - | - |

Tabela 03: Composição Mineralógica “ Pinta Rosa “.

4.3.2 - Índices Físicos (Peso Especifico, Porosidade e Absorção d'água)

4.3.2.1 - Considerações Preliminares

A massa específica da rocha tem importância no cálculo no traço do concreto, na avaliação do peso morto do agregado ou de uma placa de revestimento. Reflete também o estado de sanidade do material, pois rochas alteradas apresentam massa específica menor que a das mesmas no estado são, constituindo-se num importante diagnóstico para a caracterização tecnológica (Frazao & Paraguassu, 1998).

Caracterização Tecnológica dos Milonitos da Área de Santo Antônio de Pádua e Seus Possíveis Usos na Indústria da Construção Civil

A porosidade da rocha influi na resistência do agregado e da placa de revestimento. Influi também na quantidade de água para confeccionar o concreto, pois é fator determinante no grau de absorção. Uma rocha que apresenta alta porosidade poderia, portanto, acarretar alta absorção de água e, com isso, deverá aumentar o consumo de água e de cimento na elaboração do concreto. A alta porosidade da rocha poderá, ainda propiciar ataque dos seus minerais pela própria água ou por outros agentes químicos, uma vez que a área de contato solução - mineral torna-se grande (Frazão & Paraguassu, 1998).

Os valores da absorção d'água e porosidade são bem correlacionáveis com os de resistência mecânica. Pode-se dizer que, para um mesmo tipo petrográfico, os valores de resistência mecânica decrescem na medida que a porosidade e absorção d'água aumentam.

4.3.2.2 - Metodologia

Existem Várias normas técnicas da ABNT para a determinação da massa específica, porosidade aparente e absorção d'água das rochas. Embora tenham sido publicadas, visando diferentes aplicações; lastro (MB 893, 1987), revestimento (NAR 12766, 1992) e agregados (NBR 6458,1984; NBR 9937,1957 e NBR 9939, 1987); todas se utilizam do princípio de Arquimedes conjugado à saturação da rocha.

Para tais determinações, utilizaram-se os mesmos corpos de prova empregados nos ensaios mecânicos de compressão simples (corpos de prova cilíndricos com aproximadamente 130 mm de altura e 50 mm de diâmetro). Esses corpos de prova foram pesados após secagem em estufa a 105°C (M_{seca}), colocados em água destilada por 48 horas (M_{sat}) e pesados na condição submersa após saturação (M_{sub}).

Considerando-se que o volume de água deslocado por um corpo submerso é igual ao seu próprio volume, é possível se determinar o volume do corpo de prova (mesmo se este não tiver geometria regular), apenas medindo-se sua massa saturada e submersa e controlando a temperatura da água destilada. A 23°C a água possui peso específico de

Caracterização Tecnológica dos Milonitos da Área de Santo Antônio de Pádua e Seus Possíveis Usos na Indústria da Construção Civil

1 g/cm³. Dessa forma, a massa de água deslocada ($M_{\text{água}}$) é numericamente igual ao seu volume.

Deve-se ressaltar que tanto a porosidade, quanto a massa específica, são aparentes ou efetivas uma vez que se considera apenas os vazios que de fato são acessíveis a água.

Os valores foram obtidos através da utilização das seguintes expressões:

- **Porosidade Aparente**

$$\eta_{\text{ap}}(\%) = \frac{M_{\text{sat}} - M_{\text{seca}}}{M_{\text{sat}} - M_{\text{Sub}}} \times 100$$

- **Massa Específica Aparente Seca**

$$\rho_{\text{ap}}(\text{g/cm}^3) = \frac{M_{\text{seca}}}{M_{\text{Sat}} - M_{\text{Sub}}}$$

- **Absorção de Água**

$$\text{Ab}(\%) = \frac{M_{\text{sat}} - M_{\text{seca}}}{M_{\text{seca}}} \times 100$$

4.3.2.3 - Resultados

Os resultados obtidos nas amostras da rocha " Pinta Rosa " e " Olho de Pombo , dos valores de massa específica aparente saturada, porosidade e absorção d'água, se encontram nas tabelas 04 e 05 abaixo, respectivamente.

Caracterização Tecnológica dos Milonitos da Área de Santo Antônio de Pádua e Seus Possíveis Usos na Indústria da Construção Civil

| Pinta Rosa | | | | | | |
|-------------------------------|----------|-----------|------------|-----------|----------|--------------|
| Amostra | I | II | III | IV | V | Média |
| M. Seca (g) | 241,02 | 397,55 | 278,75 | 205,83 | 275,74 | 279,78 |
| M. Sat. (g) | 242,41 | 399,21 | 280,37 | 206,80 | 277,05 | 281,17 |
| M. Submersa (g) | 153,34 | 253,04 | 177,38 | 131,03 | 172,50 | 177,51 |
| Ab. De Água (%) | 0,58 | 0,42 | 0,58 | 0,47 | 0,48 | 0,50 |
| Porosidade (%) | 1,56 | 1,14 | 1,57 | 1,28 | 1,29 | 1,37 |
| M. Esp. Ap. Seca (g) | 2,71 | 2,72 | 2,71 | 2,72 | 2,72 | 2,71 |

Tabela 04: Resultados, para as amostras da rocha “ Pinta Rosa “, para os ensaios de absorção de água, porosidade aparente e massa específica aparente.

| Olho de Pombo | | | | | | |
|-------------------------------|----------|-----------|------------|-----------|----------|--------------|
| Amostra | I | II | III | IV | V | Média |
| M. Seca (g) | 242,08 | 243,01 | 244,07 | 248,06 | 245,03 | 244,45 |
| M. Sat. (g) | 243,38 | 244,57 | 245,60 | 249,54 | 246,40 | 245,90 |
| M. Submersa (g) | 150,40 | 152,38 | 154,48 | 155,90 | 154,36 | 153,50 |
| Ab. De Água (%) | 0,54 | 0,64 | 0,63 | 0,60 | 0,56 | 0,59 |
| Porosidade (%) | 1,40 | 1,69 | 1,68 | 1,58 | 1,48 | 1,57 |
| M. Esp. Ap. Seca (g) | 2,6 | 2,64 | 2,68 | 2,57 | 2,66 | 2,63 |

Tabela 05: Resultados, para as amostras da rocha “ Olho de Pombo “, para os ensaios de absorção de água, porosidade aparente e massa específica aparente.

4.3.3 - Ensaio de Forma

4.3.3.1 - Considerações Preliminares

A importância de um estudo sobre a forma dos fragmentos se justifica pela influência que esta propriedade exerce sobre a trabalhabilidade, economia e resistência mecânica.

Desta maneira, a trabalhabilidade do concreto do cimento Portland, fica prejudicada por um excesso de partículas lamelares e alongadas, pois exige um maior consumo de água, areias e cimento, além de acarretar problemas de acabamento. Outro fator é o empilhamento dos agregados lamelares e alongados que impedem uma maior penetração

do betume, bem como interfere no assentamento do pedrisco de fechamento e no material de enchimento, numa obra de pavimentação. Também, pode resultar daí, uma fraqueza estrutural da massa pelas possibilidades dos fragmentos de se relacionarem entre si como vigas de carga ou a tendência de se orientarem após a vibração do concreto hidráulico, induzindo anisotropias no mesmo (Yoshida *et al.* 1972).

