

✓

CONSIDERAÇÕES SOBRE A CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA, A EXPLOTAÇÃO E OS USOS DO ARENITO BOTUCATU SILICIFICADO NA REGIÃO DE SÃO CARLOS - SP

EMILIANO Z. FRETES PORTILLO

ORIENTADOR: PROF. DR. ANTENOR BRAGA
PARAGUASSU

DISSERTAÇÃO APRESENTADA A ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS, DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO, COMO REQUISITO PARCIAL A OBTENÇÃO DO TÍTULO DE MESTRE EM GEOTECNIA.

DEDALUS - Acervo - EESC



31100036205

SÃO CARLOS - SP
DEZEMBRO - 1988



AGRADECIMENTOS

Ao Prominério, da Secretaria de Ciência e Tecnologia do Estado de São Paulo, que permitiu a realização deste trabalho.

Ao Prof. Dr. Antenor Braga Paraguassu pela orientação e constante apoio recebido.

Aos Professores Dr. Nilson Gandolfi, Dr. José Eduardo Rodrigues e Dr. Lázaro Valentin Zuquette pela ampla colaboração.

Ao Prof. Airton Bortolucci pelas sugestões recebidas.

Aos Funcionários Osvaldo Buckwieser Júnior, Décio Aparecido Lourenço, Antonio Claret Carriel, Maristela Aparecida Zotesso Batis-saco e Thereza Giacomo Crnkowics.

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	i
LISTA DE FIGURAS	ii
LISTA DE TABELAS	iv
RESUMO	v
CAPITULO 1 - INTRODUÇÃO	1
CAPITULO 2 - LOCALIZAÇÃO E ASPECTOS DA FISIOGRAFIA E DA GEOLOGIA REGIONAL	2
2.1 - Localização e aspectos fisiográficos	2
2.2 - Aspectos da geologia regional	6
CAPITULO 3 - RECONHECIMENTO DE CAMPO E AMOSTRAGEM	12
3.1 - Introdução	12
3.2 - Descrição das pedreiras	13
3.3 - Tipos de arenito	33
3.4 - Amostragem	33
CAPITULO 4 - ENSAIOS	34
4.1 - Introdução	34
4.2 - Ensaios petrográficos.....	36
4.3 - Ensaios físicos	44
4.3.1 - Massa específica aparente seca e saturada, absorção de água e po- rosidade aparente	44
4.3.2 - Ensaio de forma	45
4.3.3 - Determinação da expansão	45
4.3.4 - Módulo de deformabilidade dinâ- mico e velocidade de propagação de ultra-som	46

4.4 - Ensaaios mecânicos	48
4.4.1 - Resistência à abrasão Los Angeles	48
4.4.2 - Resistência à abrasão a úmido	49
4.4.3 - Resistência ao esmagamento	52
4.4.4 - Resistência ao impacto Treton	52
4.4.5 - Resistência à carga pontual	53
4.4.6 - Resistência à compressão simples	55
4.4.7 - Resistência a flexão	56
4.4.8 - Resistência ao atrito de escorregamento	57
4.5 - Ensaaios químicos	58
4.5.1 - Ensaio de adesividade com betume	58
4.5.2 - Ensaio de sanidade com sulfato de sódio e avaliação mecânica inicial e final	58
4.5.3 - Ensaio de sanidade por imersão em etileno-glicol e avaliação me- cânica inicial e final.....	59
4.5.4 - Ensaio de ciclagem água-estufa e avaliação mecânica inicial e final ...	61
4.5.5 - Avaliação da resistência a soluções ácidas e básicas	62
4.6 - Avaliação da trabalhabilidade	64
CAPITULO 5 - DISCUSSAO	66
5.1 - Forma de ocorrência e exploração	66
5.2 - Características tecnológicas	67
5.3 - Utilização	70
CAPITULO 6 - CONCLUSOES	74
BIBLIOGRAFIA CONSULTADA	75

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1	- Mapa de localização	3
Figura 2.2	- Mapa geomorfológico	4
Figura 2.3	- Mapa geológico	7
Figura 3.2	- Croqui geral das pedreiras entre Araraquara e São Carlos	14
Figura 3.3	- Croqui geral das pedreiras entre São Carlos e Itirapina	15
Figura 3.4	- Escarpa de Arenito Botucatu com três frentes de exploração	16
Figura 3.5	- Vista geral da Pedreira Grosso	19
Figura 3.6	- Extração de lajes em acamamento inclinado	20
Figura 3.7	- Detalhe da extração de lajes em acamamento inclinado	20
Figura 3.8	- Aparelhamento manual de lajes	21
Figura 3.9	- Lajes prontas para o mercado	21
Figura 3.10	- Extração de lajes na Pedreira Migliato	28
Figura 3.11	- Quebra de blocos para usos diversos	29
Figura 3.12	- Confeção de "petit-pavé"	29
Figura 3.13	- Fraturas e brechas "destaques" aproveitadas para desmonte de blocos	32
Figura 3.14	- Extração de blocos na Pedreira Garcia	32
Figura 4.1	- Arenitos com espaços intergranulares preenchidos por cordões de sílex	40
Figura 4.2	- Detalhe da figura anterior	40
Figura 4.3	- Arenito fino a medio, apresentando espaços intergranulares preenchidos por cordões de sílica microcristalina	41
Figura 4.4	- Bloco diagrama comparativo de resistência à abrasão a úmido de arenitos, após ciclagem água/estufa (5 ciclos)	51
Figura 4.5	- Amostras de arenito preparadas para ensaio de ciclagem água/estufa	63
Figura 4.6	- As mesmas amostras da figura anterior, após 45 ciclos água/estufa	63
Figura 5.1	- Exploração de rejeitos da exploração de arenito na Pedreira Araujo	68
Figura 5.2	- Aplicação de arenito como "petit-pavé", juntamente com basalto	72

LISTA DE TABELAS

Tabela 4.1	- Índices físicos	44
Tabela 4.2	- Determinação da expansão	46
Tabela 4.3	- Ensaio de ultrassom.....	47
Tabela 4.4	- Resistência à abrasão Los Angeles	48
Tabela 4.5	- Resistência à abrasão a úmido	49
Tabela 4.6	- Resistência à abrasão a úmido após ciclagem água estufa (5 ciclos)	50
Tabela 4.7	- Resistência ao esmagamento	52
Tabela 4.8	- Resistência ao impacto Ireton	53
Tabela 4.9	- Resistência a carga pontual	54
Tabela 4.10	- Resistência à compressão simples	55
Tabela 4.11	- Resistência a flexão (amostra 19)	56
Tabela 4.12	- Resistência a flexão (amostra 20)	57
Tabela 4.13	- Resistência ao atrito de escorregamento	57
Tabela 4.14	- Ensaio de sanidade com sulfato de sódio	58
Tabela 4.15	- Avaliação mecânica por esmagamento do material ciclado com sulfato de sódio	59
Tabela 4.16	- Ensaio de sanidade por imersão em etilenoglicol ...	60
Tabela 4.17	- Ciclagem água/estufa	61
Tabela 4.18	- Avaliação mecânica por esmagamento material ciclado com água/estufa	61

Figura 5.3 - Estrutura de arrimo em gabião preenchido com fragmentos irregulares de arenito silicificado, usado na retificação do Corrego do Monjolinho 72

Figura 5.4 - Aplicações de arenito: lajes aparelhadas manualmente (coluna) e lajes polidas com bordas serradas (piso e escadaria) 73

Figura 5.5 - Lajes com aparelhamento manual perpendicular ao acamamento 73

RESUMO

A formação Botucatu (J-K) apresenta-se com grande expressão superficial no Estado de São Paulo, sendo que na região de São Carlos/SP existe um grande número de pedreiras de Arenito Botucatu silicificado, sejam ativas ou não.

Neste trabalho são apresentados, tanto resultados de ensaios de caracterização tecnológica realizados como também considerações a respeito da exploração e do uso do Arenito Botucatu silicificado na construção civil. Constatou-se que estes arenitos possuem extrema dureza e resistência sendo excelentes materiais de construção, principalmente quando aplicados para uso externo em residências e obras públicas.

1. INTRODUÇÃO

O Arenito Botucatu apresenta-se com grande expressão superficial no Estado de São Paulo sendo que na região de São Carlos, SP existe um número considerável de pedreiras ativas ou desativadas. Registros locais mostram que sua utilização como material de construção tem sido constante há aproximadamente um século, sendo uma rocha de excelente qualidade para uso em determinadas obras civis. Por essas razões e levando-se em conta a falta, quase total, de pesquisas específicas a respeito das características tecnológicas dessa rocha, a Secretaria de Ciência e Tecnologia do Estado de São Paulo, através do Pró-Minério, financiou a realização de um projeto para tal fim.

O presente trabalho faz parte deste projeto onde, além da caracterização tecnológica, são apresentadas considerações a respeito da exploração e uso do Arenito Botucatu. foram executados reconhecimento de campo da região de São Carlos SP, visitas e amostragem nas pedreiras, assim como um levantamento de informações nos locais onde a rocha é trabalhada e comercializada.

2 - LOCALIZAÇÃO E ASPECTOS DA FISIOGRAFIA E DA GEOLOGIA REGIONAL

2.1 - Localização e aspectos fisiográficos

São feitas, a seguir, considerações a respeito dos aspectos geomorfológicos apresentados pela área abrangida no projeto de pesquisa, sendo esta localizada na região de São Carlos (Fig. 2.1).

A área de estudo acha-se compreendida entre as longitudes de $47^{\circ} 45'$ e $48^{\circ} 15'$ W e as latitudes de $21^{\circ} 45'$ e $22^{\circ} 20'S$. Segundo Almeida (1964), encontra-se na porção norte da Província Geomorfológica das Cuestas Basálticas. Ponçano e outros (1981) relatam a ocorrência, nessa região, das seguintes formas de relevo (Fig. 2.2):

a. Relevo de agradação

111 - Planícies aluviais continentais

b. Relevo de degradação em planaltos dissecados.

212 - relevo colinoso com colinas amplas

213 - relevo colinoso com colinas médias

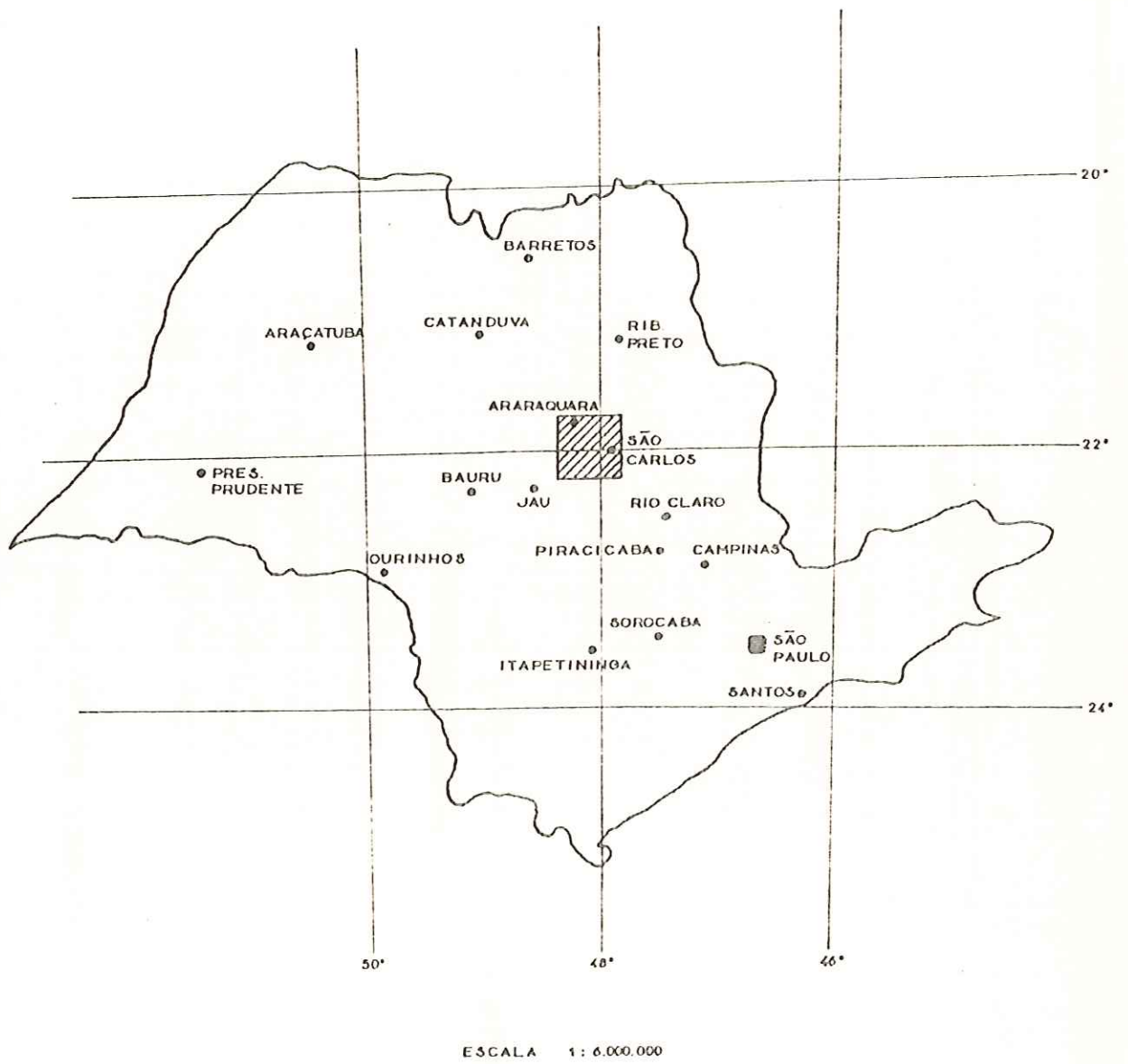
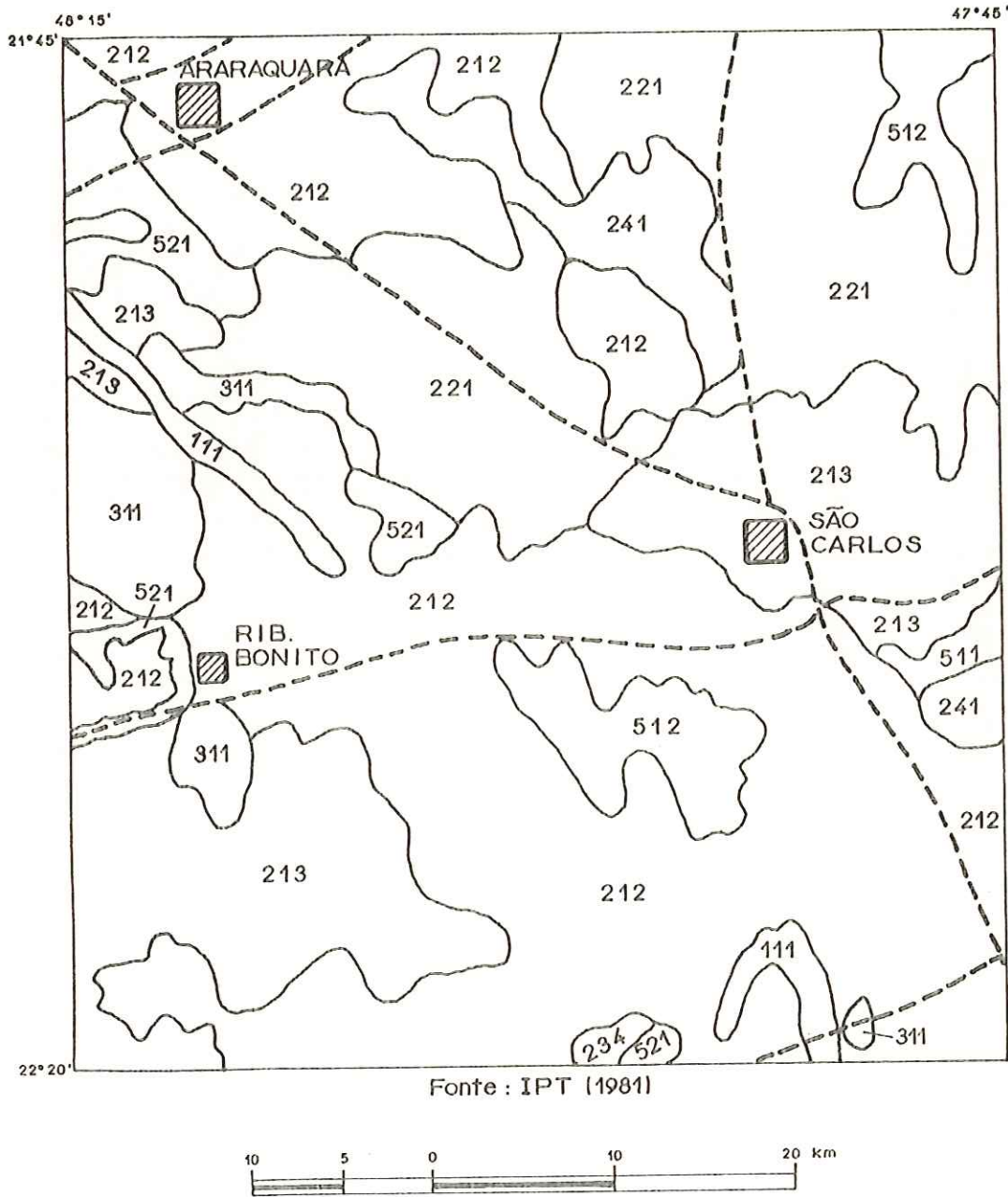


Fig. 2.1: Mapa de Localização

Figura 2.2: Mapa Geomorfológico



- 221 - relevo de morros com encostas suavizadas - morros amplos
- 234 - relevo de morrotes alongados e espigões
- 241 - relevo de morros arredondados

c. Relevos residuais suportados por litotipos particulares

- 311 - sustentados por maciços básicos-mesas basálticas

d. Relevos de transição

- 511 - encostas não escarpadas, sulcadas por vales subparalelos
- 512 - encostas não escarpadas com canhões locais
- 521 - escarpas festonadas

As maiores altitudes existentes estão ao redor de 1000 m, representadas pelo morro Grande, serra do Cruzeiro e serra do Córrego Fundo; entretanto, na maior porção da área, as cotas variam entre 600 a 800 metros.

