

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS EM MONUMENTOS PÉTREOS
PAULISTANOS

Natália Mendonça Rodrigues

Orientadora: Profa.Dra. Eliane Aparecida Del Lama

MONOGRAFIA DE TRABALHO DE FORMATURA
(TF-2012 / 34)

TF
R696
NM.e
e.2

SÃO PAULO
2012

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS EM MONUMENTOS PÉTREOS
PAULISTANOS

Natália Mendonça Rodrigues



Orientadora: Profa.Dra. Eliane Aparecida Del Lama

MONOGRAFIA DE TRABALHO DE FORMATURA
(TF-2012 / 34)

DEDALUS - Acervo - IGC



30900031198

SÃO PAULO
2012

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS EM MONUMENTOS PÉTREOS
PAULISTANOS

Natália M. Rodrigues
Natália Mendonça Rodrigues

Eadl
Orientadora: Profa.Dra. Eliane Aparecida Del Lama

MONOGRAFIA DE TRABALHO DE FORMATURA
(TF-2012 / 34)

SÃO PAULO
2012

*Dedico este trabalho aos meus pais,
exemplo de garra e determinação. Um casal
maravilhoso que é, pra mim, a maior prova de
que nunca é tarde para começar ou
recomeçar.*

Amo vocês acima de qualquer coisa!

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a minha orientadora, Prof^a Dr. Eliane Aparecida Del Lama, pela dedicação, preocupação, carinho e paciência ao longo desta caminhada. Além de uma profissional brilhante é uma pessoa pela qual tenho grande admiração e respeito.

A toda equipe da Biblioteca Municipal Mário de Andrade, pelo apoio à pesquisa e por permitir a realização dos ensaios na fachada e monumentos da biblioteca.

Ao Prof. Johann Hans Daniel Schorscher, por fornecer a amostra do Charnockito Ubatuba.

Agradeço com carinho especial aos meus professores que entre “puxões” de orelha, conversas, conselhos e muita paciência, me ensinaram um pouco de geologia. Mostraram o caminho para realizar o sonho. Obrigada a todos do Instituto de Geociências: aos Motoristas, por toda a ajuda e risadas nos campos. A toda a equipe da biblioteca, aos técnicos de laboratórios e a equipe do museu por toda a preocupação em ajudar sempre.

Ao grande amigo Alexander Gimenez (Uruguai) pelo auxílio, conselhos e pela ajuda nas minhas buscas por um caminho e, principalmente, por me fazer sentir tão forte quando ele não consegue quebrar um granito.

A amiga Elisa Alexandre (Farol), Mariana Silvatti (Caça) e Maria Carolina Amorim Catunda (Obelix) pela companhia, força, conversas, risadas e por tantas outras coisas que não posso nem dimensionar.

Agradeço às meninas da pós Pinhão, Gê, Vesga, Pará e Farol pela companhia e pelas risadas. A todos os colegas de faculdade e, que saudade vou sentir dos *Monstrões*. Agradeço aos amigos que nunca vou esquecer: Cá Emily, Quel, Cá, Buty, Nina, Mi, Tetê, Ariane, Jú, Lais, Thais, Kinder, Rodrigo, Piver, Angeli e tantos outros que fazem parte de quem eu sou.

Com carinho mais que especial agradeço a Luiz Carlos Maia (Kal) e toda a sua família, que me acolheu, me motivou e esteve ao meu lado enfrentando todas as dificuldades que apareceram. Kal, *eu também!* Obrigada por tudo.

A minha família que tanto me apoiou e me deu força para continuar. Aos meus irmãos Gabriel e Victor que amo demais e, a minha irmã querida Rachel Tassini, que apesar de nossos laços não serem de sangue, são eternos.