A forma dos fragmentos, por outro lado, ainda está sujeita às influências das propriedades petrográficas do material e do processo de britagem utilizado na sua produção.

4.3.3.2 - Metodologia

A determinação da forma dos fragmentos das rochas foi realizada, em laboratório, medindo-se o comprimento (A), largura (B) e espessura (C) de cada fragmento, de acordo com um paralelogramo após britadas nas dimensões granulométricas ¾"-1" (Tabela 4), 1" – 1½" (Tabela 5) e 1½" – 2" (Tabela 6), na seqüência, respectivamente.

Estas dimensões foram relacionadas, duas a duas, ou seja, de acordo com as relações: largura/comprimento (B/A) e espessura/largura (C/B), para que haja

Caracterização Tecnológica dos Milonitos da Área de Santo Antônio de Pádua e Seus Possíveis Usos na Indústria da Construção Civil

a classificação de cada fragmento separadamente, em quatro grupos distintos, apresentados na tabela 3 abaixo:

| B/A | C/B | FORMA |
|-------|-------|------------------|
| > 0,5 | > 0,5 | Cúbica |
| >0,5 | <0,5 | Lamelar |
| < 0,5 | > 0,5 | Alongada |
| < 0,5 | < 0,5 | Alongada-lamelar |

Tabela 06 – Classificação dos fragmentos quanto a sua forma

| 7 | Olho de Pombo | | Pinta Rosa | |
|---------------|---------------------|-------------|------------|-------------|
| | Forma dos agregados | | | |
| Classificação | Frequência | Porcentagem | Frequência | Porcentagem |
| Cúbica | 11 | 44 | 10 | 40 |
| Lamelar | 06 | 24 | 07 | 28 |
| Alongada | 05 | 20 | 07 | 28 |
| Al.-lamelar | 03 | 12 | 01 | 04 |

Tabela 07: Classificação dos agregados para a fração ¾” – 1 “.

Caracterização Tecnológica dos Milonitos da Área de Santo Antônio de Pádua e Seus Possíveis Usos na Indústria da Construção Civil

| 8 | Olho de Pombo | | Pinta Rosa | |
|---------------|---------------------|-------------|------------|-------------|
| | Forma dos agregados | | | |
| Classificação | Frequência | Porcentagem | Frequência | Porcentagem |
| Cúbica | 07 | 28 | 08 | 32 |
| Lamelar | 07 | 28 | 06 | 24 |
| Alongada | 09 | 36 | 10 | 40 |
| Al.-lamelar | 02 | 08 | 01 | 04 |

Tabela 08: Classificação dos agregados na fração 1 “ –1 ½ “

| 9 | Olho de Pombo | | Pinta Rosa | |
|---------------|---------------------|-------------|------------|-------------|
| | Forma dos agregados | | | |
| Classificação | Frequência | Porcentagem | Frequência | Porcentagem |
| Cúbica | 15 | 60 | 19 | 76 |
| Lamelar | 03 | 12 | 2 | 8 |
| Alongada | 06 | 24 | 4 | 16 |
| Al.-lamelar | 01 | 04 | 0 | 0 |

Tabela 09: Classificação dos agregados na fração 1 ½” – 2 “

O ensaio de forma foi realizado segundo a norma NBR 6954 (ABNT, 1990) e M-49 (IPT, 1966).

4.3.4 - Dilatação Térmica Linear

4.3.4.1 - Considerações Preliminares

As rochas, como a maioria dos materiais, apresentam variações de volume de acordo com a variação da temperatura. Este comportamento é, em especial, importante em revestimentos com rochas, seja em pisos, seja em paredes. Assim, no assentamento das placas, devem ser previstas juntas para evitar que, pela dilatação, uma placa se encoste na outra, provocando tensões entre elas, o que pode resultar no descolamento das mesmas. Portanto, para o estabelecimento do espaço das juntas é importante conhecer o coeficiente de dilatação térmica das rochas (Frazão & Paraguassu, 1998).

4.3.4.2 - Metodologia

Este ensaio visa determinar o coeficiente de dilatação térmica linear das rochas em um dado intervalo de temperatura.

Executa-se em dois corpos de prova cilíndricos com razão comprimento/diâmetro igual a 2. São posteriormente aquecidos de 0^o a 50^o C e resfriados de 50^o a 0^o C. O coeficiente de dilatação térmica linear é então calculado.

As deformações são medidas com transdutores “ strain gages “ do tipo LVDT (“ Linear Variable Transducer “) e com registro simultâneo em computador através da placa de aquisição de dados “ National instruments “.

Na norma utilizada para este ensaio, NBR 12765 (ABNT, 1992), a medição da temperatura é feita na água, onde se encontra o corpo de prova, quando a mesma atinge os valores de 50°C e 0°C. No entanto, por serem meios físicos bastante diferentes, nada indica que a temperatura de ambos é a mesma. Ao contrário da água, a rocha apresenta baixa condutividade térmica. Assim sendo, seguindo os procedimentos da norma, a temperatura no interior do corpo de prova, provavelmente, estará diferente da temperatura

Caracterização Tecnológica dos Milonitos da Área de Santo Antônio de Pádua e Seus Possíveis Usos na Indústria da Construção Civil

da água, onde se alcançará a temperatura desejada mais rapidamente.

Portanto, este ensaio ainda se encontra em estudo e andamento, não sendo apresentado seus resultados referentes ao “Pinta Rosa” e ao “Olho de Pombo” neste trabalho. Entretanto, para se ter uma idéia da ordem de grandeza da dilatação térmica linear das rochas, são mostrados a seguir, os valores obtidos do ensaio de dilatação térmica para outros tipos litológicos do município de Santo Antônio de Pádua (Oliveira, 1998).

| Dilatação Térmica Linear | | |
|---------------------------------|--|----------------------------|
| Amostra | Resultado (10^{-6} mm/mm⁰C) | Desvio Padrão (%) |
| Olho de Pombo | 9,99 | 0,98 |
| Pinta Rosa | 10,09 | 0,71 |

Tabela 10 : Valores calculados por Oliveira, 1998, para a dilatação térmica linear dos tipos litológicos “Olho de Pombo” e “Pinta Rosa”.

4.3.5 - Resistência ao Esmagamento

4.3.5.1 - Considerações Preliminares

Os agregados, quando usados em pavimentos betuminosos ou lastro de ferrovias, sofrem carregamentos do tipo compressional, gerados pelo peso e pelo tráfego de veículos, o que pode acarretar atrito entre os mesmos, resultando na quebra dos seus cantos e arestas, e coseqüentemente uma diminuição do tempo de vida útil da obra na qual foram utilizados (Frazao & Paraguassu, 1998).

4.3.5.2 - Metodologia

Esta situação pode ser simulada em laboratório pelo ensaio de esmagamento, no qual o agregado, na dimensão granulométrica entre 9,5 e 12,5 mm, após secagem na estufa por 24 horas é compactado de maneira padronizada, no interior de um cilindro rígido de aço, sendo submetido ao carregamento até alcançar 40 toneladas, a taxa de 4 toneladas por minuto (controle de carga). Tal ensaio foi realizado em uma máquina universal de ensaios " *Kratos* ", com capacidade de 100 toneladas. Usou-se uma célula de carga " *Affa* " de 100 toneladas e um potenciômetro linear " *Gefran* " de 50 milímetros (foto 10).