Aproximadamente 80% dessa área acha-se drenada pelo rio Jacaré-Guaçu e seus afluentes; o restante, pelos afluentes do rio Moji-Guaçu.

Os afluentes do Moji-Guaçu, partindo de zonas bem elevadas, entalham profundamente o planalto, criando um aspecto bem movimentado de relevo, constituído de mesas e morros elevados. V. 10/50

O rio Jacaré-Guaçu apresenta, em sua cabeceira, o mesmo entalhe profundo, com relevo semelhante ao descrito, salvo os afluentes da margem esquerda que no planalto de Itirapina correm em superfície bastante plana.

De maneira geral, toda a drenagem secundária da região, devido ao forte declive de seus cursos pela proximidade do nível de base, está entalhando ativamente as cabeceiras.

Nessa área, a precipitação total média é de 1569 mm, a evaporação anual é de 1431 mm, a umidade relativa do ar é de 66,3%, a temperatura sensível é de 17,1°C, a média de 20°C. na classificação

citar a fonte

Koppen, o clima pode ser classificado como Cwa.

A vegetação original predominante é o cerrado, que se acha sempre associado aos terrenos arenosos, caracterizado por plantas de pequeno porte, muito desuniformes e relacionadas principalmente as gramíneas. Árvores de médio porte e arbustos se associam aos solos de encostas da Formação Serra Geral.

Todavia, cabe enfatizar que a maior parte da área se acha cultivada e também florestada.

2.2 - Aspectos da geologia regional

São apresentados os aspectos geológicos mais relevantes das unidades que ocorre na áreas em estudo, salientando que todas elas estão inseridas no flanco nordeste da Bacia Sedimentar do Paraná (Fig. 2.3).

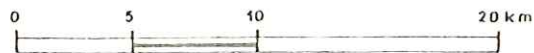
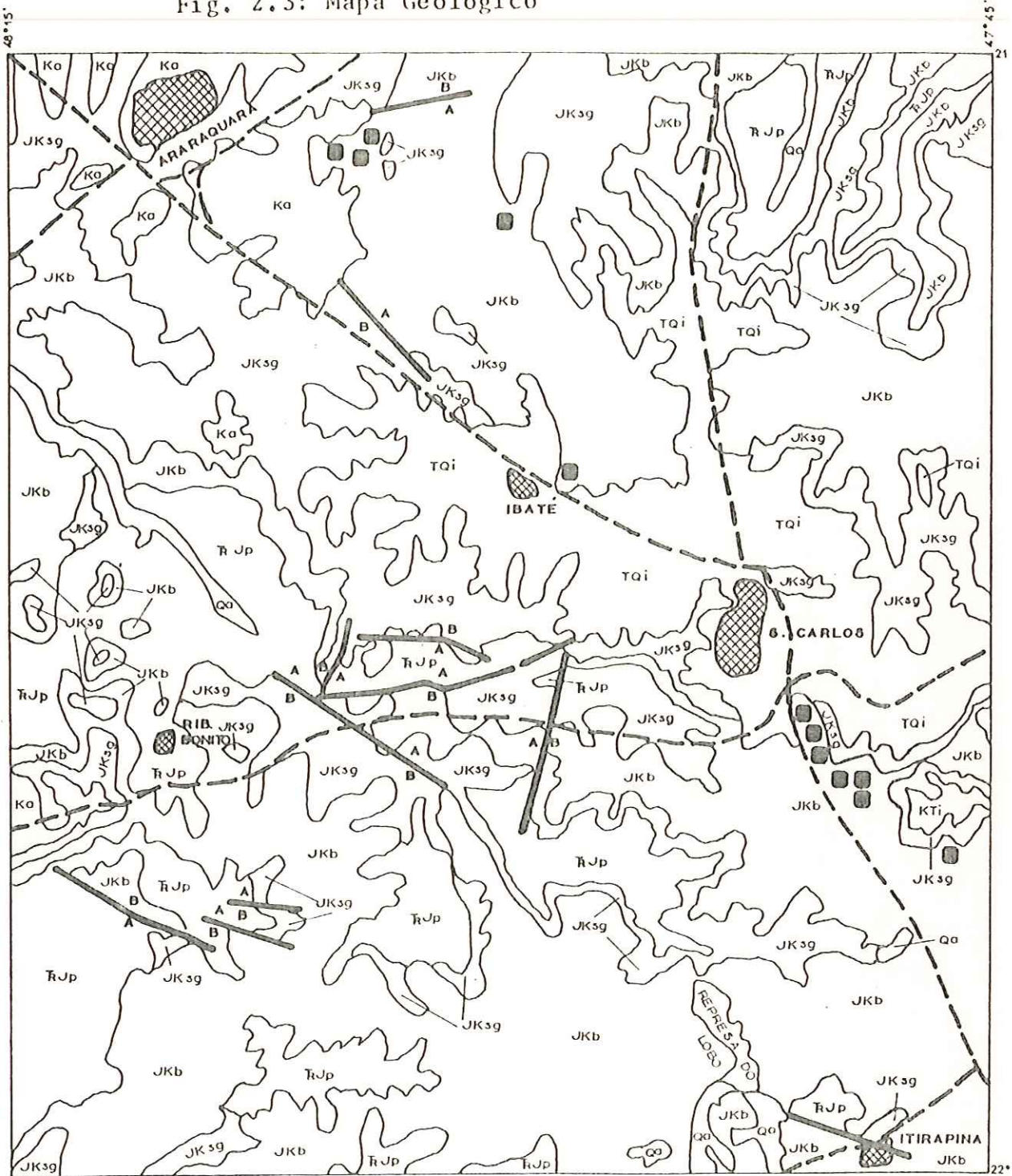
GRUPO SAO BENITO (Tr-K)

Este grupo é constituído por sedimentos predominantemente arenosos que se alternam com derrames basálticos, ocorrendo também formas intrusivas relacionadas ao magmatismo básico. Ele representa o início da sedimentação mesozóica iniciada no Triássico e inclui as formações Pirambóia, Botucatu e Serra Geral.

FORMAÇÃO PIRAMBOIA (Tr-J)

A base dessa formação se assenta sobre um material heterogêneo com todas as aparências de um regolito fóssil (Almeida & Barbosa, 1953). Este regolito é composto por fragmentos angulosos de diversos tamanhos, de sílex, arenitos e siltitos da formação subjacente, matriz vermelha ou com manchas brancas areno-argilosas (Almeida & Barbosa, op. cit.).

Fig. 2.3: Mapa Geológico



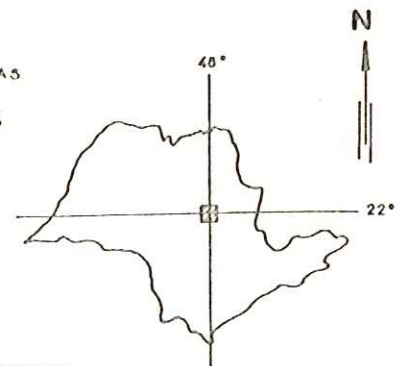
FONTE IPT (1981)



- Qo - SEDIMENTOS ALUVIONARES
- Tqi - COBERTURA DA SERRA DE SANTANA E SIMILARES
- Kti - Fm. ITAQUERI
- Ko - Fm. ADAMANTINA
- JKsg - Fm. SERRA GERAL
- Jkb - Fm. BOTUCATU
- Trjp - Fm. PIRAMBÓIA



■ PEDREIRA DE ARENITO



A Formação Piramboia é composta predominantemente por pacotes de arenitos com granulação média a fina, mal selecionados, sucedidos por pacotes de arenitos de granulação mais fina com camadas de folhelhos e lamitos. Na porção superior, ocorrem arenitos grossos a conglomeráticos.

As estruturas encontradas são: estratificação cruzada de médio a grande porte do tipo tangencial e estratificação plano-paralela.

Os fósseis atribuídos a Formação Pirambóia são os conchostráceos, os ostracódios, as escamas de peixes e raros restos vegetais.

O contato superior da Formação Pirambóia pode ser ou concordante ou discordante com a Formação Botucatu, de acordo com as condições locais de deposição.

FORMAÇÃO BOTUCATU (J-K)

Esta formação se inicia por arenitos subaquáticos de granulação média a grossa, com grãos bem arredondados (de provável contribuição eólica), apresentando intercalações de leitos argilosos com coloração vermelha. Passam gradualmente para facies eólica, que é representada por arenitos com estrutura típica de dunas. Novamente, ocorrem sedimentitos de origem aquática, não somente abaixo das intrusivas básicas da Serra de Santana, como também acima delas, que se repetem até a cota de 820 metros, no contato com o Grupo Bauru.

Estes sedimentitos hidroclásticos são constituídos, em grande parte, por arenitos conglomeráticos, com estratificação cruzada acanalada, possuindo grande número de ventifactos espalhados na matriz arenosa. São também comuns entre os seus megaclastos, pelotas de argila de vários tamanhos.

Os sedimentitos da Formação Botucatu estão ligados ao in-

tenso vulcanismo de fenda ocorrido na Bacia do Paraná e, além de associarem-se no topo com efusivas básicas, são entrecortados por "sills" e diques de diabásio.

O contato superior da Formação Botucatu com a Formação Serra Geral se faz por interdigitação onde o derrames de basaltos passam a recobri-la.

FORMAÇÃO SERRA GERAL (J-K)

São rochas típicas dessa formação os basaltos, os arenitos com características semelhantes aos da Formação Botucatu e ainda as intrusões principalmente na forma de diques e "sills". A espessura geral do pacote tende a aumentar no sentido leste-oeste, ou seja, da borda para o centro da bacia. Os diques de diabásio, que preenchem fendas de tração, são observados cortando praticamente todas as rochas sedimentares e ainda as cristalinas pré-cambrianas.

Os arenitos que ocorrem entre derrames de basalto apresentam estruturas típicas de dunas. Nos derrames, principalmente nos de maior espessura, ocorrem várias estruturas dependendo da porção entocada, a saber: maciça, vesicular, amigdaloidal e juntas subverticais e horizontais.

Recobrando a Formação Serra Geral, em discordância angular, aparecem as diversas formações do Grupo Bauru ou Sedimentos Cenozóicos.

GRUPO BAURU (K)

As rochas componentes dessa unidade se constituem nos materiais que marcaram o final dos processos deposicionais de grande

expressão em área na Bacia do Paraná. Tal fato foi possível graças à preservação da sua área de ocorrência relativamente aos processos tectônicos de soerguimento que ocorreram praticamente em toda a Plataforma Sul-Americana. Assim, a área deprimida se constituiu em ambiente para a deposição das Formações Caiuá, Santo Anastácio, Adamantina e Marília. Observa-se que, na região investigada, ocorre apenas a Formação Adamantina.

FORMAÇÃO ADAMANTINA (K)

Lapeando grande extensão do Oeste Paulista, a Formação Adamantina é constituída predominantemente por bancos de arenitos que se alternam com siltitos, arenitos lamíticos e lamitos. Os arenitos têm granulação fina, coloração rósea a castanha, apresentam estratificação cruzada e espessuras que podem atingir até 20 metros. Seixos de argilito da própria unidade não são raros, assim como nódulos carbonáticos.

Os depósitos da Formação Adamantina apresentam variações regionais e podem recobrir materiais das Formações Serra Geral, Botucatu e Santo Anastácio. O contato superior com a Formação Marília pode se dar bruscamente ou por interdigitação.

FORMAÇÃO ITAQUERI (K)

Os materiais dessa unidade ocorrem no reverso das cuestas basálticas sob a forma de manchas que se destacam no relevo. Sua posição estratigráfica ainda é motivo de controvérsia, sabendo-se entretanto que são coberturas sedimentares pós-basálticas. Litologicamente, é constituída por "membros alternados de arenitos com cimento argiloso, folhelhos e conglomerados. Predominam inteiramente os arenitos, sendo os demais termos de extensão limitada, geralmente corpos lenticulares alongados. Camada de conglomerado basal existe na

maior parte da formação" (Almeida & Barbosa, 1953). A granulação dos arenitos é variável desde textura fina até grossa, podendo ser arco-seanos. A formação é pobre em estruturas sedimentares que, quando presentes nos arenitos, não são bem distintas e caracterizam estratificação cruzada ou plano-paralela.

FORMAÇÃO RIO CLARO (T-Q)

Esta unidade foi definida por Bjornberg & Landim (1966) como depósitos sedimentares encontrados na bacia do rio Piracicaba, a uma altitude de 600 a 800m, apresentando, no contato inferior, um nível de conglomerado assentado sobre superfície de erosão.

Litologicamente, é constituída por sedimentos areníticos, por vezes conglomeráticos, com lâminas e leitos de argila subordinados.

As principais estruturas sedimentares encontradas são: estrutura maciça, estratificação cruzada, estruturas de corte e preenchimento e estruturas de dessecação.

Segundo Bjornberg & Landim (op. cit.), essa formação foi depositada sob clima semi-árido, com contribuição de ciclos de erosão e deposição, cobrindo vastas áreas com finas camadas sedimentares. Para Fúlfaro & Suguio (1968, in IPT, 1981) a sua origem estaria ligada a ambiente fluvial, sob imposição tectônica.

Ainda segundo aqueles autores, a maior abundância de "sills" básicos a norte do rio lieté, condiciona uma ocorrência maior de depósitos aluviais nesta parte da Depressão Periférica, constituídos de areias inconsolidadas, argilas e cascalheiras fluviais em depósitos de várzeas e terraços.

3 - RECONHECIMENTO DE CAMPO E AMOSTRAGEM

3.1 - Introdução

Com base na investigação bibliográfica e no conhecimento prévio das áreas pesquisadas, foi realizado reconhecimento de campo que serviu de suporte para a execução da coleta de amostras.