Sumário

RESUMO

ABSTRACT

1	INTRODUÇÃO	1
2	OBJETIVOS	2
3	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	3
4	SÍNTESE GEOLÓGICA	5
5	LITOTIPOS SELECIONADOS	8
6	MATERIAIS E MÉTODOS	11
6.1	Monumentos analisados	13
7	TÉCNICAS ANALÍTICAS	16
7.1	Petrografia	17
7.2	Tubo de Karsten	23
7.3	Ultrassom	27
7.4	Esclerômetro de Reflexão	37
8	DISCUSSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS	40
9	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	43

ANEXO I - ULTRASSOM: TABELA DE MEDIDAS

ANEXO II – MONUMENTOS NO CENTRO HISTÓRICO PAULISTANO

ÍNDICE DE TABELAS

TABELA 7-1- FATORES QUE AFETAM O ENSAIO COM O TUBO DE KARSTEN, EXTRÁIDO DE APPS (2011).....	24
TABELA 7-2 – LEITURAS DE VOLUME (ML) DE ÁGUA ABSORVIDO PELA ROCHA EM FUNÇÃO DO TEMPO (HS) EM ENSAIO DE ABSORÇÃO DE ÁGUA SOB BAIXA PRESSÃO – TUBO DE KARSTEN.....	26
TABELA 7-3 – VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO DE ONDA DE ULTRASSOM EM AMOSTRAS DO GRANITO MAUÁ (GM), ITAQUERA (GI) E DO CHARNOCKITO UBATUBA (CK), COM TRANSDUTORES DE 54 E 150 KHZ, PELOS MÉTODOS DIRETO, INDIRETO E SEMIDIRETO.....	30
TABELA 7-4 - VELOCIDADES DE PROPAGAÇÃO DE ONDAS ULTRASSÔNICAS EM MONUMENTOS.	34
TABELA 7-5 – VALORES OBTIDOS EM ENSAIOS DE DUREZA SUPERFICIAL (IC E RESISTÊNCIA – MPA).....	39

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 4-1 - MAPA GEOTECTÔNICO SIMPLIFICADO DO ESTADO DE SÃO PAULO (ADAPTADO DE CPRM 2006)	5
FIGURA 5-1 - LOCALIZAÇÃO APROXIMADA DAS PEDREIRAS DE ONDE FORAM EXTRAÍDAS AS AMOSTRAS (FONTE: GOOGLETM EARTH, MAIO DE 2012)	8
FIGURA 5-2 – LOCALIZAÇÃO DA PEDREIRA DO GRANITO MAUÁ (AV. SANTA CLARA, RIBEIRÃO PIRES – SP).....	9
FIGURA 5-3 - LOCALIZAÇÃO DA PEDREIRA DO GRANITO ITAQUERA (AV. ITAQUERA, N° 5889, SÃO PAULO - SP).....	9
FIGURA 5-4 - LOCALIZAÇÃO DA PEDREIRA DO CHARNOCKITO UBATUBA (AV.DAS TONINHAS, S/N).	10
FIGURA 6-1 – MARTELO DE SCHIMIDT. EM “A” PAINEL DIGITAL DO MARTELO E EM “B” CORPO DO MARTELO.	11
FIGURA 6-2 – EQUIPAMENTO PARA REALIZAÇÃO DE ENSAIOS DE DETERMINAÇÃO DA VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO DE ONDAS ULTRASSÔNICAS. NA FIGURA PODE-SE IDENTIFICAR: (A) UNIDADE DE ULTRASSOM; (B) TRANSDUTORES DE 54 kHz; (C) TRANSDUTORES DE 150 kHz; E (D) CABOS COAXIAIS.....	13
FIGURA 6-3 - <i>NOSTALGIA</i>	13
FIGURA 6-4 - <i>MONUMENTO EM HOMENAGEM AO CLUB ATHLETICO PAULISTANO</i>	14
FIGURA 6-5 - <i>CAMÕES</i>	14
FIGURA 6-6 - <i>MÁRIO DE ANDRADE</i>	14
FIGURA 6-7 - <i>BIBLIOTECA MÁRIO DE ANDRADE</i>	15
FIGURA 6-8 - <i>JOSÉ BONIFÁCIO</i>	15