A resistência do agregado ao esmagamento é calculada segundo a expressão:

$$R (\%) = \frac{M_i - M_f}{M_i} \times 100$$

Onde:

R - resistência do agregado ao esmagamento (%);

M_i - massa inicial da amostra seca antes do ensaio (g);

M_f - massa final do material retido na peneira 2,4 mm (g)

Caracterização Tecnológica dos Milonitos da Área de Santo Antônio de Pádua e Seus Possíveis Usos na Indústria da Construção Civil

4.3.5.3 - Resultados

| Resistência ao Esmagamento | | | | | | | |
|-----------------------------------|-----------------|-----------------|--------------------|------------------|-----------------|--------------------|--------------|
| Amostra 1 | | | | Amostra 2 | | | |
| | Pi (g) | Pf (g) | Resistência | Pi (g) | Pf (g) | Resistência | Média |
| Olho de Pombo | 3630 | 2395 | 34,02 | 3675 | 2495 | 32 | 33,01 |
| Pinta Rosa | 3685 | 2478 | 33 | 3650 | 2435 | 33 | 33 |

Tabela 11: Resultado do ensaio de Resistência ao esmagamento para as litologias “ Pinta Rosa “ e “ Olho de Pombo “.

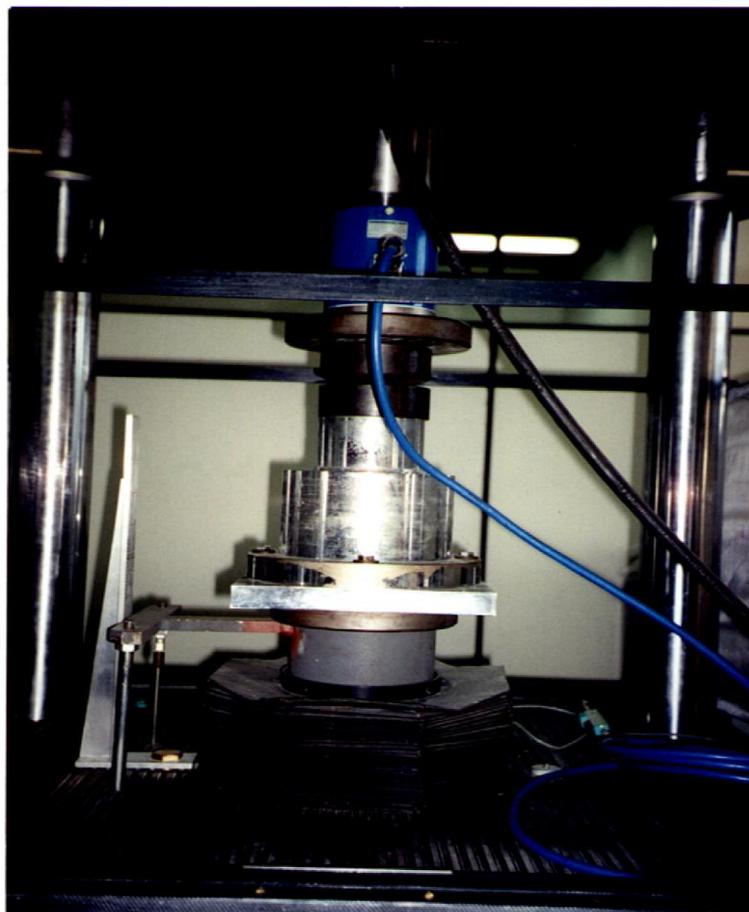


Foto 10: Vista da máquina durante o ensaio de esmagamento.

Caracterização Tecnológica dos Milonitos da Área de Santo Antônio de Pádua e Seus Possíveis Usos na Indústria da Construção Civil

O resultado é apresentado pela média de dois ensaios e expresso pela porcentagem do material desagregado com dimensões menores que a abertura da malha de 2,4 mm (foto 11).



Foto 11 : Vista do material após o carregamento.

Caracterização Tecnológica dos Milonitos da Área de Santo Antônio de Pádua e Seus Possíveis Usos na Indústria da Construção Civil

4.3.6 - Resistência a Flexão

4.3.6.1 - Considerações Preliminares

As placas de revestimento de edificações particularmente as fixadas por ancoragem metálica em argamassa sofrem a ação da força dos ventos, principalmente nas grandes alturas. Solicitações deste tipo ocorrem também, no manuseio e transporte de placas (Frazão & Paraguassu, 1988)

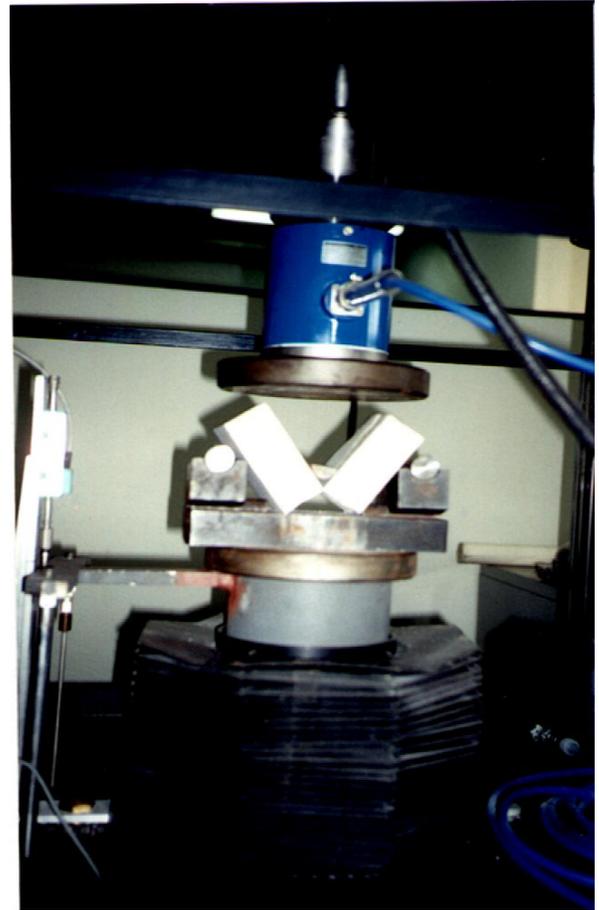
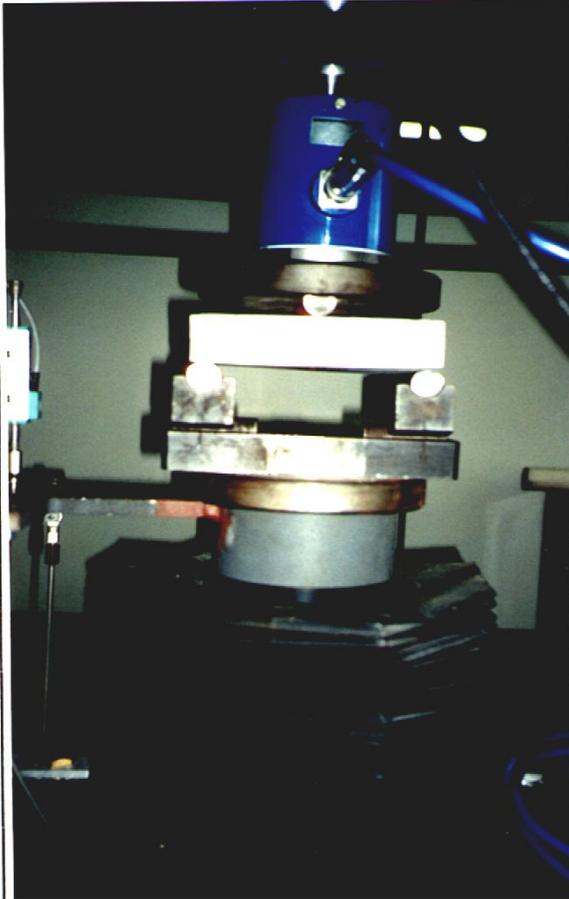
O ensaio de flexão determinará a resistência efetiva ou potencial destas placas, quando submetidas a esforços fletores. Os valores determinados nos ensaios indicam a tensão máxima de flexão que a rocha suporta, e influenciam na escolha do tamanho e espessura das placas usadas como revestimentos externos.