Esse levantamento constou das seguintes fases:

- a. localização das pedreiras de arenito, ativas e desativadas, sendo também considerados os afloramentos potencialmente explotáveis;
- b. descrição geológica dos pontos localizados no item a;
- c. levantamento de informações adicionais referentes ao tipo de material comercialmente explotado, técnicas e custos de explotação, mão de obra disponível, etc.;
- d. definição dos tipos de materiais de interesse para o estudo em desenvolvimento.

A grande facilidade de acesso, aliada a proximidade do nosso local de trabalho que se situa dentro da área estudada, permitiu a realização dessa parte da pesquisa em duas etapas. Na primeira, foram feitas varias visitas as pedreiras e afloramentos para permitir um adequado conhecimento da forma de ocorrência dos materiais explotados e das técnicas de explotação utilizadas, também, estas visi-

tas, permitiram a diferenciação dos principais tipos de materiais existentes, sejam eles explorados ou não. Na segunda procedeu-se a uma amostragem criteriosa de todos os tipos de arenitos existentes, coletando-se não só o material explorado como também o estéril.

3.2 - Descrição das pedreiras

De acordo com o descrito no item anterior, a Figura 3.1, em anexo, mostra a localização das pedreiras, bem como afloramentos potencialmente exploráveis de Arenito Botucatu entre as cidades de Araraquara, São Carlos e Itirapina.

As Figuras 3.2 e 3.3 correspondem aos dois croquis gerais, onde estão localizados os pontos observados, correspondentes às regiões entre Araraquara/São Carlos e São Carlos/Itirapina. Nota-se que os afloramentos de arenito possíveis de virem a ser explorados praticamente correspondem à extensão das pedreiras conhecidas, uma vez que fazem parte de uma mesma frente de escarpa. (Fig. 3.4).

Pedreira: Boni (1)

Localização: Próxima a Estação Ouro da (Município de Araraquara).

Situação atual: abandonada há mais de 6 anos.

Características:

A pedreira possui uma única frente de exploração, com 80 m de extensão por 12 m de altura. A causa principal que a levou a desativação foi a falta de mão de obra.

O maciço apresenta-se pouco fraturado e com pequenas faixas intemperizadas; a espessura do estéril é de + 10 m. O arenito é bem silicificado, de granulação grossa e de coloração amarela.

Figura 3.2: Croqui geral das pedreiras de arenito entre Araraquara e São Carlos

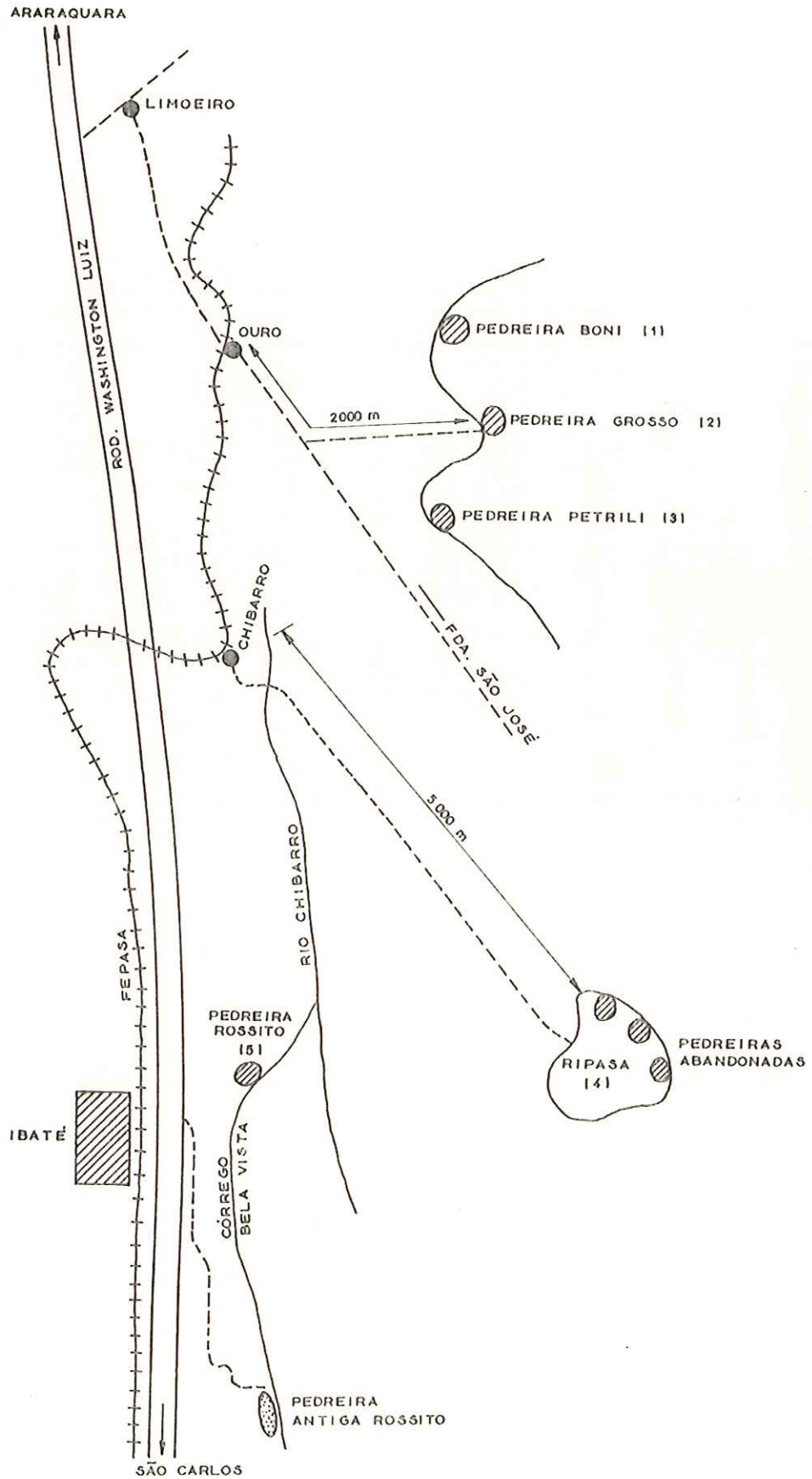
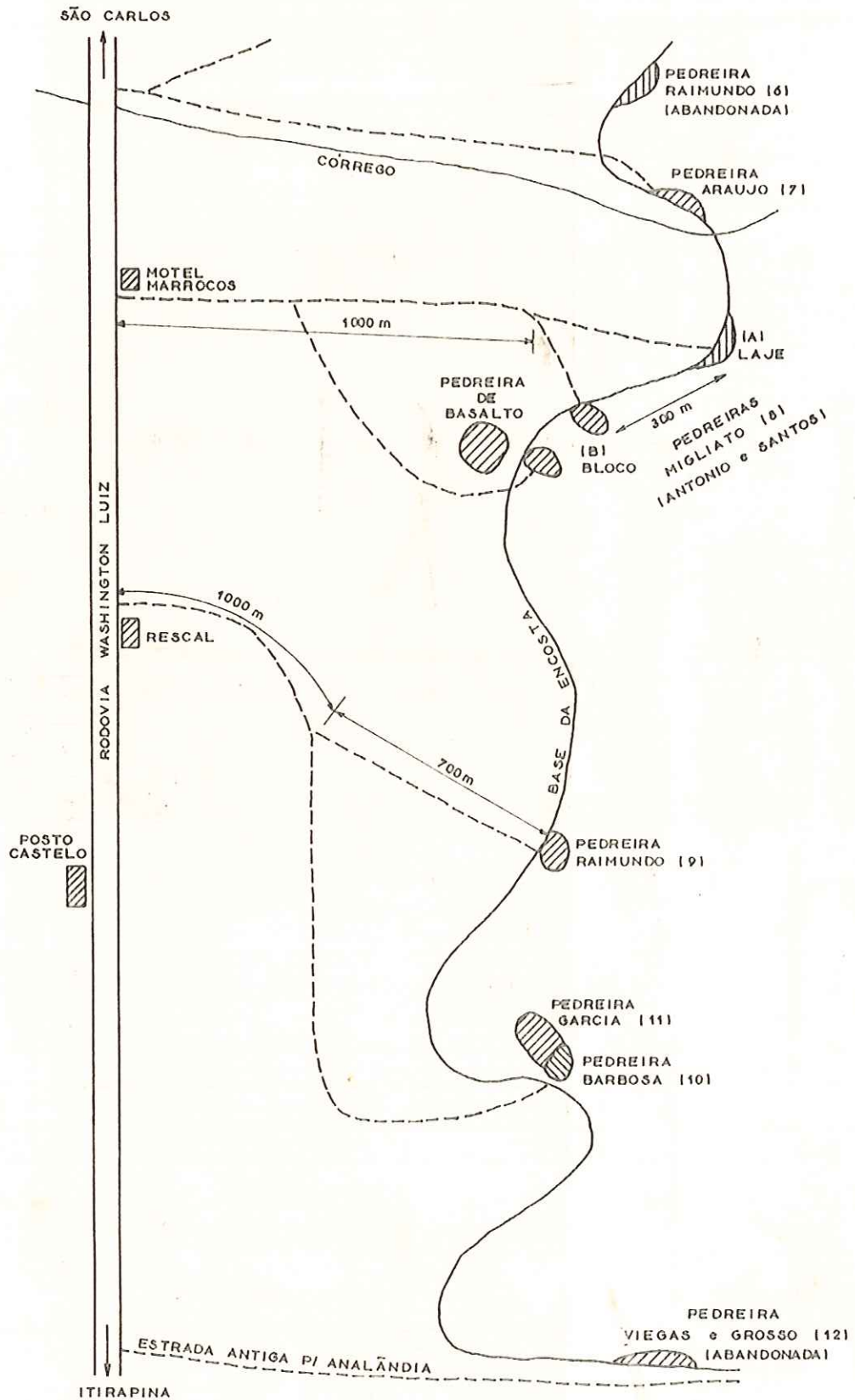


Figura 3.3: Croqui geral das pedreiras de arenito entre São Carlos e Itirapina



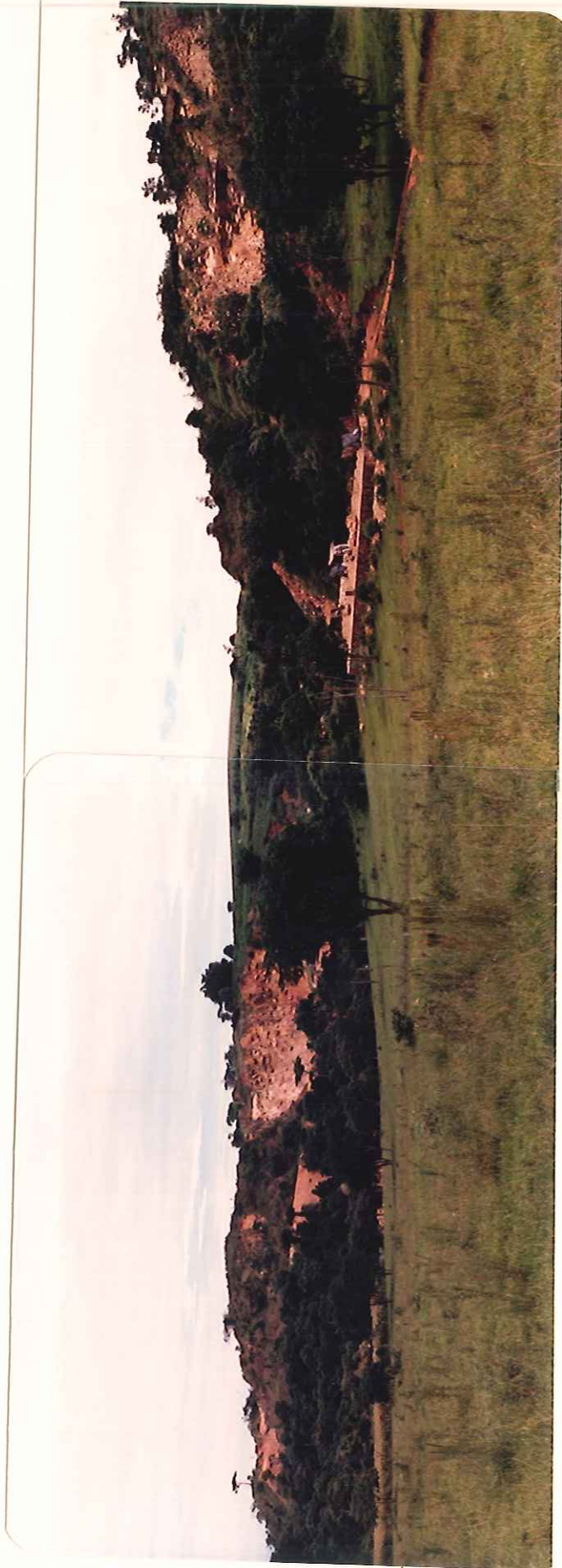


Fig. 3.4: Escarpa de Arenito Botucatu com três frentes de exploração.
Em primeiro plano praça construída para confecção de "petit-
nave". Município de São Carlos.

Pedreira: Grosso (2)

Localização: Próxima a Estação Ouro (Município de Hraraquara).

Situação atual: ativa

Produto: Lajes e blocos

Características:

O maciço apresenta-se bastante fraturado e com grandes faixas intemperizadas, que em alguns casos superam os 6 m de largura. O estéril tem aproximadamente 6 m de espessura e o nível de água esta aflorante.

O arenito é de granulação média a grossa, bem silicificado e de coloração que vai desde o amarelo claro ao vermelho escuro; em alguns casos o material apresenta numerosas manchas devidas as concreções de óxido de manganês.

A pedreira, que vem sendo explotada há mais de 20 anos, apresenta tres frentes que em conjunto medem mais de 100 metros de comprimento (Fig. 3.5). A explotação é iniciada por perfuração manual, devido às faixas intemperizadas que impossibilitam o uso de martelletes pneumáticos; o desmonte, no caso do material retirado em bloco, é realizado por meio de explosivos (nitrato de amônio e dinamite). As lajes são retiradas com o uso de alavancas e posteriormente reduzidas manualmente a tamanhos comerciais, com uso de marretas, macetas e talhadeiras (Figuras 3.6 a 3.9).

O tamanho médio do material comercializado, na forma de blocos, é de 0,30 X 0,30 m até 0,30 X 0,40 m, sendo vendidos a preços que variam de 0,85 OTN/m³ para gabião, até 1,13 OTN/m³ para alicerce. As lajes são comercializadas em tamanhos de 0,20 X 0,30 m até 1 X 1 m sendo, no entanto, os tamanhos de 0,40 X 0,40 m até 0,60 X 0,60 m os mais vendidos; com preços medios de 1,41 OTN/m³.

Esta pedreira é uma das maiores e mais completas que existem na região, fornecendo todos os tipos de produtos de arenito

conhecidos no mercado, como por exemplo:

- Lajes :

- Fina (\pm 7 cm de espessura), bem silicificada, com uma face plana e coloração amarelada;
- Média (\pm 9 cm) com silicificação de pouca intensidade e face plana de coloração avermelhada;
- Espessa (\pm de 12 cm), bem silicificadas com duas faces planas, com coloração amarelada;
- Lajes de segunda categoria assim denominadas devido a grande quantidade de concreções que as tornam menos comercializáveis.

- Blocos:

- Amarelado (vendido principalmente p/uso em gabiões);
- Avermelhados (usados em alicerces).

Deve-se ressaltar que a produção desta pedreira é bastante grande, principalmente de lajes que são vendidas as prefeituras das cidades vizinhas para serem usadas em calçamentos. Não são produzidos "petit-pavê" por causa da granulação grossa do material e de sua quebra irregular.

O seu principal problema é a falta de mão de obra especializada, pois nela trabalham apenas 8 funcionários em caráter permanente, insuficientes para satisfazer a demanda que atualmente é bastante alta. Um outro problema é a "silicose", enfermidade que normalmente se agrava em operários com mais de 20 anos de serviço.