FIGURA 7-1 – AMOSTRAS USADAS PARA A REALIZAÇÃO DE ENSAIOS LABORATORIAIS. (A) GRANITO CINZA MAUÁ (21x12x9 CM); (B) CHARNOCKITO UBATUBA (16x12x5 CM); (C) GRANITO ITAQUERA (28x20x3 CM); (D) GRANITO ITAQUERA (20x17x8 CM); (E) GRANITO ITAQUERA (38x20x24 CM); E (F) GRANITO CINZA MAUÁ (37x20x13 CM). A E B SÃO VISUALIZADAS EM DOIS CORTES DIFERENTES NAS FIGURAS	16
FIGURA 7-2 – FOTOMICROGRAFIA DO GRANITO MAUÁ. FOTO 1) TEXTURA SUBIDIOMÓRFICA DE GRANULAÇÃO MÉDIA – GROSSA. TITANITA ASSOCIADA À BIOTITA. FOTO 2) VEIO DE QUARTZO RECRISTALIZADO CORTANDO O MICROCLÍNIO, COM BIOTITA ASSOCIADA EM SUA BORDA. INCLUSÕES DE BIOTITA, MUSCOVITA E EPÍDOTO NO MICROCLÍNIO. FOTO 3) EXSOLUÇÃO DE FERRO INTERSTICIAL. FOTO 4) SAUSSURITIZAÇÃO DOS FELDSPATOS (ASSOCIADOS A MUSCOVITA, EPÍDOTO E CARBONATOS). FOTO 5) TURMALINA SUBIDIOMÓRFICA. FOTO 6) ALLANITA COM NÚCLEO ALTERADO, ASSOCIADA À BIOTITA.	19
FIGURA 7-3 – FOTOMICROGRAFIA DO GRANITO ITAQUERA. FOTO 1) TEXTURA PORFIRÍTICA, SUBIDIOMÓRFICA DE GRANULAÇÃO MÉDIA – FINA. FOTO 2) FENOCRISTais DE MICROCLÍNIO (0,6 – 2 MM) COM GEMINAÇÃO EM GRADE. CONTATOS IRREGULARES COM QUARTZO E O PLAGIOLÁSIO, LOCALMENTE HÁ OCORRÊNCIA DE PERTITA E MIRMEQUITA. FOTO 3) BIOTITA LAMELAR ASSOCIADA À MUSCOVITA. FOTO 4) TITANITA E HORNBLENDAS EUÉDRICAS.....	21
FIGURA 7-4 – FOTOMICROGRAFIA DO CHARNOCKITO UBATUBA. FOTO 1) CRISTAL DE PLAGIOLÁSIO COM MIRMEQUITA NA BORDA. BIOTITA INCLUSA NO FELDSPATO. FOTO 2) BIOTITA COM INCLUSÕES DE TITANITA E ZIRCÃO, FORMANDO HALOS PLEOCRÓICOS E, ASSOCIADA AOS PIROXÊNIOS E ANFIBÓLIOS.	22
FIGURA 7-5 (A) DIMENSÕES DO TUBO DE KARSTEN PARA USO EM SUPERFÍCIES VERTICAIS E (B) PARA USO EM SUPERFÍCIES HORIZONTAIS (RILEM 2006).....	24
FIGURA 7-6 – TUBO DE KARSTEN FIXADO COM MASSA DE MODELAR (ESQ.) E ALGINATO (DIR.)... <td>25</td>	25
FIGURA 7-7 - TESTES DE ABSORÇÃO DE ÁGUA SOB BAIXA PRESSÃO UTILIZANDO O TUBO DE KARSTEN.....	26
FIGURA 7-8 - VOLUME DE ABSORÇÃO (ML) DE ÁGUA NOS DIFERENTES LITO TIPOS ESTUDADOS EM RELAÇÃO AO TEMPO (HS).....	27
FIGURA 7-9 - TRANSDUTOR ACOPLADO NA AMOSTRA DE ROCHA.....	28
FIGURA 7-10 - ARRANJO DOS TRANSDUTORES PARA A REALIZAÇÃO DE ULTRASSOM.....	29
FIGURA 7-11 – AMOSTRAS UTILIZADAS PARA ENSAIOS DE PROPAGAÇÃO DE ONDAS DE ULTRASSOM. A) GRANITO MAUÁ; B) CHARNOCKITO UBATUBA; E C) GRANITO ITAQUERA.....	29