4.3.6.2 - Metodologia

Para a verificação da resistência à tração na flexão foram preparadas três placas retangulares, para cada litologia, de 20 x 10 x 5 cm, dimensões propostas na norma NBR 12763 (ABNT, 1992). Essas três amostras sofreram saturação em água destilada por 48 horas e foram submetidas ao ensaio de flexão por tração.

Para execução desse ensaio, a placa é apoiada num mecanismo apropriado do apropriado de aço, que possui dois cutelos inferiores (de ação) e um superior (de reação) . Este, por sua vez, sofre compressão na máquina universal de ensaios (Fotos 12 e 13) com os mesmos aparatos citados no ensaio de esmagamento, até a ruptura por flexão . Esta compressão é realizada por controle de carga, a uma taxa de 4.450 N/mm ou 453,77 kgf/min. O registro dos resultados, também é realizado simultaneamente, em computador, através da mesma placa de aquisição de dados “ *National Instrnments* ”

Caracterização Tecnológica dos Milonitos da Área de Santo Antônio de Pádua e Seus Possíveis Usos na Indústria da Construção Civil



Fotos 12 e 13: Ensaio de Flexão em andamento e conclusão

4.3.6.3 - Resultados

| Resistência à Flexão | | | | | |
|----------------------|---------|-------------|------------------|---------------|----------------|
| Litologia | Amostra | Carga (kgf) | Comprimento (cm) | Diâmetro (cm) | Tensão (Mpa) |
| Olho de Pombo | 1 | 1160 | 12,75 | 5,10 | 18,92 |
| | 2 | 1080 | 12,73 | 5,09 | 17,70 |
| | 3 | 1040 | 12,75 | 5,10 | 16,97 |
| Pinta Rosa | 1 | 1080 | 12,30 | 4,92 | 18,74 |
| | 2 | 1200 | 12,73 | 5,09 | 19,67 |
| | 3 | 1400 | 12,72 | 5,09 | 22,93 |

Tabela 12: Resultados do ensaio de Resistência à Flexão para as litologias “ Olho de Pombo ” e “ Pinta Rosa “.

Caracterização Tecnológica dos Milonitos da Área de Santo Antônio de Pádua e Seus Possíveis Usos na Indústria da Construção Civil

4.3.7 - Adesividade

4.3.7.1 - Considerações Preliminares

Dependendo da natureza petrográfica e do estado de alteração, o agregado pode apresentar maior ou menor capacidade de fixar o betume na sua superfície.

Os agregados provenientes da britagem de rochas não quartzosas, como os basaltos têm maior afinidade com o betume do que os de rochas quartzosas, como é o caso do granito. Para garantir adesividade satisfatória, é necessária a introdução de aditivos no betume, que dão maior eficiência na adesão betume/agregado, tal aditivo é chamado DOPE (Frazão & Paraguassu, 1998).

4.3.7.2 - Metodologia

A adesividade é determinada em laboratório, pela verificação da resistência ao descolamento da película em amostra de agregado, que previamente seca, foi imersa em produto asfáltico padrão.

O ensaio foi feito em seis amostras de agregado, sendo que três com DOPE e três sem DOPE. A resistência ao deslocamento da película de betume é verificada visualmente e o resultado é expresso, qualitativamente, pelas menções adesividade satisfatória ou adesividade insatisfatória.

Para a realização deste ensaio foi utilizada a norma NBR 12583 (ABNT, 1992).

4.3.7.3 - Resultados

Através da observação da película de betume nas amostras (fotos 14 e 15), verificou-se que houve boa fixação, com DOPE, o resultado sendo então satisfatório para ambas as rochas, mas não houve boa fixação sem o DOPE, o resultado se apresentando então insatisfatório, para ambas as rochas.

Caracterização Tecnológica dos Milonitos da Área de Santo Antônio de Pádua e Seus Possíveis Usos na Indústria da Construção Civil



Foto 14: Vista da amostra de “ Pinta Rosa “ com DOPE. Resultado satisfatório.



Foto 15: Vista da amostra de “ Pinta Rosa “ sem DOPE. Resultado insatisfatório.

4.3.8 - Resistência ao Impacto de Corpo Duro

4.3.8.1 - Considerações Preliminares

Este ensaio é de suma importância para determinar a viabilidade do material quando de sua utilização como revestimento interno, tanto em paredes quanto em pisos. Dependendo da resistência apresentada pelo material tornam-se necessárias certas precauções, seja durante seu transporte, seja durante seu uso.

4.3.8.2 - Metodologia

Este ensaio, segundo a norma NBR 12764 (ABNT, 1992) realiza-se em placas de 20 X 20 X 3 cm, postas sobre um colchão de areia de aproximadamente 10 cm de espessura. Essas placas sofrem o impacto de uma esfera de aço de 1,0 Kg. A esfera é levantada até uma altura inicial de 20,0 cm e solta chocando-se com a placa. Repete-se então o procedimento, adicionando-se 5,0 cm à altura inicial, tantas vezes quanto se fizer necessário, até que ocorra o rompimento da placa.

Por conveniência no presente relatório executamos o ensaio, não nas dimensões determinadas pela ABNT, mas sim nas dimensões que as placas são comercializadas, 20 x 10 x 2 cm.

Caracterização Tecnológica dos Milonitos da Área de Santo Antônio de Pádua e Seus Possíveis Usos na Indústria da Construção Civil