Fig. 3.5: Vista geral da Pedreira Grosso. Município de Araraquara



Figura 3.6: Extração de lajes em acamamento inclinado. Pedreira Grosso. Município de Araraquara.



Figura 3.7: Detalhe da extração de lajes em acamamento inclinado. Pedreira Grosso. Município de Araraquara.



Figura 3.8: Aparelhamento manual de lajes. Pedreira Grosso. Município de Araraquara.



Figura 3.9: Lajes prontas para o mercado. Pedreira Grosso. Município de Araraquara.

Pedreira: Petrilli (3)

Localização: Próxima à Estação Ouro (Município de Haraquara)

Situação atual: desativada há mais de 8 anos

Características:

A escarpa, nesta área, tem mais de 20 m de altura, é pouco fraturada, e apresenta numerosas faixas intemperizadas. O estéril tem \pm 8 m de espessura e nela se observam pequenos matacões.

Existem duas frentes de exploração, com bancadas de \pm 12m de altura por 60 m de comprimento.

Nesta pedreira ocorre praticamente um único tipo de arenito de coloração amarela, granulação média a grossa e pouco silicificado.

Pedreira: Ripasa (4)

Localização: Fazenda Ripasa (Município de Haraquara)

Situação atual: desativada há mais de 10 anos

Características:

Apresenta material de excelente qualidade de coloração amarela, granulação média a fina, bem silicificado e que se destaca em lajes finas com as duas superfícies lisas; há também bom potencial para produção de blocos. O maciço tem um estéril de \pm 2 m, é pouco fraturado e apresentam algumas concentrações de fraturas alinhadas que são denominadas localmente de "destaques", que poderão ser apro-

veitadas em futuras extrações. Existem diversas frentes, mas todas de extensão inferior a 20 m e as alturas médias das bancadas são superiores a 20 m.

Os principais problemas observados são o difícil acesso e a presença de torres com linhas de alta tensão. Observa-se, ainda, que dentro da fazenda, onde se localiza esta pedreira, existem numerosas áreas potenciais e frentes abandonadas.

Pedreira: Rossito (5)

Localização: Fazenda São Gregório (Município de Ibate)

Situação atual: desativada

Características:

A escarpa, onde se situa a pedreira, possui poucas fraturas e pequenas faixas intemperizadas; existem duas frentes, ambas de grande extensão, que em conjunto medem mais de 120 m, com altura da bancada de 15 m e cobertura de estéril de \pm 3 m.

O arenito é de granulação fina a média, laminado e bem silicificado, tendo no centro uma faixa de material mais fino e muito mais silicificado. Existem também, no nível inferior, partes do maciço sem laminação e que poderiam fornecer blocos de boa qualidade face à granulação fina e cor preferencialmente amarelada.

Os principais problemas são as más condições de acesso e a desorganização do pátio, que se encontra coberto por material de rejeito, resultado de uma exploração pouco planejada.

Pedreira: Raimundo (6)

Localização: Próxima à Fazenda São João (Município de São Carlos)

Situação atual: desativada

Características:

O maciço está bastante fraturado, com muitas zonas intemperizadas, pouco silicificado e com muitas concreções. Embora existe ainda uma pequena quantidade de rocha explotavel, as dificuldades de acesso impossibilitariam uma retomada da exploração lucrativa desse material.

Pedreira: Araujo (7)

Localização: Próxima à Fazenda São João (Município de São Carlos)

Situação atual: ativa

Produto: Blocos

Características:

O maciço encontra-se pouco fraturado e com pequenas faixas intemperizadas, existindo um bom número de "destaques". O material é de granulação média, bem silicificado em algumas partes e em outras pouco coerente; não possui estratificação e apresenta uma grande variação quanto a cor, sendo as principais vermelha, amarela e variegadas.

O comprimento da frente é de ± 30 m, com 10 m de altura e espessura do estéril pequena (± 3 m). A perfuração é mecânica, mas realizada principalmente para facilitar a inserção de alavancas,

sendo limitado o uso de explosivos; o material assim destacado é jogado na praça onde é fragmentado em blocos menores para a venda direta ou para confecção de "petit-pave".

Pedreira: Migliato (BH)

Localização: Fazenda São João (Município de São Carlos)

Situação atual: ativa

Produto: Lajes e blocos

Esta pedreira e a outra a seguir descrita, numeradas neste trabalho como BH e BB, na realidade, formam uma única pedreira que ocorrem muito próximas (\pm 600 m) e que inclusive são explotadas pelas mesmas pessoas. Há razão pela qual são tratadas separadamente se deve ao tipo de material e as técnicas de explotação que são muito diferentes. Há que será referida primeramente é denominada pelos proprietários como "Pedreira de lajes" por ser este o principal tipo extraído, e a segunda, conhecida como "Pedreira de blocos" onde se extrai unicamente produtos deste tipo.

Características:

Há escharpa é muito fraturada, com grandes faixas intemperizadas. Há estratificação é fina mas existem faixas, principalmente próximas a base da escharpa, de estratificação mais espessa; a espessura do solo é de \pm 10 m bastante grande quando comparada a altura da bancada que dificilmente ultrapassa os 6 m. É muito comum neste solo a presença de matacões de grande tamanho.

O material é bem silicificado e predomina a granulação fina, embora existam faixas de granulação mais grossa; a coloração é bastante variada, desde branca até vermelha escura.

A perfuração é mecânica, com uso de martelotes e os explosivos utilizados são o nitrato de amônio para a extração de blocos e a pólvora para a retirada de lajes. As frentes de exploração são pequenas (\pm 5 m), embora a pedreira possua bastante potencial. O pequeno comprimento das frentes é devido, principalmente, a falta de homogeneidade do material (Figura 3.10), o que obriga a constante procura de rochas de melhor qualidade como as mais silicificadas, as de granulação mais fina e as com coloração mais clara.

A produção principal é de lajes, que ocorrem em pontos localizados e devido ao traturamento do maciço, são extraídas em tamanhos próximos aos comerciais. Também são extraídos blocos de dois tipos: os de granulação mais fina e coloração mais clara, que são destinados a confecção de "petit-pavé", e os de granulação mais grossa, geralmente avermelhados, de quebra irregular, que são vendidos para uso em alicerce e em gabiões.

O principal problema verificado foi a falta de mão de obra e o baixo preço de venda de seus produtos.

Pedreira: Migliato (8B)

Localização: Fazenda São João (Município de São Carlos)

Situação atual: Ativa

Produto: Blocos

Características:

O maciço apresenta-se pouco traturado, com grandes faixas intemperizadas e recoberto por solo com espessura superior a 10 m.

O arenito é bem silicificado, de granulação fina e de acordo com a coloração e a disposição na escarpa, pode ser classificado em tres tipos: arenito vermelho, com espessura de ± 2 m, que ocorre no nivel inferior; arenito amarelo com espessura de $\pm 1,5$ m, que se encontra no nivel médio e arenito branco, no nivel superior, apresentando menor silicificação.

A existência de grandes faixas intemperizadas determina um tipo de exploração seletiva. Muito embora o comprimento da frente seja bastante grande, a exploração é realizada em varias frentes, de no máximo 10 metros de comprimento e 5 m de altura cada uma. O material é extraído exclusivamente na forma de blocos, com o uso de marteletores pneumáticos para perfuração e explosivos (principalmente nitrato de amônio). Utilizam quantidades relativamente grandes de explosivos, o que possibilita uma fragmentação maior, resultando blocos de aproximadamente 0,60 X 0,60 m. Estes podem ser diretamente comercializados ou posteriormente reduzidos manualmente, por meio de marrões e macetas, a até 4 X 5 cm ("petit-pavé") no proprio pátio da pedreira (Figuras 3.11 e 3.12)

Pedreira: São Carlos (9)

Localização: Km 223 Rodovia Washington Luiz (Município de São Carlos)

Condição atual: ativa

Produto: Blocos

Características:

A exploração é realizada na parte superior da encosta onde o maciço apresenta-se fraturado e com grandes faixas intemperizadas, propiciando o aparecimento de "destaques" na escarpa e grandes matacões no solo, que atinge mais de 6 m de espessura.



Figura 3.10: Extração de lajes na Pedreira Miglia-
to. Note-se a falta de homogeneidade
do material. Município de São Carlos.



Figura 3.11: Quebra de blocos para usos diversos. Pedreira São Carlos. Município de São Carlos.



Figura 3.12: Confeção de "petit-pavé". Praça da Pedreira Migliato. Município de São Carlos.

H falta de homogeneidade é uma constante nesta pedreira pois ocorrem muito próximas faixas de arenitos altamente silicificados com faixas de material de baixa coerencia, conhecido como "moledo". É comum o aparecimento de estratos de arenitos de granulação fina intercalados com estratos de granulação grossa; a coloração é predominantemente branca mas também ocorre material de cores combinadas, rosada e branca, denominadas de "furtacor".

Nesta pedreira, embora a produção seja exclusivamente de blocos, o que propiciaria uma lavra com maior uso de explosivos, a extração, no entanto, é efetuada quase toda manualmente, aproveitando-se os "destaques" no maciço e os matacões do solo. H reduzida frente de trabalho (\pm 50 m) e o pequeno patio disponível obriga uma otimização da produção, bem como o transporte do material para outro local, a fim de ser retrabalhado.

Deve-se resaltar que, apesar dos problemas acima citados, a produção é relativamente alta (2,5 m³/homem/dia). São extraídos blocos para uso direto (gabiões e alicerces) e para produção de "petit-pave". O preço médio de venda para os blocos é de 0,94 DIN/m³ e para "petit-pave" é de 3,29 DIN/m³.

Pedreira: Barboza (10)

Localização: Km 223 Rodovia Washington Luiz (Município de São Carlos)

Situação atual: ativa

Produto: Blocos

Laracterísticas:

A frente de exploração é relativamente pequena, \pm 30 m de extensão por 15 m de altura, e a espessura de solo é de \pm 3m. O arenito é vermelho, de granulação fina e bem silicificado.

Trata-se de uma pedreira de pequeno porte mas de boa produção, devido ao bom aproveitamento das circunstâncias favoráveis que oferece o maciço, pois existem numerosos "destaques" que facilitam a remoção do material (Figuras 3.13 e 3.14). A perfuração é manual, e o explosivo preferido é a dinamite que, em função do seu grande poder de fragmentação aliado a experiência no seu uso, permite obter blocos quase em tamanho comercial.

O tipo de material produzido é principalmente bloco para uso em alicerce, sendo vendido a um preço médio de 2,35 OTN m³; a produção é bastante alta devido as facilidades já mencionadas, chegando a 2,5 a 3 m³/homem/dia

Pedreira: Garcia (11)

Localização: Km 223 Rodovia Washington Luiz (Município de São Carlos)

Situação atual: ativa

Produto: Blocos

Características:

Está situada muito próxima da pedreira anterior, separadas apenas por uma saliência da escarpa, portanto com as mesmas características já descritas, principalmente no que se refere ao maciço e ao tipo de material. A única diferença que poderia ser mencionada é o menor número de "destaques" que faz com que a sua produção seja um pouco menor que a da Pedreira Barboza.



Figura 3.13: Fraturas e brechas ("destaques") aproveitadas para desmonte de blocos. As setas indicam algumas delas. Pedreira Garcia. Município de São Carlos.



Figura 3.14: Extração de blocos na Pedreira Garcia no Município de São Carlos. A seta indica bloco descalçado pronto para ser tombado na praça

3.3 - Tipos de arenito

Com base no levantamento de campo, foi possível distinguir a ocorrência de 25 tipos de arenito, diferenciados entre si segundo critérios de observação macroscópica e de uso na construção civil.

3.4 - Amostragem

A coleta de amostras atingiu cerca de 7 toneladas de material rochoso, amostrados sob diversas formas e dimensões, visando sua melhor adequação aos ensaios programados. Assim, foram coletados blocos com dimensões de até 0,40m x 0,50m x 0,60m, fragmentos menores de tamanhos diversos e lajes de até 1,00m x 0,70m; com espessuras variáveis.

Todos os tipos reconhecidos de arenito foram amostrados de forma agrupada, basicamente como lajes e blocos, de acordo com os seus usos consagrados comercialmente, ou seja: calçamento de vias públicas, revestimentos de fachadas, pisos, muros de arrimo, alicerces e gabões.

4. ENSAIOS

4.1 - Introdução

Os ensaios descritos a seguir foram realizados de acordo com normas técnicas vigentes, a menos daqueles em que a pesquisa justificou alguma alteração ou a normalização ainda não tenha sido feita ou mesmo adaptada. No último item deste capítulo, são fornecidas, também, informações a respeito da trabalhabilidade do material para uso como material natural de acabamento na construção civil.

É importante ressaltar que para os ensaios químicos (exceto adesividade e resistência ácido/base) foi prevista uma avaliação mecânica inicial e final, a fim de se estudar a manutenção ou não das características mecânicas do material, após os referidos ensaios. Para a avaliação mecânica, estes ensaios foram escolhidos principalmente em função da granulometria imposta pelos métodos químicos.

Na preparação de amostras, a parte do material em blocos foi submetida tanto a quebra manual como a britagem em laboratório, utilizando o britador de mandíbula "BRITERPA BM 1020". Nos ensaios de índices físicos, de impacto Ireton, de carga pontual, etc. as amostras foram preparadas exclusivamente através de fragmentação manual. Para os ensaios de Compressão Simples, de Ultrassom, de Expansão, etc. foram obtidos corpos de prova cilíndricos através de extrator de amostra de bancada com brocas diamantadas. Para os ensaios de flexão, de atrito de escorregamento, etc. os corpos de prova foram preparados com serra circular diamantada.

Como já referido anteriormente, em função do reconhecimento de campo, os arenitos foram inicialmente agrupados em 25 tipos, somando-se blocos e lajes. Os ensaios de índices físicos, de carga pontual, de esmagamento, de abrasão "Los Angeles" e as determinações petrográficas serviram para selecionar dentre os 25 tipos, aqueles que seriam submetidos aos demais ensaios. Esta seleção foi devida a constatação da existência de materiais de propriedades muito semelhantes independentemente das características macroscópicas que originalmente serviu para diferenciá-los.

4.2 - Ensaios petrográficos

A seguir, são apresentadas descrições macro e microscópicas dos arenitos usados na forma de lajes e de blocos.

Os materiais foram amostrados segundo a Norma NB-28, e executada a análise petrográfica de acordo com a Norma NB-48, ambas da ABNT. Observa-se que foram também analisados detalhes não constantes destas normas, por se tratar de trabalho de pesquisa não rotineiro.

A - Lajes: Pedreira Grosso

- Descrição macroscópica

Rochas de coloração rósea, granulação fina a média, bem silicificadas, estrutura levemente laminada e textura clástica psamítica.

- Descrição Microscópica

a. Textura: a textura é clástica (psamítica) composta por grãos submilimétricos (tamanho médio ao redor de 0,21 mm), envolta por cimento microcristalino (calcedônia). A esfericidade média posiciona-se ao redor de 0,8 enquanto o arredondamento fica entre 0,8 e 0,9; segundo Krumbein e Sloss, 1963.

b. Granulometria: os maiores grãos raramente ultrapassam 0,4 mm de diâmetro, havendo um tênue bandeamento granulométrico gerado por bandas de granulação ligeiramente mais grossa e lâminas descontínuas de granulação nitidamente mais fina (arenito fino a muito fino).

c. Composição modal estimada visualmente

Clastos (+ 82%)

Limento (+ 17%)

quartzo	(+ 80%)	calcedônia (+ 17%)
microclínio	(+ 2%)	
muscovita	(Tr)	
plagioclásio	(Tr)	
seixos de quartzito	(Tr)	
biotita alterada	(Tr)	
estauroлита	(Tr)	
opacos	(Tr)	
clorita (?)	(Tr)	

d. Descrição dos minerais e relações texturais

O quartzo é o mineral amplamente dominante e, as vezes, aparece rutilado, outras como grãos policristalinos com ou sem extinção ondulante forte.

O feldspato "k", normalmente apresenta geminação em grade e, as vezes, é pertítico, sendo o plagioclásio bem mais raro.