FIGURA 7-12 – MÉTODO PARA ATRIBUIÇÃO DE SIGLA NOS CONJUNTOS DE MEDIDAS OBTIDOS.....	29
FIGURA 7-13 - GRÁFICO DAS MEDIDAS DE V (M/S) NO GRANITO MAUÁ COM TRANSDUTOR DE 54 KHZ (À ESQUERDA) E 150 KHZ (À DIREITA).....	31
FIGURA 7-14 - GRÁFICO DAS MEDIDAS DE V (M/S) NO GRANITO ITAQUERA COM TRANSDUTOR DE 54 KHZ (À ESQUERDA) E 150 KHZ (À DIREITA).	31
FIGURA 7-15- GRÁFICO DAS MEDIDAS DE V (M/S) NO CHARNOCKITO UBATUBA COM TRANSDUTOR DE 54 KHZ E 150 KHZ.....	32
FIGURA 7-16 - MONUMENTOS EM QUE FORAM REALIZADOS ENSAIOS DE ULTRASSOM.	33
FIGURA 7-17 - MÉTODO PARA ATRIBUIÇÃO DE SIGLA NOS CONJUNTOS DE MEDIDAS OBTIDOS NOS MONUMENTOS.	33
FIGURA 7-18 – GRÁFICO COM OS VALORES OBTIDOS EM MONUMENTOS CONFECCIONADOS EM GRANITO ITAQUERA.....	35
FIGURA 7-19 - GRÁFICO COM OS VALORES OBTIDOS EM MONUMENTOS CONFECCIONADOS EM GRANITO MAUÁ.	36
FIGURA 7-20 - GRÁFICO COM OS VALORES OBTIDOS NO MONUMENTO <i>JOSÉ BONIFÁCIO</i>	36
FIGURA 7-21 – AMOSTRAS ONDE FORAM REALIZADOS TESTES DE RESISTÊNCIA SUPERFICIAL COM MARTELO DE SCHMIDT.....	38
FIGURA 7-22 – CURVAS DE CORRELAÇÃO ENTRE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO UNIAXIAL E ÍNDICE DE ESCLEROMETRIA (I.C.).....	39

RESUMO

Grande parte dos monumentos pétreos encontrados na cidade de São Paulo foi confeccionado em granitos, dentre os quais se destacam o *Granito Cinza Mauá* (*Granito Mauá*), o *Granito Itaquera* e o *Granito Verde Ubatuba* (*Charnockito Ubatuba*).

Uma vez que estes monumentos estão expostos, estão sujeitos aos processos intempéricos. Para avaliar as condições de alteração dos monumentos e para não alterar sua característica e aparência, faz-se necessário o uso de técnicas não destrutivas.

Neste trabalho foram utilizadas técnicas que comumente são aplicadas para avaliação *in situ* de concretos e de argamassas no ramo da engenharia civil, que podem ser adaptadas e utilizadas para análises em monumentos, como é o caso de ensaios de determinação de velocidade de propagação de ondas ultrassônicas (ou simplesmente ensaio de ultrassom) para determinar a sanidade da rocha, Tubo de Karsten (ou cachimbo) para avaliar a absorção de água e Esclerômetro de Reflexão (ou Martelo de Schmidt) para avaliação da resistência.

Ensaios de determinação de velocidade de propagação de ondas ultrassônicas nas três amostras indicam que o *Granito Itaquera* e o *Granito Mauá* apresentam velocidades de propagação de ondas muito próximas. Quando fraturado, observa-se uma redução na velocidade de propagação da onda, como pode ser observado na amostra do *Charnockito Ubatuba* estudada.

Ensaios de laboratório com amostras dos três litotipos indicam uma baixa taxa de absorção de água, compatível com o *fabric* destas rochas.

Os valores de esclerometria para os *Granitos Mauá* e *Itaquera* são similares, sendo que o *Charnockito Ubatuba* apresenta valores inferiores.

As técnicas não destrutivas aqui utilizadas mostraram-se adequadas para a caracterização de monumentos pétreos, sendo de uso mais rotineiro em outros países, e portanto, deveriam ser mais aplicadas no patrimônio histórico brasileiro.

ABSTRACT

Most part of stone monuments of the city of São Paulo was built with granite: Mauá Gray Granite (Mauá Granite), Itaquera Granite and Ubatuba Green Granite (Ubatuba Charnockite) stand out among the most importants.

The monuments are exposed outside, so they are submitted to weathering processes. The evaluation of this state of weathering should be carried out using non-destructive techniques, preserving thus their integrity.

In this project, aiming the evaluation of weathering state of some monuments in the city of São Paulo, common techniques used in concrete and mortar of the civil engineering area were adapted for analyses in monuments, e.g., P-wave velocities (or ultrasonic test) to evaluate the stone quality, Karsten's tube or pipe to evaluate the water absorption and Schmidt hammer to evaluate the surface hardness.