4.3.8.3 – Resultados

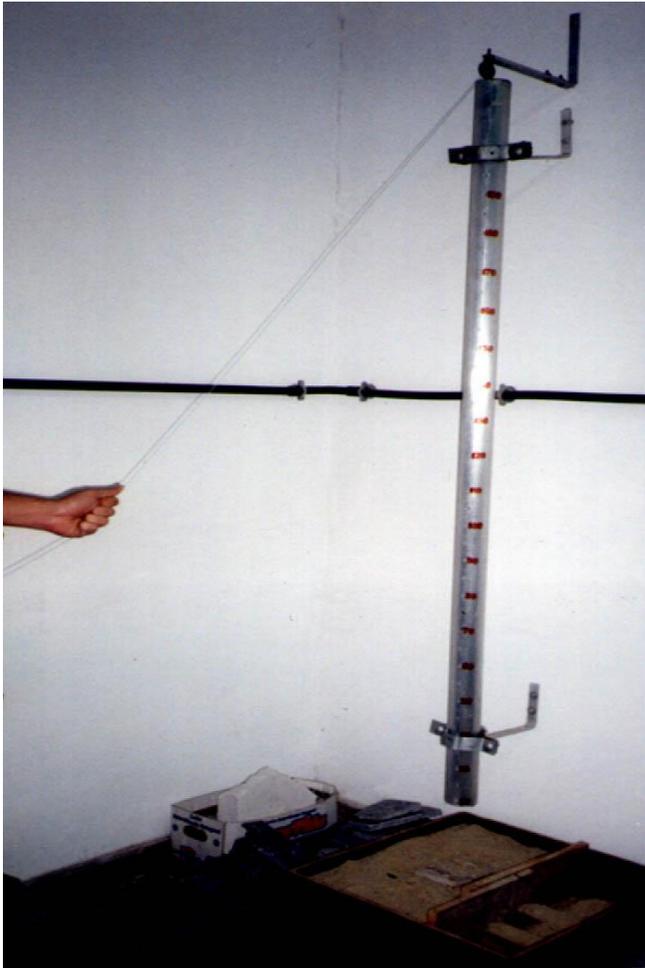
| Resistência ao Impacto de Corpo Duro | | | | |
|---|--------------|--------------|-------------|-------------|
| Olho de Pombo | | | | |
| Amostra | A | B | C | H |
| 1 | 23,0 | 11,2 | 1,9 | 0,30 |
| 2 | 22,5 | 10,9 | 1,7 | 0,30 |
| 3 | 21,5 | 10,0 | 1,8 | 0,30 |
| 4 | 22,0 | 11,4 | 2,0 | 0,35 |
| 5 | 22,2 | 11,6 | 1,8 | 0,30 |
| Média | 22,24 | 11,02 | 1,84 | 0,31 |

Tabela 13: Resultados do ensaio de Impacto de corpo duro para a litologia “ Olho de Pombo “.

| Resistência ao Impacto de Corpo Duro | | | | |
|---|-------------|--------------|-------------|-------------|
| Pinta Rosa | | | | |
| Amostra | A | B | C | H |
| 1 | 23,5 | 11,6 | 1,8 | 0,25 |
| 2 | 22,0 | 11,0 | 1,8 | 0,25 |
| 3 | 23,0 | 12,0 | 1,9 | 0,30 |
| 4 | 21,5 | 11,1 | 1,8 | 0,25 |
| 5 | 22,5 | 12,0 | 1,9 | 0,30 |
| Média | 22,5 | 11,54 | 1,84 | 0,27 |

Tabela 14: Resultados do ensaio de Impacto de corpo duro para a litologia Pinta Rosa

Caracterização Tecnológica dos Milonitos da Área de Santo Antônio de Pádua e Seus Possíveis Usos na Indústria da Construção Civil



Fotos 16 e 17: Vista do ensaio de resistência ao impacto de corpo duro.

4.3.9 - Abrasão Los Angeles

4.3.9.1 - Considerações Preliminares

Os materiais rochosos, em sua forma granular, cujo uso será destinado ao preparo de concreto hidráulico ou betuminoso estão sujeitos ao desgaste e ao impacto, tanto na fase de preparação quanto em nas solicitações ao fim que se destina. Esse desgaste é medido de acordo com a massa perdida dos agregados. Caso essa perda seja elevada pode inviabilizar sua utilização. Para determinar a resistência dos agregados utiliza-se comumente o ensaio de Abrasão Los Angeles, que será descrito a seguir.

4.3.9.2 - Metodologia

Certa quantidade de amostra, com granulometria referente ao número de graduação e massa pré-fixadas é introduzida em um tambor de aço (foto 18), juntamente com esferas, também de aço, cujo número varia de acordo com a graduação utilizada no ensaio (tabelas 15 e 16). Após, o tambor é colocado para girar com velocidade de 30 rpm, até um total de 500 rotações. Ao término das rotações recolhe-se toda a amostra, que é peneirada na graduação 1,7mm. O material retido é então lavado, seco em estufa e pesado, sendo que o resultado é obtido à partir da seguinte fórmula:

$$A (\%) = \frac{M - m}{M} \times 100$$

Onde:

A – Resistência à Abrasão Los Angeles na determinada graduação (%);

M – Massa total da amostra seca introduzida na máquina (g);

m – Massa da amostra fina, após lavagem e secagem (g).

Caracterização Tecnológica dos Milonitos da Área de Santo Antônio de Pádua e Seus Possíveis Usos na Indústria da Construção Civil

| Abrasão Los Angeles | | | | | | | | |
|--------------------------------|---------------|-----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| Peneiras (mm) | | Amostras | | | | | | |
| Passando | Retido | Grad. A | Grad. B | Grad. C | Grad. D | Grad. E | Grad. F | Grad. G |
| 073 | 063 | | | | | 2500 | | |
| 063 | 050 | | | | | 2500 | | |
| 050 | 038 | | | | | 2500 | 5000 | |
| 038 | 025 | 1250 | | | | | | 5000 |
| 025 | 019 | 1250 | | | | | | 5000 |
| 019 | 12,5 | 1250 | 2500 | | | | | |
| 12,5 | 09,5 | 1250 | 2500 | | | | | |
| 09,5 | 06,3 | | | 2500 | | | | |
| 06,3 | 04,75 | | | 2500 | | | | |
| 04,8 | 02,36 | | | | 5000 | | | |
| Massas totais em gramas | | 5.000 | 5.000 | 5.000 | 5.000 | 10.000 | 10.000 | 10.000 |
| Rotações do tambor | | 500 | 500 | 500 | 500 | 1.000 | 1.000 | 1.000 |

Tabela 15: Massa a ser utilizada por graduação.

Caracterização Tecnológica dos Milonitos da Área de Santo Antônio de Pádua e Seus Possíveis Usos na Indústria da Construção Civil

| Abrasão Los Angeles | | |
|----------------------------|--------------------------|-----------------------------|
| Graduação | Número de esferas | Massa de carga (g) |
| A | 12 | 5000 |
| B | 11 | 4584 |
| C | 08 | 3330 |
| D | 06 | 2500 |
| E | 12 | 5000 |
| F | 12 | 5000 |
| G | 12 | 5000 |

Tabela 16: Número de esferas a serem usadas para cada graduação.

4.3.9.3 - Resultados

| Abrasão Los Angeles | |
|----------------------------------|--------------------------|
| Peneira (mm) | Peso Retido (g) |
| 025 | 1267 |
| 019 | 1251 |
| 12,5 | 1251 |
| 09,5 | 1250 |
| Total | 5019 |
| Retido na Peneira 1,7 mm | 2228 |
| Abrasão Los Angeles (%) | 56 |

Tabela 17 : Resultados obtidos de Abrasão Los Angeles para a Rocha “ Pinta Rosa “ na graduação A (25 mm a 9 mm).

Caracterização Tecnológica dos Milonitos da Área de Santo Antônio de Pádua e Seus Possíveis Usos na Indústria da Construção Civil

| Abrasão Los Angeles | |
|----------------------------------|--------------------------|
| Peneira (mm) | Peso Retido (g) |
| 12,5 | 2500 |
| 09,5 | 2500 |
| Total | 5000 |
| Retido na Peneira 1,7 mm | 2430 |
| Abrasão Los Angeles (%) | 51 |

Tabela 18: Resultados obtidos de Abrasão Los Angeles para a rocha “ Pinta Rosa “ na graduação B (12,5 mm – 9,5 mm).

| Abrasão Los Angeles | |
|----------------------------------|--------------------------|
| Peneira (mm) | Peso Retido (g) |
| 025 | 1.265 |
| 019 | 1.255 |
| 12,5 | 1.250 |
| 09,5 | 1.260 |
| Total | 5.030 |
| Retido na Peneira 1,7 mm | 2240 |
| Abrasão Los Angeles (%) | 55 |

Tabela 19 : Resultados obtidos de Abrasão Los Angeles para a Rocha “ Olho de Pombo “ na graduação A (25 mm a 9 mm).