O cimento é de sílica microcristalina (calcedônia), que localmente encontra-se impregnada por hidróxidos de ferro e ocorre formando cordões (Figuras 4.1 e 4.2) que envolvem os clastos gerando espaços triangulares a irregulares preenchidos por sílica de cristalinidade maior, a qual frequentemente gera aspectos fibro-radiados, pelo crescimento perpendicular as paredes, sendo que alguns dos espaços não estão preenchidos (vazios).

Os clastos aparentam estar em contato um com outro gerando interstícios preenchidos por sílica, todavia devido ao corte é comum observar grãos isolados dentro do cimento.

Localmente dentro do cimento podem ser observado agregados de filossilicatos finíssimos (minerais de argila ?).

Pode ser observada também uma incipiente orientação estatística dos grãos detriticos paralelamente ao tênue bandeamento e a presença de grãos detriticos de baixa esfericidade (bem alongados); porém raros.

e. Classificação: arenito fino silicificado com bandas de arenito fino a médio e lâminas de arenito fino a muito fino

B - Blocos: Pedreira Barbosa

- Descrição macroscópica: rochas de coloração creme rosada; granulagem fina, bem silicificadas, de estrutura sutilmente bandeada a fitada e textura clástica psamítica.

- Descrição microscópica

a. Textura: a textura é clástica (psamítica) composta por grãos submilimétricos (tamanho médio ao redor de 0,21 mm), envoltos por cimento microcristalino (calcedônia). A esfericidade média posiciona-se ao redor de 0,8 enquanto o arredondamento fica entre 0,7 e 0,9; segundo Krumbein e Sloss, 1963.

b. Granulometria: os maiores grãos raramente atingem 0,4mm, havendo um tênue bandejamento na rocha gerado por intercalações de delgadas lâminas onde o tamanho médio dos grãos é nitidamente menor.

c. Composição modal estimada visualmente

clastos (+ 80%)

quartzo	(+ 78%)
microclínio	(+ 1,5%)
silica microcristalina (sílex)	(Tr)
muscovita	(Tr)
plagioclásio	(Tr)
estauroлита	(Tr)
zircão	(Tr)
biotita	(Tr)
opacos	(Tr)

clorita (Tr)

Leucoxênio (Tr)

cimento (+ 18%)

calcedônia (+ 18%)

hematita goethita (Tr)

filossilicato microcristalino (Tr)

vazio (+ 1%)

c. Descrição dos minerais e relações texturais

O quartzo, as vezes, encontra-se rutilado e mais raramente aparece como grãos policristalinos normalmente com forte extinção ondulante; enquanto os feldspatos aparecem sutilmente alterados.

O cimento é de sílica microcristalina, com alguma impregnação de hidróxidos de Ferro, e ocorre disposto intersticialmente sob a forma de cordões envolvendo os clastos, que se dispõem em contato um com outro, e que no corte, as vezes, aparecem como ilha no cimento. Localmente, em vez de sílica o cimento é de goethita - hematita, sendo que a porosidade é pequena aparecendo as vezes, entre cordões de calcedônia, espaços triangulares a irregulares (Figura 4.3). A sílica em alguns interstícios, aparece bem crescida gerando aspectos fibro-radiados. Cabe ressaltar ainda a existencia de grãos com baixa esfericidade e baixo arredondamento; de clastos apresentando leve orientação estatística paralelamente ao tênue bandeamento e ainda de filossilicatos finíssimos imersos em sílica microcristalina.

e. Classificação: arenito silicificado de granulação fina a media.

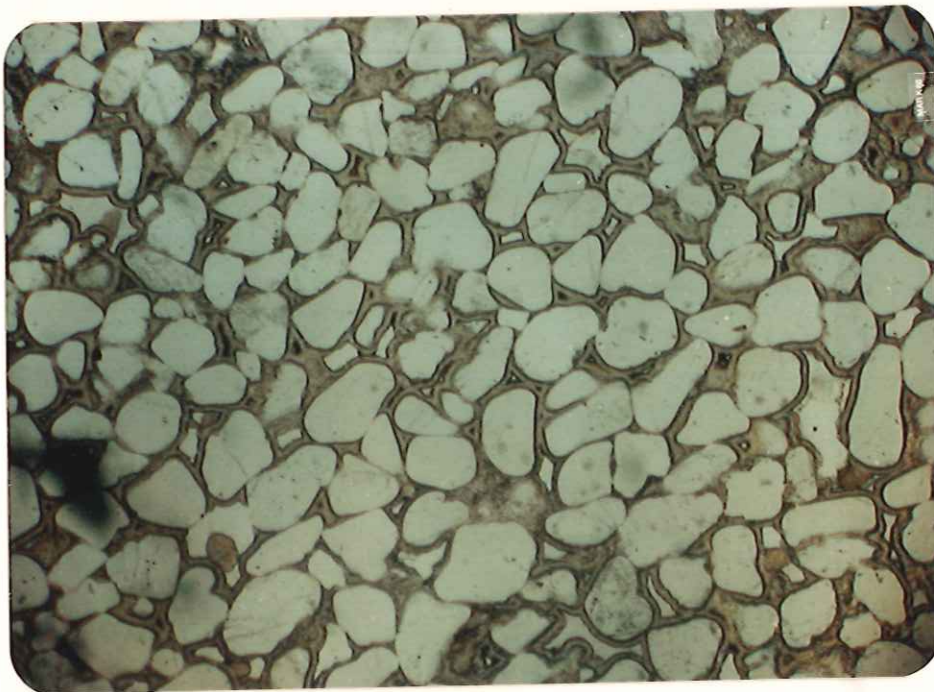


Figura 4.1: Arenito com espaços intergranulares preenchidos por cordões de sílex (opala-calcedônia). Aumento X 30. Pedreira Grosso

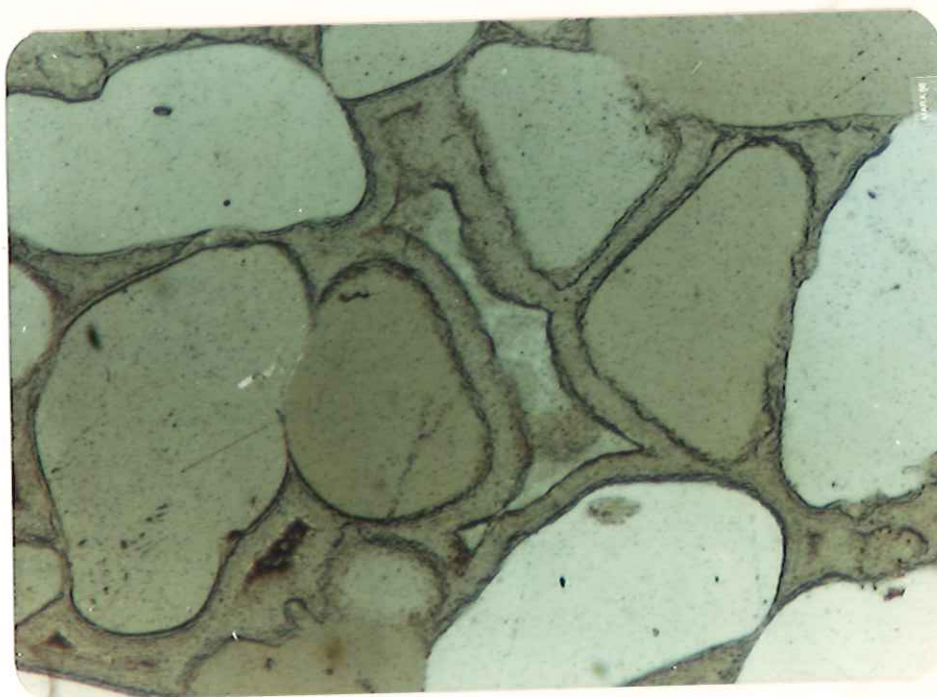


Figura 4.2: Detalhe da figura anterior. Aumento X 120.

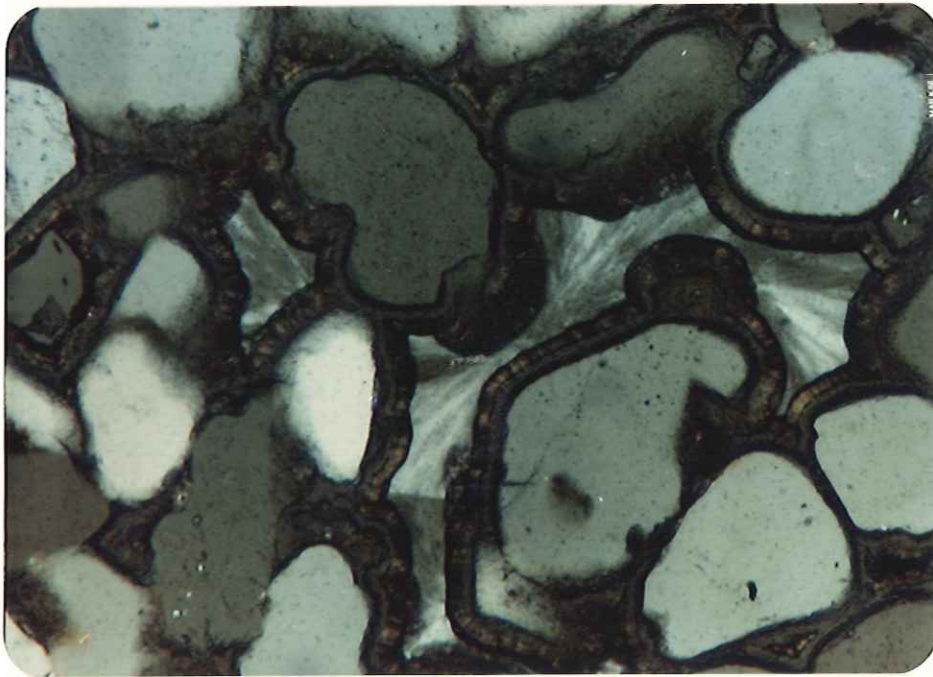


Figura 4.3: Arenito fino a medio, apresentando espaços intergranulares preenchidos por cordões de sílica microcristalina. Aumento X 120. Pedreira Barboza.

C - Blocos: Pedreira Raimundo

- Descrição macroscópica: rochas de coloração rósea com bandas amareladas (creme), granulação de areia fina; estrutura bandeada a laminada, com bandas maciças; textura granular psamítica e bem silicificada.

- Descrição microscópica

a. Textura: a textura é clástica (psamítica) composta por grãos submilimétricos (tamanho médio ao redor de 0,25 mm), envoltos por cimento de sílica laminada (opala e calcedônia). A esfericidade média posiciona-se ao redor de 0,7; enquanto o arredondamento médio fica ao redor de 0,8; segundo gráfico de Krumbein e Sloss; 1963.

b. Granulometria: os maiores clastos atingem 0,7mm, havendo um ténue bandamento na rocha gerado por intercalações difusas com porções de granulação média ligeiramente diferentes. A lâmina mostra rocha relativamente inequigranular.

c. Composição modal estimada visualmente

Clastos (+ 80%)

quartzo	(+ 78%)
microclínio	(+ 1,5%)
plagioclásio	(Tr)
turmalina	(Tr)
estauroлита	(Tr)
minerais opacos	(Tr)
clorita (?)	(Tr)
silica microcristalina	(Tr)
zircão	(Tr)
apatita	(Tr)
fragmentos de quartzo	(Tr)

Cimento (+ 19%)

calcedônia	(+ 15%)
opala	(+ 4%)
<u>poros</u>	(\approx 1%)

d. Descrição dos minerais e relações texturais

Essas rochas mostram maiores variações granulométrica que as anteriores (pior seleção); como também a granulação, em média,

ligeiramente superior.

O quartzo aparece sob a forma de grãos isolados raramente exibindo extinção ondulante e/ou deformação lamelar; sendo raros os grãos policristalinos e/ou com extinção ondulante nítida, cabendo ressaltar que os grãos menores apresentam arredondamento e esfericidade menores (subarredondados e subangulosos). O feldspato K, normalmente aparece exibindo geminação em grade, as vezes é pertítico, sendo o plagioclásio bem mais raro.

O cimento é laminado, sendo composto por opala que aparece imediatamente em contato com os clastos, aparecendo depois material microcristalino fino (calcedônia); gerando no conjunto cordões laminados, que envolvem os clastos dispostos um em contato com outro, formando espaços triangulares, lenticulares a irregulares, ocupados principalmente por sílica microcristalina de granulação maior, a qual às vezes dispoem-se em agregados subradiais a radiais, por crescer perpendicularmente a parede. Alguns desses espaços são vazios.

A cor castanha clara do cimento aparenta-se ser gerada por impregnação de hidróxidos de ferro.

e. Classificação: arenito silicificado de granulação fina a média.

4.3 - Ensaios físicos

4.3.1 - Massa específica aparente seca e saturada, absorção de água e porosidade aparente

Para essas caracterizações físicas foi utilizado o Método IPT-M47. Os resultados desses ensaios estão resumidos na Tabela 4.1.

Tabela 4.1: Índices físicos

Amostra No.	Absorção de água (%)	Porosidade Aparente (%)	Massa Especif. Aparente Seca (g/cm ³)
Blocos			
1	1,76	4,08	2,32
2	0,76	1,82	2,40
3	1,31	3,04	2,31
4	0,62	1,51	2,41
5	2,30	5,20	2,25
6	0,68	1,48	2,40
7	5,88	11,50	2,07
8	1,37	3,19	2,33
9	2,43	5,37	2,21
10	2,19	4,96	2,26
11	4,82	10,29	2,13
12	4,01	8,86	2,23
13	0,71	1,71	2,31
14	3,84	7,21	2,23
15	1,42	3,19	2,25

Tabela 4.1 (cont.)

Amostra No.	Absorção de água (%)	Porosidade Aparente (%)	Massa Especif. Aparente Seca (g/cm ³)
Lajes			
16	0,70	1,64	2,35
17	2,30	5,15	2,25
18	2,06	4,71	2,29
19	0,91	2,12	2,32
20	2,32	5,17	2,24
21	3,45	7,42	2,15
22	2,40	5,58	2,33
23	3,18	7,25	2,28
24	6,18	12,66	2,05
25	3,46	7,58	2,19

4.3.2 - Ensaio de forma

Esse ensaio foi executado segundo o Método IPT-M-49. Os resultados mostraram que a forma cúbica está presente em 60% das amostras ensaiadas e as restantes apresentam forma cúbica com tendência lamelar.

4.3.3 - Determinação da expansão

Para este ensaio, foram utilizados corpos de prova cilíndricos, preparados inicialmente para o ensaio de resistência à compressão simples, que após secagem foram submersos em água durante

24 horas e medidas, neste tempo suas expansões axiais (Nascimento, 1970). Os resultados encontram-se resumidos na Tabela 4.2.

Tabela 4.2: Determinação da expansão

Amostra No.	Expansão Máxima (/m)
Blocos	
1	132,59
10	165,05
15	75,92
Lajes	
19	156,28
20	112,28
21	177,70
25	256,81

4.3.4 - Módulo de deformabilidade dinâmico e velocidade de propagação de ultra-som

Como no ensaio anterior, foram usados corpos de prova de arenitos também preparados para o ensaio de compressão simples. Nestes corpos de prova cilíndricos, foram determinadas as velocidades de propagação de ultra-som entre dois eletrodos colocados nas suas extremidades e, através de cálculos, usando-se a massa específica dos referidos corpos, obteve-se o módulo de deformabilidade dinâmico. O equipamento utilizado foi o MVOP/DMGA/86, desenvolvido pelo IPT e os resultados encontram-se resumidos na Tabela 4.3.

Tabela 4.3: Ensaio de ultrassom

Amostra No.	V (cm/s)	E (MPa)
Blocos		
1	453,37	49073
4	453,00	47409
5	449,71	44845
10	376,38	31448
15	472,13	51195
Lajes		
19	471,28	51098
20	381,73	31524
21	403,15	36135
25	450,58	44875

4.4 - Ensaio mecânicos

4.4.1 - Resistência à abrasão Los Angeles

O ensaio de abrasão Los Angeles foi executado seguindo-se a Norma NB-170/1969 e o Método M-2461, do DER/SP. Foi usada a graduação "B", por ser a mais comumente empregada. Os resultados estão resumidos na Tabela 4.4.