Caracterização Tecnológica dos Milonitos da Área de Santo Antônio de Pádua e Seus Possíveis Usos na Indústria da Construção Civil

| Abrasão Los Angeles | |
|----------------------------------|--------------------------|
| Peneira (mm) | Peso Retido (g) |
| 12,5 | 2.500 |
| 09,5 | 2.500 |
| Total | 5.000 |
| Retido na Peneira 1,7 mm | 2380 |
| Abrasão Los Angeles (%) | 52 |

Tabela 20: Resultados obtidos de Abrasão Los Angeles para a rocha “ Olho de Pombo “ na graduação B (12,5 mm – 9,5 mm)



Foto 18: Tambor para realização do ensaio de Abrasão Los Angeles

4.3.10 - Velocidade de Propagação de Ondas Elásticas

4.3.10.1 - Considerações Preliminares

A finalidade é determinar a velocidade de propagação de ondas elásticas em materiais rochosos, em laboratório. Correlaciona-se com as propriedades físicas e alterabilidade das rochas. A maior porosidade e, conseqüentemente, absorção de água, como também, maior grau de alteração, contribuem para a redução da velocidade de propagação da onda no interior da amostra. A velocidade de propagação de ondas elásticas é função dos parâmetros elásticos, módulo de elasticidade e coeficiente de *Poison*, e da densidade da rocha. (ISRM, 1981).

Dessa forma, pode-se dizer que este ensaio é de extrema importância para o conhecimento das propriedades físicas das rochas e, portanto, útil para a avaliação da qualidade da rocha ensaiada.

4.3.10.2 - Metodologia

Este ensaio pode ser executado de três métodos distintos: 1) Técnica de pulsos ultrassônicos de alta frequência; 2) Técnica de pulsos ultrassônicos de baixa frequência; e 3) método de ressonância (ISRM, 1981).

Para a análise da propagação de ondas para as rochas em questão, neste trabalho, foi escolhido o primeiro método citado acima, pois serve tanto para a determinação da velocidade de ondas p (longitudinais), quanto de ondas s (transversais), sendo que apenas as primeiras foram calculadas.

Para a execução deste ensaio dois transdutores são fixados, um no topo e outro na base do corpo de prova. O transmissor converte pulsos elétricos, emitidos por um gerador de funções, em pulsos mecânicos através da vibração de cristais piezoelétricos, presentes no seu interior. A onda gerada se propaga na direção do comprimento do corpo de prova, e alcança o transdutor que faz a recepção do sinal, convertendo os pulsos mecânicos em sinais elétricos. Este sinal é lido por um osciloscópio que faz a

Caracterização Tecnológica dos Milonitos da Área de Santo Antônio de Pádua e Seus Possíveis Usos na Indústria da Construção Civil

medida do tempo de transito da onda (Foto 19). Para melhor fixação dos transdutores nos corpos de prova utiliza-se uma fina camada de graxa, retirada imediatamente após o ensaio.

Antes de ensaiar as amostras, o equipamento foi calibrado medindo-se o tempo que a onda leva para atravessar um corpo cilíndrico de liga metálica, cujo valor para o tempo de trânsito é conhecido. A inércia do sistema foi mediada, sendo considerada desprezível. Sabendo-se o tempo de propagação da onda nos corpos de prova e o comprimento de cada amostra, calcula-se sua velocidade de propagação pela fórmula abaixo:

$$V \text{ (m/s)} = \frac{D}{T}$$

Onde:

V - Velocidade de propagação de onda (m/s);

D - Comprimento do corpo-de-prova (m);

T - Tempo que a onda leva para atravessar todo o comprimento do corpo-de-prova (s).



Foto 19: Conjunto de aparelhos utilizados para a medição do tempo de propagação de ondas elásticas.

Caracterização Tecnológica dos Milonitos da Área de Santo Antônio de Pádua e Seus Possíveis Usos na Indústria da Construção Civil

4.3.10.3 – Resultados

| Velocidade de Propagação de Ondas elásticas | | | | |
|--|-----------------|-----------------|--------------------------------------|------------------------|
| Pinta Rosa | | | | |
| Amostra | H (cm) | D (cm) | T. Onda (μs) | V. Onda (m/s) |
| PR1-00 | 12,94 | 5,18 | 20,6 | 6280 |
| PR2-00 | 12,72 | 5,34 | 20,1 | 5910 |
| PR3-35 | 13,06 | 5,23 | 21,9 | 5960 |
| PR4-35 | 13,03 | 5,25 | 21,5 | 6060 |
| PR5-42 | 12,90 | 5,16 | 22,4 | 5760 |
| PR6-45 | 12,69 | 5,07 | 21,4 | 5920 |
| PR7-90 | 13,16 | 5,26 | 22,9 | 5740 |
| PR8-90 | 12,99 | 5,29 | 22,6 | 5740 |
| MÉDIA | 12,94 | 5,22 | 21,68 | 5921 |

Tabela 21: Resultado do ensaio de propagação de ondas elásticas para a rocha “ Pinta Rosa “

Caracterização Tecnológica dos Milonitos da Área de Santo Antônio de Pádua e Seus Possíveis Usos na Indústria da Construção Civil

| Velocidade de Propagação de Ondas elásticas | | | | |
|--|-----------------|-----------------|--------------------------------------|------------------------|
| Olho de Pombo | | | | |
| Amostra | H (cm) | D (cm) | T. Onda (μs) | V. Onda (m/s) |
| OP1-00 | 13,08 | 5,21 | 21,9 | 5970 |
| OP2-00 | 13,07 | 5,24 | 22,1 | 5910 |
| OP3-35 | 13,15 | 5,22 | 21,6 | 6080 |
| OP4-35 | 12,33 | 4,91 | 21,1 | 5840 |
| OP5-42 | 12,58 | 5,04 | 22,80 | 5510 |
| OP6-45 | 13,43 | 5,37 | 24,7 | 5430 |
| OP7-90 | 13,27 | 5,27 | 24,5 | 5410 |
| OP8-90 | 13,04 | 5,21 | 24,2 | 5400 |
| MÉDIA | 13,03 | 5,18 | 22,86 | 5693 |

Tabela 22: Resultado do ensaio de propagação de ondas elásticas para a rocha “ Olho de Pombo “.

Caracterização Tecnológica dos Milonitos da Área de Santo Antônio de Pádua e Seus Possíveis Usos na Indústria da Construção Civil

5 - Conclusões e Recomendações

Os ensaios são analisados separadamente abaixo, porém sabe-se que para a rocha ser utilizada como material de construção necessita que haja uma compreensão de todos os ensaios úteis referentes a cada finalidade.

Em algumas aplicações não há valores especificados para as propriedades tecnológicas das rochas. Com relação ao uso da rocha como lastro de ferrovia, por exemplo, não foram encontrados valores específicos para nenhum ensaio referente a acima citada utilização, porém essa aplicação será discutida mais a frente.