Tabela 4.4: Resistência à abrasão Los Angeles

Amostra No.	Perda (%)
1	20,94
2	25,68
3	22,52
4	24,04
5	24,14
6	24,32
7	53,68 x
8	30,76
9	26,22
10	28,34
11	78,48
12	83,52 x
13	23,42
14	100,00 ✓
15	23,50

4.4.2 - Resistência à abrasão a úmido

Utilizou-se equipamento desenvolvido pela Wykeham Farrance Engineering (WF 40885). As amostras, constituídas por 10 fragmentos perfazendo massa total de 450 a 550 g, foram submetidas a 200 rotações numa velocidade de 20 r.p.m. A perda foi determinada pela diferença entre a massa inicial e a final retida na peneira de malha 2 mm do tambor do aparelho.

Os resultados estão resumidos na Tabela 4.5, que mostra perda mínima do material.

Tabela 4.5: Resistência à abrasão a úmido

Amostra No.		Resist. (%)
	Blocos	
1		99,70
10		99,35
15		99,73
	Lajes	
19		99,54
20		99,47
21		99,29
25		99,70

No entanto, os mesmos materiais, após ciclagem água/estufa (5 ciclos), mostraram diferenças de resistência à abrasão a úmido, como estão evidenciadas na Tabela 4.6 e no bloco diagrama da Figura 4.5.

Tabela 4.6: Resistência a abrasão a úmido
apos ciclagem água estufa (5 ciclos)

Amostra No.	Indice de Resist. Mat. Sem Ciclagem (%)	Indice de Resist. Após 5 Ciclos (%)	Queda de Resist. (%)
Blocos			
1	99,70	99,15	0,55
10	99,35	98,69	0,66
15	99,73	99,31	0,42
Lajes			
19	99,54	99,13	0,41
20	99,47	98,70	0,77
21	99,29	98,38	0,91
25	99,70	98,39	1,31



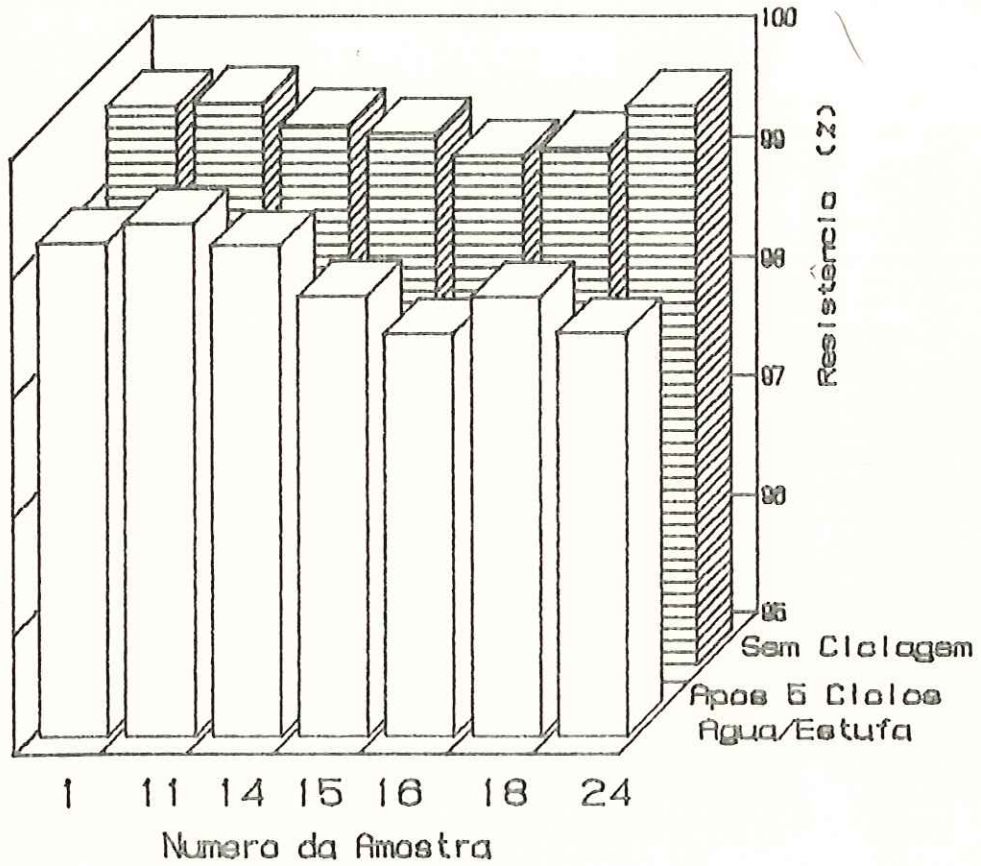


Figura 4.4: Bloco diagrama comparativa da resistencia à abrasão a umido de arenitos após ciclagem água/estufa (5 ciclos)

4.4.3 - Resistência ao esmagamento

O ensaio de esmagamento foi realizado de acordo com o Método IPT-M-53 e os resultados encontram-se resumidos na Tabela 4.7.

Tabela 4.7: Resistência ao esmagamento

Amostra No.	Resist. (%)
1	77,11
2	73,97
3	74,89
4	73,99
5	73,56
6	76,64
7	61,19
8	70,43
9	74,57
10	72,31
11	51,40
12	48,13
13	73,51
14	40,26
15	72,21

4.4.4 - Resistência ao impacto Treton

Este ensaio de resistência foi executado de acordo com o método IPT-M-52, em aparelho padrão DER-P.81-52 T.

Os resultados obtidos encontram-se resumidos na Tabela 4.8.

Tabela 4.8: Resistência ao impacto Treton

Amostra No.	Perda (%)
Blocos	
1	23,30
2	23,65
3	19,46
4	21,51
5	21,53
6	20,28
7	36,75
8	25,09
9	21,26
10	27,24
11	64,41
12	90,73
13	25,08
14	80,13
15	18,99
Lajes	
16	20,53
20	25,28
21	26,25
23	25,43
24	19,72
25	24,79

4.4.5 - Resistência à carga pontual

O ensaio de carga pontual, para avaliação de resistência à compressão simples, tem sofrido modificações a partir de sua proposta inicial, em 1969.

A primeira tentativa de padronização foi proposta por um grupo de trabalho da International Society for Rock Mechanics (ISRM), em 1972, que também sugeriu nova modificação em 1985.

Como a maioria das determinações conhecidas até o momento foi obtida segundo a proposta da ISRM de 1972, esta foi a metodologia seguida neste trabalho, o que permitirá portanto a comparação de resultados. Os valores obtidos nos ensaios acham-se resumidos na Tabela 4.9.

Tabela 4.9: Resistência à carga pontual

Amostra No.	Is (50) (MPa)
Blocos	
1	9,93
2	7,92
3	9,01
4	9,10
5	8,55
6	9,15
7	4,33
8	7,63
9	8,46
10	7,58
11	3,01
12	1,48
13	8,02
14	0,89
15	8,80
Lajes	
16	8,77
20	7,34
21	11,05
23	8,96
24	8,77
25	9,18

4.4.6 - Resistência à compressão simples

O ensaio foi realizado segundo proposta da ISRM - 1979 (Suggested methods for determining the uniaxial compressive strength and deformability of rock material).

Nas lajes, devido às suas espessuras (≈ 7 cm), foram retirados corpos de provas com diâmetro de aproximadamente 2 cm, a fim de se manter a relação normalizada entre altura e diâmetro ($h = 2.5-3.0 \phi$). Nos blocos, os diâmetros foram maiores por não haver tal limitação.

Os resultados obtidos estão resumidos na Tabela 4.10.

Tabela 4.10: Resistência à compressão simples

Amostra No.	σ_r (MPa)

Blocos	
1	181,67
4	245,21
5	147,17
10	121,80
15	189,58
Lajes	
19	125,16
20	72,37
21	113,94
25	100,95

4.4.7 Resistência a flexão

Executado em lajes das pedreiras Grosso e Migliato, das quais se obteve corpos prismáticos de aproximadamente 20 x 10 x 6 cm, que foram submetidos a esforço compressivo perpendicular à estratificação. O método utilizado foi ASTM C 99-52 e os resultados estão apresentados nas Tabelas 4.11 e 4.12.

Tabela 4.11: Resistência a flexão

Amostra 19

CP No.	Comprim (cm)	Largura (cm)	Espes. (cm)	Dist. entre Roletes (cm)	P (n)	σ_r (MPa)
1	20,5	10,0	5,5	18,0	19000	17
2	20,5	10,4	6,0	18,0	26000	19
3	20,0	10,2	5,5	18,0	26000	23
4	20,0	10,1	6,0	18,0	13500	10
Valor médio						17

Tabela 4.12: Resistência a flexão
Amostra 20

CP No.	Comprim (cm)	Largura (cm)	Espes. (cm)	Dist. entre Roletes (cm)	P (N)	σ_r (MPa)
1	20,5	10,5	6,2	18,0	16500	11
2	20,5	10,5	5,8	18,0	21000	16
3	20,5	10,5	6,0	18,0	25000	18
4	20,0	10,5	6,0	18,0	17000	12
Valor médio						14

4.4.8 - Resistência ao atrito de escorregamento

Executado em lajes de arenito extraídas das pedreiras Migliato e Grosso, São. Carlos. O método usado foi o MB-849 da ABNT, empregando máquina Amstler. Os resultados mostram os seguintes valores de índice de desgaste (redução de altura do corpo de prova) correspondente a 1.000 m de percurso, conforme Tabela 4.13.

Tabela 4.13: Resistência ao atrito de escorregamento

Amostra	INDICE DE DESGASTE (mm)				
	C. P.	1	2	3	4
19		2,03	2,87	3,19	3,42
20		0,90	1,02	1,25	1,02

4.5 - Ensaio Químicos

4.5.1 - Ensaio de adesividade com betume

Não se trata exatamente de um ensaio químico, mas foi colocado neste item em face da ordenação dada aos outros ensaios nesta pesquisa.

Foram executados com cimento asfáltico de petróleo do tipo 40-50 (CAP 40-50), em ensaio RRL modificado, segundo método ME-78-63 do DNER, sem utilização de "dope".

As amostras selecionadas para o ensaio foram as de números 13 e 14 e os resultados obtidos foram insatisfatórios, mostrando má adesividade.

4.5.2 - Ensaio de sanidade com sulfato de sódio e avaliação mecânica inicial e final.

O método usado foi MCA-17 do Laboratório Central de Engenharia Civil/CESP. As amostras foram submetidos a 40 ciclos e os resultados resumidos estão apresentados na Tabela 4.14.

Tabela 4.14: Ensaio de sanidade com sulfato de sódio

Amostra No.	Perda (%)

Blocos	
1	7,2
10	36,9
15	17,7
Lajes	
19	17,5
20	100,0
21	62,4
25	17,0

Como se pode observar, os resultados foram extremamente variáveis. Nas amostras onde a perda não ultrapassou o valor de 50 %, foi realizada avaliação mecânica da resistência através de ensaio de esmagamento; os resultados encontram-se resumidos na Tabela 4.15. Observa-se que, no esmagamento, não houve queda significativa da resistência mecânica dos materiais ciclados quando comparado aos resultados apresentados pelos materiais não ciclados.

Tabela 4.15: Avaliação mecânica por esmagamento do material ciclado com sulfato de sodio

Amostra No.	(1) Material Não Ciclado Resist. (%)	(2) Material Ciclado Resist. (%)	(3) Queda de Resist. (%) (1-2)
Blocos			
1	72,73	74,47	-1,74
10	71,54	66,13	5,42
15	75,58	75,61	-0,03
Lajes			
19	75,00	74,39	0,61
25	74,42	73,17	1,25

4.5.3 - Ensaio de sanidade por imersão em etilenoglicol e avaliação mecânica inicial e final.

O método usado foi MCA-12, do Laboratório Central de Engenharia Civil/CESP, e a avaliação mecânica foi executada através do ensaio de Abrasão a úmido. Foi feito também controle fotográfico de

todas as amostras. Pode-se observar, pelos resultados da Tabela 4.16, que a perda de material foi insignificante.

Tabela 4.16: Ensaio de sanidade por imersão em etilenoglicol

Amostra No.	CICLAGEM COM ETILENOGLICOL	AVALIAÇÃO MECANICA ABRASAO A UMIDO		
	(1) Perda (%)	(2) Material Não Ciclado (%)de Perda	(3) Material Ciclado (1) (%)de Perda	(4) Queda de Resist.(%) (3-2)

Blocos				
1	0,00	0,00	0,01	0,01
10	0,00	0,02	0,01	-0,01
15	0,00	0,02	0,02	0,00
Lajes				
19	0,01	0,01	0,02	0,01
20	0,01	0,02	0,01	-0,01
21	0,00	0,02	0,03	0,01
25	0,01	0,00	0,01	0,01

4.5.4 - Ensaio de ciclagem água-estufa e avaliação mecânica inicial e final

O método usado foi MCA-13, do Laboratório Central de Engenharia Civil/CESP, e a avaliação mecânica foi executada através do ensaio de esmagamento. As perdas decorrentes da ciclagem (45 ciclos) foram muito pequenas como pode-se observar através dos resultados resumidos na Tabela 4.17 e também pelas Figuras 4.5 e 4.6.

Tabela 4.17: Ciclagem água/estufa

Amostra No.	Perda (%)
Blocos	
1	0,78
10	0,17
15	0,98
Lajes	
19	0,97
20	2,46
21	0,87
25	1,10

Na avaliação mecânica, cujos resultados encontram-se na Tabela 4.18, os materiais ciclados apresentam resultados próximos aos dos materiais não ciclados.

Tabela 4.18: Avaliação mecânica por esmagamento do material ciclado com água/estufa

Amostra No.	(1)	(2)	(3)
	Material Não Ciclado Resist. (%)	Material Ciclado Resist. (%)	Queda de Resist. (%) (1-2)

Blocos			
1	79,79	80,00	-0,21
10	76,47	74,42	2,05
15	79,41	80,77	-1,36
Lajes			
19	79,52	73,56	5,95
20	67,57	74,29	-6,72
21	78,05	76,19	1,86
25	76,74	81,18	-4,43

4.5.6 - Avaliação da resistência a soluções ácidas e básicas

Com a finalidade de se avaliar a resistência frente a atuação de produtos químicos, foram preparadas lajes de arenito das pedreiras Grosso e Migliato. Na superfície dessas lajes, gotejou-se continuamente, por um período de 10 dias, HCl e NaOH em concentrações variáveis de 10%, 25%, 50% e 100%.

Neste período, foram feitas observações a olho nú e sob lupa com aumento de 16 X. O material mostrou-se resistente a essas soluções.



Figura 4.5: Amostras de arenito preparadas para ensaio de ciclagem água-estufa.



Figura 4.6: As mesmas amostras da figura anterior, após 45 ciclos água-estufa. Observar a manutenção da integridade.