- Massa Específica Aparente - Todas as amostras analisadas encontram-se totalmente satisfatórias (Tabelas 03 e 04), acima dos valores mínimos propostos, tanto para a utilização da rocha como revestimento (ASTM C-615 e Frazão & Farjallat 1995), como em pavimento (DER - 3-54 T).
- Porosidade Aparente - 100% dos valores obtidos (Tabelas 03 e 04) estão acima do valor máximo sugerido (1,0%) para o uso adequado da rocha como revestimento de acordo com Frazão & Farjallat (1995).
- Absorção d'água - 100% dos valores obtidos (Tabelas 03 e 04) estão acima do valor máximo proposto (0,4%) pela norma da ASTM C-61 5 a por Frazão & Farjallat (1995) para o uso adequado da rocha como pedra de revestimento.
- No que se refere a forma dos agregados, segundo estudos realizados por Yoshida et. al. (1972), observou que há uma tendência a diminuição da porcentagem de fragmentos cúbicos com a redução da granulometria. De acordo com o mesmo autor, isto deve-se possivelmente, às condições de britagem a às características petrográficas do material em questão. Os resultados obtidos para as rochas estudadas neste trabalho (Tabelas 07, 08 e 09) se enquadram dentro da observação feita pelo autor. Devido à foliação das rochas, havia a expectativa de

Caracterização Tecnológica dos Milonitos da Área de Santo Antônio de Pádua e Seus Possíveis Usos na Indústria da Construção Civil

que os resultados obtidos, apresentassem baixa porcentagem de fragmentos cúbicos e alta porcentagem de fragmentos alongados, entretanto, os resultados não denotam isso o que torna as rochas " Olho de Pombo " e " Pinta Rosa " adequadas para utilização em concreto, pavimento e lastro de ferrovia, sem que se comprometa a estrutura do empreendimento.

- Abrasão Los Angeles - Os valores obtidos em ambas as graduações (Tabelas 17, 18, 19 e 20) não se enquadram dentro dos limites estabelecidos, tanto para a utilização apropriada da rocha como agregado de concreto (ASTM C33-67, 1970), quanto para utilização como pavimento (DER 3-4 T e ASTM - D692-67, 1970), todos fixando 50% de perda como máximo permitido.
- Impacto do Corpo Duro - Muito embora os resultados obtidos para as amostras utilizadas no ensaio (Tabelas 13 e 14) tenham sido insatisfatórios, é válido lembrar que as condições de ensaio são diferentes das propostas por Frazão e Farjallat. Os resultados porém são muito próximos, o que viabiliza o uso da rocha com o fim de revestimento, sendo que para tal uso a mesma merece cuidados durante o transporte, colocação e utilização, resguardando-a de possíveis impactos.
- Esmagamento - Os valores obtidos neste ensaio (Tabela 11) estão dentro do limite estabelecido pela norma da BSI - 882 (1969) para a utilização adequada da rocha como revestimento;
- Como agregado de concreto cuja superfície não esteja submetida a desgaste (45%) os resultados apresentam-se satisfatórios, entretanto não estão adequados à utilização em concreto com superfície sujeita a desgaste (< 30%). de acordo com a referida norma;
- Flexão - Os valores obtidos neste ensaio (Tabela 12) para o uso apropriado da rocha em revestimento estão acima do mínimo sugerido pela norma da ASTM C-615 e também por Frazão & Farjallat (1995), de 10,34 MPa e 10,0 MPa respectivamente;

Caracterização Tecnológica dos Milonitos da Área de Santo Antônio de Pádua e Seus Possíveis Usos na Indústria da Construção Civil

- Adesividade - Pela percepção visual da fixação do betume nos agregados das rochas “ Olho de Pombo “ e “ Pinta Rosa “, sem DOPE, observou-se que os resultados foram insatisfatórios para sua utilização como pavimento asfáltico, devido a fraca aderência apresentada pelas mesmas, com DOPE os resultados apresentaram-se satisfatórios para ambas as rochas;
- Velocidade de Propagação de Onda – Sugere-se que, para fins de revestimento, um valor mínimo de 4.000 m/s para esta propriedade, de acordo com Frazão & Farjallat (1995). Os ensaios da rocha " Olho de Pombo “ e Pinta Rosa “ mostram que 100% dos valores obtidos neste trabalho (Tabelas 21 e 22) estão acima do valor estabelecido. Novamente, se o uso da rocha for para revestimento, deve-se considerar as velocidades de propagação na direção perpendicular à foliação horizontal (90°).

Embora de grande valor, as especificações em si não deveriam aprovar ou rejeitar um material a ser utilizado, mas apenas enquadrá-lo em uma determinada classe, conforme suas características para determinada utilização. A decisão final deveria ficar sempre a cargo do idealizador do projeto, pois evidentemente a utilização do material depende principalmente das características do mesmo.

De acordo com as determinações acima e dos resultados obtidos nos ensaios constantes neste relatório chegamos às seguintes conclusões para a utilização das rochas “ Olho de Pombo “ e “ Pinta Rosa “ de acordo com a sua possível utilização para as finalidades propostas neste trabalho.

As rochas "Olho de Pombo “ e “ Pinta Rosa “ mostram-se inadequadas para o uso como agregado de concreto em construções de grande porte ou de grande importância devido à sua baixa resistência à abrasão e ao esmagamento, pois para tais empreendimentos todos os requisitos tem que ser satisfatórios, caso contrário os danos podem ser graves, o que não inviabiliza seu possível uso em construções de pequeno porte, como casas e outras nas quais o agregado não sofra elevado desgaste.

Ainda como agregado, também não se recomenda sua utilização em estradas de primeira categoria, onde haja tráfego intenso e cuja superfície de rolamento seja asfáltica, pois devido a baixa adesividade seu custo de manutenção seria alto.

Caracterização Tecnológica dos Milonitos da Área de Santo Antônio de Pádua e Seus Possíveis Usos na Indústria da Construção Civil

Os baixos valores de resistência à flexão e abrasão também não recomendam a utilização deste material como lastro de ferrovia.

Através da análise das propriedades tecnológicas da rocha em questão, conclui-se que sua principal vocação para construção civil está mesmo na utilização como revestimento, assim como já é utilizada de longa data.

Tendo em vista as restrições apontadas para sua utilização como agregado na construção civil e sua vocação para revestimento, deve-se tentar reduzir a produção de rejeitos durante todas as fases da produção, desmonte, beneficiamento e comercialização pois a preocupação com os danos ambientais e com as perdas do material durante o processo produtivo significam lavra de qualidade e um conseqüente aumento de produtividade e lucros.