4.6 - Avaliação da trabalhabilidade

As informações referem-se a dados técnicos e comerciais, obtidos junto às marmorárias da região, que normalmente beneficiam e comercializam materiais naturais de acabamento para uso na construção civil. Convém notar que tais dados dizem respeito ao arenito na forma de laje e são a seguir apresentadas:

a) Características técnicas do material

- extremamente difícil de serrar, mesmo com serra diamantada, pela dureza que possui;

- um disco diamantado que corta de 400 a 500 metros lineares de granito, corta apenas 60 a 70 metros lineares de arenito silicificado;

- há diferenças marcantes de dureza entre arenitos provenientes de diferentes pedreiras e, numa mesma pedreira, entre seus diferentes estratos;

- o aparelhamento manual é relativamente fácil, porém resulta em produto inferior ao obtido através de serra diamantada;

- a presença, bastante comum, de saliências nos planos de estratificação, denominadas comercialmente "cavalos", dificulta e mesmo inviabiliza o trabalho de polimento;

- o tamanho mínimo para polimento das lajes, deve ser de 0,50 m x 0,50 m, por causa dos equipamentos existentes;

- numa jornada de trabalho de 9 horas, podem ser polidos, lustrados e cortados até 10 m² de granito, enquanto com o arenito o rendimento máximo é de 1 m²;

- para polimento e lustro do arenito, a espessura ideal para se trabalhar seria de 2 a 3 cm, com superfícies regulares planas e paralelas, a fim de se utilizar equipamentos aplicados para mármore e granitos e que são os únicos existentes;

- no beneficiamento, a porcentagem de perda do granito é da ordem de 10 %, sem aproveitamento dos cacos; já, para o arenito, a perda é de 60 % para produção de placas regulares e de 30 % para as irregulares, também sem aproveitamento dos cacos;

- lajes aparelhadas, de diferentes espessuras, são assentadas em pisos e depois podem ser polidas com uso de equipamento portátil sem se chegar ao lustro.

b) Custos

Caso o arenito fosse comercializado polido e lustrado, nas marmorarias da região, seu custo final seria atualmente pelo menos duas vezes o custo médio do m² de granito, mesmo considerando que a despesa com extração e transporte da laje bruta seria muito pequena.

5. DISCUSSÃO

5.1 - Forma de ocorrência e exploração

O Arenito Botucatu, na região, ocorre em forma estratificada ou maciça, sendo que a homogeneidade da forma maciça pode ser aparente, pois a partição sob impacto ocorre em níveis preferenciais, "estratos" não observáveis, muitas vezes, a olho nu. tais ocorrências estabelecem a forma de extração, que pode ser em lajes ou em blocos.

O processo de exploração, que vai desde o desmonte até o aparelhamento, é realizado segundo as seguintes etapas:

- desmonte: corresponde à retirada de grandes blocos ou placas para posterior redução no pátio da pedreira; esse desmonte é realizado por meio de explosivos ou por destacamento manual;
- redução primária: diminuição inicial de tamanho dos grandes blocos ou lajes espessas, realizada manualmente com auxílio de marretas;
- aparelhamento dos blocos resultantes da fase anterior, já nas dimensões normais de uso;
- confecção de "petit-pavé";

- aparelhamento final de lajes nas dimensões de uso e
- seleção e acumulação de blocos irregulares e de aparas, para posterior aproveitamento na confecção de gabiões.

A perfuração do maciço, para colocação de explosivos (nitro de amônio, pólvora ou dinamite), pode ser manual ou mecânica. A primeira é realizada em jazidas onde ocorrem faixas intemperizadas intercaladas com materiais sãos, bem como nas explorações de pequeno porte, onde não há recursos econômicos suficientes para a mecanização. Deve-se observar que o uso de perfuração mecânica torna-se mesmo impossível onde há faixas intemperizadas, uma vez que pode ocorrer o aprisionamento de brocas finas. Assim, a perfuração mecânica vem sendo usada nas jazidas com bancadas altas, maiores que 10 m e de grande produção diária.

Entre os problemas observados, podem-se destacar basicamente dois. O primeiro se refere ao mal aproveitamento dos recursos materiais existentes, visto que, em algumas pedreiras, a exploração é processada de forma pouco planejada, deixando-se de aproveitar uma quantidade muito grande de arenito de boa qualidade e gerando acumulação de rejeitos que prejudica o posterior uso dessa jazida (Figura 5.1). O segundo problema é a falta de mão de obra especializada, pois sendo a exploração basicamente manual, a continuidade deste tipo de exploração é problemática e está condicionada à existência de mão de obra muito especializada que requer aproximadamente 3 anos de prática contínua para se adestrar. Sendo um trabalho muito pesado fisicamente e trazendo problemas de saúde (principalmente silicose), não é atraente para o aprendiz jovem; além disso, há outras ofertas de trabalho mais promissoras na região.

5.2 - Características tecnológicas

- Ensaio físicos

Os ensaios físicos e particularmente os "índices físicos", confirmaram uma das características deste material, já evidenciadas



Figura 5.1: Acumulação de rejeitos da exploração de arenito na Pedreira Araujo. Município de São Carlos.

nos trabalhos de campo, que é a falta de homogeneidade, principalmente no que se refere ao grau de silicificação.

O ensaio para determinação do módulo de deformabilidade dinâmico e da velocidade de propagação de ultra-som mostrou ser de grande valia para se inferir a resistência mecânica dos arenitos.

- Ensaio mecânicos

Estes ensaios, de um modo geral, evidenciaram as excelentes qualidades do arenito; embora existindo algumas amostras (as de numero 11, 12 e 14) que apresentaram resultados pouco satisfatórios e que correspondem a materiais não explotados nas pedreiras.

Os valores de resistência à compressão simples das lajes foram muito inferiores aos dos blocos. Isto pode ser explicado devido ao pequeno tamanho dos corpos de provas obtidos das lajes, como consequência das limitações impostas pelas suas espessuras. No entanto, quando se comparam os valores de resistência à carga pontual, cujos corpos de provas são de tamanhos semelhantes, observa-se que os valores são próximos ou, algumas vezes, maiores para as amostras de lajes.

- Ensaio químicos

O Arenito Botucatu, de modo geral, mostrou-se resistente às solicitações impostas pelos ensaios químicos, característica confirmada também pela avaliação mecânica realizada após os ensaios, exceto as amostras 20 e 21 que, no ensaio de sanidade com sulfato de sodio, apresentaram percentagens de perdas muito altas.

- Trabalhabilidade

Pelas informações obtidas nas marmorarias da região, foi possível constatar dois aspectos importantes no que se refere à trabalhabilidade do Arenito Botucatu: O primeiro, é a extrema dureza deste material, propriedade que dificulta bastante os trabalhos de

serragem e polimento das placas; o segundo aspecto é o fato de que os equipamentos existentes são específicos para marmores e granitos, cujas formas de ocorrência e extração são totalmente diferentes das apresentadas pelo Arenito Botucatu silicificado.

5.3 - Utilização

A utilização do Arenito Botucatu silicificado depende do tipo de ocorrência, se na forma de blocos ou de lajes.

a. Blocos

- em calçamentos, como "petit-pavé" (pequenos fragmentos, aproximadamente cúbicos, com 4 a 5 cm de lado), quando a rocha apresenta granulação fina, superfícies de quebra regulares, aspecto "vitreo" e coloração clara (Figura 5.2);
- em muros de arrimo, alicerces e também como blocos aparelhados, com dimensões mais comuns da ordem de 0,30 x 0,30 x 0,40 m;
- em alicerces e gabiões como blocos não aparelhados, também com dimensões semelhantes à anterior (Figura 5.3);
- finalmente poderíamos ainda considerar o emprego como agregado, onde seu uso é aconselhável, pelas seguintes razões: na britagem, é excessivamente abrasivo (provocando desgaste acentuado das mandíbulas), produzindo grande quantidade de pó e fragmentos com arestas cortantes; quanto à adesividade ao betume, é insatisfatória finalmente, não concorre com os agregados de magmatitos básicos, que são abundantes na região e tradicionalmente utilizados na construção civil.

b. Lajes

- em calçamentos, quando apresentam espessura em torno de 10 cm, com

uma ou duas faces regulares, podendo ser serrada, aparelhada ou simplesmente quebrada irregularmente;

- quando a granulação está na faixa da areia fina, não apresenta anomalias (concreções, manchas, etc.) e a espessura é da ordem de 2 a 3cm, além de serrada pode ser polida, o que permite seu uso em pisos e revestimento de paredes, internos e externos (Figura 5.4); as lajes se apresentam mais comumente com dimensões variando de 1 X 0,80m até 0,20 X 0,30m, sendo mais comercializadas nos tamanhos de 0,40 X 0,40m e de 0,60 X 0,60m.
- em revestimentos de paredes, internas e externas, após aparelhamento manual perpendicular ao acamamento (Figura 5.5).



Figura 5.2: Aplicação de arenito como "petit-pavé", juntamente com basalto. Catedral de São Carlos.



Figura 5.3: Estrutura de arrimo em gabião preenchido com fragmentos irregulares de arenito silicificado, usado na retificação do Corrego do Monjolinho. São Carlos.



Figura 5.4: Aplicações de arenito: Lajes aparelhadas manualmente (coluna) e lajes polidas com bordas serradas (piso e escadaria). Catedral de São Carlos.



Figura 5.5: Lajes com aparelhamento manual perpendicular ao acamamento. Fachada de residência em São Carlos.

6 - CONCLUSÕES

- A exploração do Arenito Botucatu silicificado na região de São Carlos, é realizada de forma basicamente manual.
- O potencial de material de boa qualidade, possível de ser explorado, é muito grande.
- A continuidade do trabalho está ameaçada pela falta de renovação de mão de obra especializada.
- Os resultados dos ensaios de caracterização realizados classificam o Arenito Botucatu silicificado como um material de extrema dureza e resistência, mostrando valores comparáveis aos de rochas cristalinas de qualidade já reconhecida em termos de geologia de engenharia.
- Finalmente, tendo em vista a utilização consagrada há longo tempo e os resultados dos ensaios, observa-se que estes arenitos silicificados são excelentes materiais de construção, principalmente quando aplicados para uso externo em residências e obras públicas.

BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

- ALEXANDER, G.B.; HESTON, W.N. & ILER, R.K - 1954 - The Solubility of Amorphous Silica in Water: Jour. Pys. Chemistry, V. 58, p. 453-455.
- ALMEIDA, F.F.M. - 1964 - Os Fundamentos Geológicos do Relevo Paulista - In: Geologia do Estado de São Paulo, São Paulo, IGG. Bol. 41: p. 168-263.
- AMARAL, S.E. DO - 1964 - Silicificação Intersticial de Arenitos de Sergipe (Séries Barreiras) e de Varnhagem, São Paulo (Série Itararé). Revista da Sociedade Brasileira de Geologia, São Paulo, 10(1): p. 79-99.
- ANDERSON, G.M. & BURNHAM, C.W. - 1965 - The Solubility of Quartz in Supercritical Water: Am. Jour. Sci., v. 263, p. 494-511.
- BARBOSA, A.F. et alli - 1964 - Geologia do Estado de São Paulo, São Paulo, I.G.G. Bol. Num. 41. 263 p. Ilus.
- BARLSONE, G.; BOTTINO, G. & CARDU, M. - 1986 - Italian Peninsular Aggregates and the Alkali-Silica Reaction. Proc. 5th. International Congress - International Association of Engineering Geology. Buenos Aires, v. 5, p. 1623-1632.
- BIEN, G.S.; CONTOIS, D.E. & THOMAS, N.H. - 1959 - The Removal of Soluble Silica from Fresh Water Entering the Sea. Silica in Sediments: Pub. especial Num. 7 da Soc. Econ. Paleontologists & Mineralogists, p. 20-35.
- BJORNBERG, A.J.S.; GANDOLFI, N. & PARAGUASSU, A.B. - 1964 - Ocorrência de Prismas Hexagonais de Arenito em São Carlos, SP (Formação Botucatu): Bol. Soc. Bras. de Geologia, v. 13, n. 1-2, São Paulo.
- BJORNBERG, A.J.S. et alli - 1965 - Perfis Geológicos de Vales no Município de São Carlos. Ciência e Cultura, São Paulo, 17(2): Resumo das Comunicações da Reunião Anual da Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência, p. 131.

- BJORNBERG, A.J.S. & LANDIM, P.M.B. - 1966 - Sobre os Arenitos da Serra da Mantiqueira e os Arenitos da Formação Botucatu (Eocretáceo): Bol. Paranaense de Geografia, n. 18/20, p. 19-24, Curitiba.
- BOSSIO, N.J. - 1970 - Novas Evidências sobre o Ambiente de deposição do Arenito Botucatu. XXIV Congresso Brasileiro de Geologia. Brasília-DF, Bol. esp. Num. 1, p. 55-56.
- BOWLES, O. - 1939 - The Stones Industries. 2 nd., Ed. New York, MacGraw Hill Book.
- CALEMBERT, L. ; POPESCU, C.; POPESCU, M. & SCHRDEDER, C. - 1980 - Relations entre les caracteristiques des Materiaux Rocheux et les Qualites Mecaniques des Agregates Routiers. in: Bulletin of the International Association of Engineering Geology. Num. 22, p. 167-122.
- CAMPOS, J. & BLAKE, E. - 1983 - Correlações entre as Propriedades Físicas e a Resistência a Compressão Simples nos Arenitos do Caiuá, in: Simpósio sobre a Geotecnia da Bacia do Alto Paraná, Anais..., São Paulo, ABMS - CBMR, V. II B, Tema II, p. 57-87.
- CARVALHO, A.M.V. DE - 1954 - Contribuição ao Estudo Petrográfico do Arenito Botucatu no Estado de São Paulo. Boletim da Sociedade Brasileira de Geologia, São Paulo, 3(1): p. 51-72.
- CASTRO ELDA DE - 1983 - Studies on Stone Treatments. Ministério da Habitação, Obras Públicas e Transportes - Laboratório Nacional de Engenharia Civil - Memória Num. 584.
- CAVALCANTI, J.C. et alii - 1979 - Projeto Sapucaí, Estado de São Paulo, Rio de Janeiro e Minas Gerais. Relatório Final de Geologia. Brasília, DNPM/CPRM, Superintendencia Regional de São Paulo, 279 p. Ilus.
- CAVALCANTI, A.M.S. - 1951 - Tecnologia da Pedra. Editora Pongetti.
- CHOW, D.T.W. & ROBINSON, R.J. - 1953 - Forms of Silicate Available for Colorimetric Determination: Anal Chemistry, v. 25, p. 646-648.

COMPANHIA ENERGETICA DE SAO PAULO - Métodos de Ensaio: Agregados. V.

II. Laboratório Central de Engenharia Civil.

CORRENS (1941), apud SIEVER, R., - 1962 - Silica Solubility, 0-200 C, and the Diagenesis of Siliceous Sediments: Jour. Geology, v. 73, p. 127-150.

COTTAS, L.R.; GODOY, A.M. & GERALDES, M.C. - 1968 - Novas considerações Petrográficas e Estratigráficas sobre as Formações Piramboia e Botucatu, da Bacia Sedimentar do Paraná. XXXIV Congresso Brasileiro de Geologia - Goiânia - Goiás - Bol. Num. 1, p. 42.

DAVINO, A. et alii - 1966 - Propriedades Físicas e Mecânicas do Arenito Botucatu e Rochas Basálticas do Estado de São Paulo. Ciência e Cultura, São Paulo, 18(2): Resumo das Comunicações. p. 213.

DAVIS, W.G. & BLATT, H. - 1964 - Experimental Study of Quartz Overgrowths and Synthetic Quartzites: Jour. Geology, v. 72, p. 461-468.

DEFFONTAINE, P. - 1965 - A zona dos Arenitos e dos Diabases. In: Regiões e Paisagens do Estado de São Paulo, Geografia, São Paulo, 1(2): p. 156-158.

DOBEREINER, L. - 1987 - Geotecnia de Arenitos Brandos-Síntese de Tese, ABGE, 52 pp. São Paulo.

ERNST, W.G. & BLATT, H. - 1964 - Experimental Study of Quartz Overgrowths and Synthetic Quartzites: Jour. Geology v. 72, p. 461-468.

FLECK, C.J. & GREMS, S.A. - 1970 - Evidências de eventos Metamórficos Contemporâneos deposição do Arenito Botucatu e anteriores aos Derrames Basálticos do Sudoeste do Rio Grande do Sul, Brasil. XXIV Con. Bras. de Geol. Brasília-DF, Bol. esp. Num. 1, p. 346-347.