Caracterização Tecnológica dos Milonitos da Área de Santo Antônio de Pádua e Seus Possíveis Usos na Indústria da Construção Civil

Caracterização Tecnológica dos Milonitos da Área de Santo Antônio de Pádua e Seus Possíveis Usos na Indústria da Construção Civil

6 - Bibliografia

- **ABNT. 1980. NBR 6481** – Determinação da resistência ao desgaste de ladrilhos cerâmicos não esmaltados por meio de ensaio de abrasão. 1 pág.;
- **ABNT 1983 NBR 7809** – Agregado graúdo – Determinação do índice de forma pelo método do paquímetro. 3 pág.;
- **ABNT. 1984. NBR 6465** – Agregados – Determinação da abrasão “ Los Angeles “. 5 pág.;
- **ABNT 1987; NBR 9938** – Agregados – Determinação da resistência ao esmagamento de agregados graúdos. 4 pág.;
- **ABNT.1987. MB 893** – Lastro padrão – Determinação da massa específica aparente, da absorção de água e porosidade aparente do material. 2 pág.;
- **ABNT. 1990. NBR 6954** – Lastro padrão – Determinação da forma do material. 2 pág.;
- **ABNT. 1992. NBR 12583** – Agregado graúdo – Verificação da adesividade ao ligante betuminoso. 2 pág.;
- **ABNT. 1992. NBR 12763** – Rochas para revestimento – Determinação da resistência à flexão. 3 pág.;
- **ABNT. 1992. NBR 12764** – Rochas para revestimento – Determinação da resistência ao impacto de corpo duro. 2 pág.;

Caracterização Tecnológica dos Milonitos da Área de Santo Antônio de Pádua e Seus Possíveis Usos na Indústria da Construção Civil

- **ABNT. 1992. NBR 12766** – Rochas para revestimento – Determinação da massa específica aparente, absorção de água e porosidade aparente. 2 pág.;
- **CANHA G. S. 2000** Mapeamento Geológico Estrutural de um Segmento da Falha de Santo Antônio de Pádua e Aspectos Econômicos e Ambientais da Lavra do Sr. Aílson Magalhães Macedo. Relatório Final de conclusão da disciplina Estágio de Campo IV. Departamento de Geologia UFRJ, Rio de Janeiro;
- **CANINE J. M. M. 1992.** Pedra Miracema - A Rocha Ornamental de Santo Antônio do Pádua RJ. 37^o Congresso Brasileiro de Geologia, São Paulo, SP. Anais... São Paulo, SBG 2V. V1 p. 266 – 267;
- **CANINE J. M. M & Rocha R. L. S. 1994.** Pedra Paduana - A Região Produtora da Serra do Bonfim – RJ. 38^o Congresso Brasileiro de Geologia Camboriú, SC. Anais... Camboriu, SBG. 3V. V1 pág. 433 – 434;
- **Catálogo das Rochas Ornamentais do Estado de São Paulo. 1990.** Coordenador Luiz Geraldo Caruso – São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas. Secretaria da Ciência, Tecnologia e Desenvolvimento Econômico – SCTDE. São Paulo, SP, 120 pág.;
- **Catálogo das Rochas Ornamentais do Estado do Espírito Santo. 1993.** Coordenador Ely Borges Frazão – São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas. Secretaria do Estado do Desenvolvimento Econômico – SEDES. Vitória, ES. 70 pág.;
- **Catálogo das Rochas Ornamentais do Estado da Bahia. 1994.** Coordenador Hélio Carvalho Antunes de Azevedo. Salvador. Instituto de Pesquisas

Caracterização Tecnológica dos Milonitos da Área de Santo Antônio de Pádua e Seus Possíveis Usos na Indústria da Construção Civil

Tecnológicas. Secretaria do Estado do Desenvolvimento Econômico – SEDES. Salvador, BA. 148 pág.;

- **CHIODI FILHO C. & RODRIGUES, E. P. 1997.** Análise Comparativa de Mármore e Granitos para Revestimento de Edificações. Rochas de Qualidade. Granitos, Mármore & Pedras Ornamentais. Novembro/dezembro Ed 137, pg 70-86.
- **DAYAN, H. & CORREA NETO, 1997.** Re – milonitização nas rochas da Ilha dos Pombos - RJ, Rio Paraíba do Sul. Simpósio Nacional de Estudos Tectônicos, IV. SBG núcleo MG (12) 339 – 342;
- **DRM 1980** Projeto Carta Geológica do Estado do Rio de Janeiro - Texto Explicativo da Folha de Santo Antônio de Pádua (SF23 Y DVI 2) escala 1: 50.000 Departamento de Recursos Minerais – DRM/RJ p. 9 – 34;
- **ERTHAL, F. L. C. MANSUR, K. L. NOGUEIRA, G. S. 1998,** Gestão Ambiental da Mineração - O Caso de Santo Antônio de Pádua - RJ Departamento de Recursos Minerais DRM/RJ. 12 pg.;
- **ESTUDO ECONÔMICO SOBRE ROCHAS ORNAMENTAIS. 1996** - Vol 3: Tecnologias de lavra e beneficiamento de rochas ornamentais . Federação das Industrias do Estado do Ceará. Instituto Euvaldo Lodi - IEL/CE Fortaleza. Agosto 1996;
- **FRASCÁ M. H. B. C. & QUITETE, E. B. 2000.** Rochas Ornamentais do Estado de São Paulo - Características Tecnológicas. Rochas de Qualidade. Granitos, Mármore & Pedras Ornamentais. Setembro/outubro, Ed. 154 pg. 154 – 171;

Caracterização Tecnológica dos Milonitos da Área de Santo Antônio de Pádua e Seus Possíveis Usos na Indústria da Construção Civil

- **GROSS SAD J. H. & DONADELLO MOREIRA M. 1978** Geologia e Recursos Minerais da Falha Santo Antônio de Pádua, Estado do Rio de Janeiro. Relatório preparado por GEOSOL Geologia e Sondagens Ltda Departamento do Recursos Minerais DRM.

- **INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS. 1966.** Características tecnológicas das rochas do Estado de São Paulo. Ed.: Murillo Dondici Ruiz. Boletim nr. 50, 121 pág;

- **NOGUEIRA G. S. 2000.** Macrozoneamento do Município de Santo Antônio do Pádua usando Técnicas de geoprocessamento: Subsídios para o Licenciamento Mineral. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós Graduação em Geologia na Universidade Federal do Rio de Janeiro, 95 pág.;

- **OLIVEIRA, T.M.A. 1998.** Avaliação Técnico Econômica da extração de Rocha Ornamental no Município de Santo Antônio de Pádua – RJ. Dissertação de Mestrado da Universidade Federal do Rio de Janeiro, 156 pág.;

- **RODRIGUES, E. P., COUTINHO, J.M.V. & CHIODI FILHO, C. 1996.** Petrografia microscópica: Uma visão do passado, Presente e Futuro das Rochas. Rochas de Qualidade. Granitos, Mármore e Pedras Ornamentais. Março - Abril Ed. 127 pág 80-84

- **VARGAS E.A.J. & NUNES A.L.L.S. 1992** Noções de Mecânica das Rochas. Departamento de Engenharia Civil PUC Rio do Janeiro 193 pág.;

- **VIDAL F.W.L., BESSA M.F. & LIMA M.A.B. 2001.** Avaliação Tecnológica das Rochas Graníticas do Ceará. Rochas de Qualidade Granitos, Mármore & Pedras

Caracterização Tecnológica dos Milonitos da Área de Santo Antônio de Pádua e Seus Possíveis Usos na Indústria da Construção Civil

Ornamentais. Janeiro – Fevereiro. Ed 156, pág. 76-86;

- **YOSHIDA, R FARJALLAT, J.E.S.; CARUSO, L.G. & FRAZÃO, E.B. 1972** Sugestão de Roteiro e Escolha de Ensaio Tecnológicos de Rochas. Anais da 4^a. Semana de Geologia Aplicada. São Paulo. Novembro e Dezembro, pág.: 199 – 299;
- **YOSHIDA, R.; FRAZÃO, E.B. & GIROLDO, A.M.P., 1972.** Estudo Sobre a Forma de Agregados Rochosos. Anais da 4^a. semana de Geologia Aplicada. São Paulo, Novembro e Dezembro, pág 285 – 305.