FLORENCE, G. - 1907 - Notas geológicas sobre o Rio Tietê em o Trecho Estudado pela Turma, etc ..., em 1905: Com. Geogr. Geol. de São Paulo 3o. edição, 1930, p. 9-16

- FOURNIER, R.O. - 1960 - Solubility of Quartz in Water in the Temperature Interval from 25 C to 300 C.: Geol. Soc. America Bull., v. 71, p. 1867-1868.
- FREDERICKSON, A.F. & COX, J.E. Jr. - 1954 - Mechanism of "Solution" of Quartz in Pure Water at Elevated Temperature and Pressures: Am. Mineralogists, v. 39, p. 886-900.
- FREYBERG, B.V. - 1927 - Observaciones Geologicas en la Region de la Serra Geral - Rio Grande do Sul: Bol. de la Academia Nac. de Ciências em Cordoba, tomo XXX, p. 129-170, Buenos Aires.
- FRONDEL, C. - 1938 - Stability of Colloidal Gold Under Hydrothermal Conditions: Econ. Geology, v.33, p. 1-20.
- FRONDEL, C. - 1962- Dana's The System of Mineralogy. 7a. ed., v. III, Silica Minerals, John Wiley and Sons.
- FU, T.W. & SOAREZ, P.C. - 1974 - Minerais pesados nas Formações Pirambóia e Botucatu. In: Anais do XXVIII Congresso Brasileiro de Geologia, Porto Alegre, SBG, v. 2, 119-127.
- FULFARO, V.J. - 1968 - Novas observações sobre a Faciologia do Arenito Botucatu no Estado de São Paulo. In: XXII Congresso Brasileiro de Geologia, Belo Horizonte, Resumo das Comunicações, p. 57-58.
- GALOS, M.; KERTEZ, P.; KURT, I. & MAREK, I. - 1982 - Le comportement Geotechnique des Roches Carbonatees Employees en Hongries. In: Bulletin of the International Association of Engineering Geology. Num. 25, p. 67-72.
- GANDOLFI, N.; PARAGUASSU, A.B.; CAMPOS, J.O.; BORTOLUCCI, A.A.; RODRIGUES, J.E. & NOBREGA, C. - 1983 - Contribuições para a caracterização Geotecnica de Rochas Sedimentares do Grupo Bauru. Simpósio sobre a Geotecnia da Bacia do Alto Paraná - ABMS - ABGE - ABMR. Tema II-B, pag. 127-143.
- GAU, Q.Q.; CHENG, H.T. & ZHUO, P. - 1983 - The Strength Deformation and Rupture characteristics of Red Sandstone Under Poliaxial Compression. in: 5th. International Congress on Rock Mechanics,

Melbourne, ISRM, v. 1, p. A 157-A160.

GREENBERG, S.A. & PRICE, E.W. - 1957 - The solubility of silica in solutions of Electrolytes: Jour. Phys. Chem. v. 61, p. 1539-1541.

GREHS SANDOR, A. & VERGARA, V. - 1968 - A ocorrência de Arenitos Intertrápicos e Rochas Mistas na Área de Vulcanismo Basáltico do Rio Grande do Sul - Ambiente de Deposição, Significado Geotécnico e Agrogeológico. Anais do XXII C.B.G. - Belo Horizonte-MG - p. 259-261.

GREHS SANDOR, A. & VERGARA, V. - 1970 - Características Petrográficas do Arenito Botucatu Metamorfizado - Município de Quari e Alegrete, Rio Grande do Sul. XXIV Congresso Brasileiro de Geologia, Brasília-DF, Bol. esp. Num. 1, p. 348-349.

GUEDES, S.A. - 1972 - Breve estudo sobre o comportamento da Calcedônia nos Ensaios de Reatividade Potencial do Agregado e Reatividade dos Alcalis do Cimento com o Agregado, Porcentagens Deleterias de um Mineral. In: Anais da 4ta. Semana Paulista de Geologia Aplicada. São Paulo. p. 173-181.

GUIMARAES, J.E.P. - Calcário no Estado de São Paulo. Boletim do Instituto Geográfico e Geológico, São Paulo, (32): p. 1-64.

HABERLEHNER HERMANN - 1980 - As investigações Geológico-Geotécnicas para a Barragem de Curua-Una. Simpósio sobre as Características Geológico-Geotécnicas da Região Amazônica - ABGE - Brasília-DF - p. 137-166.

HEALD, M.T. - 1955 - Commentations of Simpson and St. Peter Sandstones in Parts of Oklahoma, Arkansas and Missouri: Jour. Geology, v. 64, p. 16-30.

HENNINGSEN, D. - 1980 - Relationship Between Petrography and Texture of Rocks and Their Properties as Road Material. In: Bulletin of the International Association of Engineering Geology. Num. 22, p. 191-193.

HITCHEN (1945), apud KRAUSKOPF, K.B. - 1956 - Dissolution and Preci-

- precipitation of Silica at Low Temperatures: *Geochim. et Cosmochim. Acta*, v. 10, p. 1-26.
- INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS - 1980 - Características Tecnológicas das Rochas utilizadas como Material Natural de Construção Civil do Estado de São Paulo, Relatório Num. 14.710, São Paulo.
- INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS - 1981 - Mapa Geológico do Estado de São Paulo, Escala 1:500.000. São Paulo, IPT-PRO MINERIO-PROMOCET, vol. I e II, 125 o. Ilus.
- KELLER, W.D.; REESMAN, A.L. & BALGORD, W.D. - 1963 - Dissolved Products of Artificially Pulverized silicate Minerals and Rocks: Parte 1: *Jour. Sed. Petrology*, v. 33, p. 191-204.
- KENEDY, G.C. - 1950 - A Portion of the System Silica-Water: *Econ. Geology*, v. 45, p. 61-76.
- KNECH, T. - 1943 - Bibliografia sobre os recursos Minerais no Estado de São Paulo no Século Passado. *DI.G.G.*, São Paulo, 2(2): p. 225-228.
- KRAUSKOPF, K.B. - 1956 - Dissolution and Precipitation of Silica at low Temperatures: *Geochim. et Cosmochim. Acta*, v. 10, p. 1-26.
- KRAUSKOPF, K.B. - 1959 - The Geochemistry of Silica in Sedimentary Enviroments. Em: *Silica in Sediments: Publ. especial Num. 7 da Soc. Econ. Paleontologists & Mineralogists*, p. 4-19.
- KRUMBEIN, W.C. & SLOSS, L.L. - 1963 - *Stratigraphy and Sedimentation*: W.H. Freeman and Co., California
- LEINZ, V. - 1938 - A silicificação nos Sedimentos Gondwanicos no Sul do Brasil e sua Origem: *Dep. Nac. da Prod. Mineral, An. da Acad. Brasil. Ciências*, t.X, n.3, 1938.
- LOPES, A.S. & MARTINS, M.A. - 1981 - Utilização de arenito brando em construção de barragens. 3o. Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia, Itapema, ABGE, v. 3, p. 187.

- LOVERING, T.S. - 1923 - The Leaching of Iron Protores and Precipitation of Silica in Cold Water: *Econ. Geology*, v. 18, p. 523-540.
- MACIEL FILHO CARLOS LEITE - 1977 - Caracterização Geotécnica das Formações Sedimentares de Santa Maria, RS. Dissertação de Mestrado apresentado ao Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- MACKENZIE, F.T.; GARRELS, R.M.; BRICKER, O.P. & BRICLEY, F. - 1967 - Silica in Sea Water-Control by Silica Minerals: *Science* v. 455, p. 1404-1405.
- MELFI, A.J. et alii - 1971 - Alteração experimental de arenitos Silicificados da Formação Botucatu. In: XXV Congresso Brasileiro de Geologia, São Paulo, Resumo das Comunicações, SBG, p. 124.
- MELLO MENDES, F. - 1978 - A Geologia de Engenharia e o Planejamento Racional das Explorações de Rochas de Construção e Ornamentais. *Anais do 2 Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia*, v. 2, p. 253-261.
- MOSEBACH, R. - 1957 - Thermodynamic Behavior of Quartz and Other Forms of Silica in Pure Water at Elevated Temperatures and Pressures with Conclusions on Their Mechanics of Solution: *Jour. Geology*, v. 65, p. 347-363.
- NASCIMENTO, V. - 1970 - O problema da alterabilidade das Rochas em Engenharia Civil. Memória no. 363 Laboratório Nacional de Engenharia Civil. Lisboa.
- NIEBLE, C. - 1981 - Aspectos Geotécnicos do Projeto e Construção de Usinas Hidrelétricas na Região Amazônica. In: Simpósio sobre o Desenvolvimento Hidrelétrico da Região Amazônica, *Anais...*, São Paulo, ABMS, v. 1, p. 38-74.
- OKAMOTO, G.; OKURA, T. & GOTO, K. - 1957 - Properties of Silica in Water. *Geomechim. et Cosmochim. Acta*, v. 12, p. 123-132.
- OLIVEIRA, E.P. DE - 1930 - Nota sobre os Arenitos de Botucatu e

- Piramboia. Boletim do Serviço Geológico e Mineralógico, Rio de Janeiro, (46): p. 50-54.
- OLIVEIRA, J. & CARUSO, L. - 1981 - Contribuição ao Conhecimento Atual de Características Tecnológicas de Rochas sedimentares em alguns Estados Brasileiros. In: Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia, 3 Anais..., Itapema, A.B.G.E., v.3, p. 221-233.
- OPPENHEIM, V. - 1934 - Nota sobre o Silex (Chert) no Sul do Brasil: An. da Acad. Brasil. de Ciências, Tomo VI, n. 2, Rio de Janeiro.
- PARAGUASSU, A.B.; GANDOLFI, N. & TOLENTINO, M. - 1966 - Arenito Botucatu como Material de Construção: Trab. Apres. na XVIII Reunião Anual da SBPC, Blumenau-SC, res. publ. em Ciência e Cultura, v. 18, n. 2, p. 215, São Paulo.
- PARAGUASSU, A.B. - 1968 - Contribuição ao Estudo da Formação Botucatu: Sedimentos Aquosos, Estruturas Sedimentares e Silicificação, Tese de Doutorado EEESC-USP, P. 65-118.
- PARAGUASSU, A.B. - 1969 - Estruturas sedimentares na Formação Botucatu. XXIII Congresso Brasileiro de Geologia - Salvador-BA, Bol. esp. Num. 1, p. 56.
- PARAGUASSU, A.B. - 1969 - Estudo Experimental sobre a Silicificação nos Arenitos Botucatu. In: XXIII Congresso Brasileiro de Geologia, Salvador-BA, Resumo das Conferências e das Comunicações. SBG, p. 84.
- PARAGUASSU, A.B. - 1970 - Sedimentos Aquosos da Formação Botucatu. Boletim Paranaense de Geociências, Nos. 28/29, p. 193-211.
- PARAGUASSU, A.B. - 1972 - Experimental Silicification of Sandstone. Geological Society of American. Bulletin v. 83, p. 2853-2858.
- PARAGUASSU, A.B.; GANDOLFI, N. & FABBRI, G.T.P. - 1987 - Influência das Partículas Finas no Ensaio de Abrasão "Los Angeles". So. Congresso Brasileiro de Geologia, Anais... São Paulo, v.2, p. 203-211.

- PENTEADO MARIA, M. - 1968 - Geomorfologia do Setor Centro-Occidental da Depressão Periférica Paulista. Tese de Doutorado apresentada a Academia de Geografia Física da Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras de Rio Claro.
- PICKERING, R.J. - 1962 - Some Leaching Experiments on Three Quartzfree Silicate Rocks and their Contribution to an Understanding of Laterization: Econ. Geol., v. 57, p. 1185-1206.
- PONÇANO, E.L. et alii - 1981 - Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo. Escala 1:1.000.000 - São Paulo, IPT-PRO MINERIO-PROMOCET, Vol. I e II.
- QUADROS, L.P. DE, - 1976 - Efeito das Intrusões de Diabásio em Rochas Sedimentares do Leste e Sul da Bacia do Paraná. Boletim Técnico da Petrôbras, Rio de Janeiro, 19(3): p. 139-155.
- ROCHA-CAMPOS, A.C. et alii - 1968 - Texturas Superficiais de Grãos de Areia da Formação Botucatu (Cretáceo Inferior Examinados ao Microscópio Eletrônico. In: XXII Congresso Brasileiro de Geologia - Belo Horizonte, Resumo das Conferências, SBG, p. 65.
- RONI, N.R. - 1977 - Variações na Granulometria da Formação Botucatu na Quadricula de Piracicaba. Tese de Doutorado apresentada a Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz-USP.
- ROY, C.J. - 1945 - Silica in Natural Water: Am. Jour. Sci., v. 243, p. 399-403.
- RUIZ, M.D - 1966 - Características Tecnológicas de Rochas do Estado de São Paulo, Instituto de Pesquisas Tecnológicas - Bol. 50.
- SCHNEIDER, R.L. et alii - 1974 - Revisão Estratigráfica da Bacia do Paraná. XXVIII Congresso Brasileiro de Geologia. Porto Alegre-RS, v. 1, p. 41-46.
- SIEVER, R. - 1957 - The Silica Budget in the Sedimentary Cycle: Am. Mineralogists, v. 42, p. 821-841.
- SIEVER, R. - 1959 - Petrology and Geochemistry of Silica Cementation

- in Some Pennsylvanian Sandstone Em: Silica in Sediments: Publ. especial Num. 7 da Econ. Paleontologists & Mineralogists, p. 55-79.
- SIEVER, R. - 1962 - Silica Solubility, 0-200 C. and Diagenesis of Siliceous Sediments: Jour. Geology, v. 70, p. 127-150.
- SILVA, R.B.G. de, KIMNELMANN, A.A. & REBOUCAS, A.C. - 1985 - Estudo Hidroquímico e Isotópico das Águas Subterrâneas do Aquífero Botucatu. - Resultados Parciais para a Região Norte da Bacia do Paraná. 5to. Simpósio Regional de Geologia. São Paulo, v. 2, p. 484-495.
- SINELLI, O. - 1970 - Geologia e Água Subterrânea no Município de Ribeirão Preto e Adjacências. Tese de Doutorado apresentada na Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras de Ribeirão Preto-SP.
- SUGUIO, K. & FULFARO, V.J. - 1974 - Diques Clásticos e outras Feições de Contatos entre Arenitos e Basaltos da Formação Serra Geral. XXVIII Congresso Brasileiro de Geologia. Porto Alegre-RS, v. 2, p. 107-112.
- TARR, W.A. - 1917 - Origin of Chert in the Burlington Limestone: Am. Jour. Sci., v. 194, p. 409-452.
- VILAR, O.M.; RODRIGUES, J.E.; BJORNBERG, A.J.S. & PARAGUASSU, A.B. - 1986 - The Phenomenon of Silicification in Slopes. Proc. 5th. International Congress - International Association of Engineering Geology. Buenos Aires, v. 3, p. 931-932.
- WASSERBURG, G.J. - 1958 - The Solubility of Quartz in Supercritical Water as a Function of Pressure: Jour. Geology, v. 66, p. 559-578.
- WERNICK, E. - 1966 - A Silicificação do Arenito Botucatu na Quadricula de Rio Claro: Bol. Soc. Bras. de Geologia, v. 15, n. 1, p. 49-57, São Paulo.
- WERNICK, E. & CASTRO, P.R.M. - 1971 - Contribuição ao Estudo de Grãos de Quartzo Alongados do Arenito Botucatu. Notícia Geomorfológica, Campinas, 11(22): p. 39-48.

WHITE, D.E.; BRANNOCK, W.W. & MURATA, K.J. - 1956 - Silica in Hot-spring Water: Geochim et Cosmochim. Acta v. 10, p. 27-59.

WOOD, J.A., Jr. - 1958 - The Solubility of Quartz at High Temperature and Pressures: Am. Jour. Sci., v. 256, p. 40-47.

YOSHIDA, R. - 1972 - Contribuição ao Conhecimento de Características Tecnológicas de Materiais Rochosos, Tese de Doutorado apresentada ao Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo-SP.

YOSHIDA, R.; FARJALLAT, J.E.S.; CARUSO, L.G. & FRAZAO, E.B. - 1972 - Sugestão de Roteiro e Escolha de Ensaio Tecnológico de Rochas. Anais da 4ta. Semana Paulista de Geologia Aplicada, São Paulo, p. 199-236.