Tests for determination of P-wave velocities in three granites show that Itaquera Granite and Mauá Granite exhibit values very similar. The fractured stone shows a little reduction in velocity, as it can be observed in the sample of Ubatuba Charnockite used in this study.

The Karsten's tube analyses show low absorption rate of water as it is expected for these stone fabrics.

Sclerometric values for Mauá and Itaquera Granites are similar, but Ubatuba Charnockite shows lower values.

The non-destructive techniques presented here are appropriate for characterization of stone monuments. They are more used in others countries and should be more applied in Brazilian historical heritage.

1 INTRODUÇÃO

Na cidade de São Paulo são encontrados diversos monumentos pétreos em logradouros públicos, listados pela Secretaria Municipal de Cultura (SMC) e pelo Departamento do Patrimônio Histórico (DPH), dentre eles alguns foram confeccionados com Granito Itaquera, Granito Cinza Mauá e Granito Verde Ubatuba.

Os granitos possuem uma durabilidade maior, se comparado com outras rochas utilizadas nos monumentos (como mármores, por exemplo), isso acontece devido à dureza maior de seus minerais, como o quartzo e o feldspato.

Entretanto as rochas utilizadas nos monumentos estão suscetíveis ao intemperismo e a erosão, e sua intensidade possui relação direta com as propriedades físicas das rochas, tais como dureza, resistência mecânica, porosidade e composição mineralógica.

Quando se trata de Patrimônio Histórico, a realização de ensaios técnicos para a investigação de tais propriedades nos monumentos torna-se bastante difícil dado que boa parte dos ensaios feitos em rochas são ensaios destrutivos, daí a importância da aplicação de ensaios não destrutivos.

Os estudos sobre patrimônio histórico, com abordagem geológica, têm crescido no Brasil, o que num futuro próximo poderia incentivar a participação de geólogos em equipes multidisciplinares para realização de projetos de conservação e restauro de monumentos e edifícios históricos.

2 OBJETIVOS

A partir do uso de técnicas não destrutivas, pretende-se estudar as características físicas (tais como, dureza superficial e absorção de água) e as características mineralógicas dos tipos graníticos selecionados, comercializados com os nomes de Granito Cinza Mauá, Granito Itaquera e Granito Verde Ubatuba, tanto de amostras obtidas em pedreiras como nos monumentos e edifício:

- *Nostalgia* (autoria de Francisco Leopoldo e Silva);
- Monumento em Homenagem ao Club Atlético Paulistano (composto pelo *Banco Monumental* e pela esfera armilar, projetado por José Wasth Rodrigues e executado por Roque de Mingo);
- Biblioteca Municipal de São Paulo – *Biblioteca Mário de Andrade* (projeto pelo arquiteto francês Jacques Pilon);
- *Luiz Vaz de Camões* (autoria de José Cuccé);
- *Mário de Andrade* (autoria de Bruno Giorgi);
- *José Bonifácio de Andrada e Silva, Patriarca da Independência* (autoria de Alfredo Ceschiatti).

Objetiva-se também mapear os principais monumentos confeccionados com os três tipos petrográficos selecionados na cidade de São Paulo.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A Convenção para a Proteção do Patrimônio Mundial, Cultural e Natural da UNESCO define, em seu Artigo 1º, monumentos como *obras arquitetônicas, esculturas ou pinturas monumentais, objetos ou estruturas arqueológicas, inscrições, grutas e conjuntos de valor universal excepcional do ponto de vista da história, da arte ou da ciência*, e sua conservação é assegurada pelo Artigo 5º da mesma convenção (UNESCO 1972).

Em geral, acredita-se que os tipos rochosos são selecionados pelos artistas de acordo com as suas características artísticas e não físicas, ou seja, muitos deles são extremamente suscetíveis à ação intempérica, bem como a ação antrópica (Silva 2005; Reys *et al.* 2007) dado que a maior parte dos monumentos pétreos conhecidos na cidade de São Paulo fica exposta em logradouros públicos.

Na cidade de São Paulo foram listados, pelo Departamento do Patrimônio Histórico (DPH), mais de 400 monumentos e obras de arte em logradouros públicos (DPH 2012), dos quais alguns são sugeridos por Stern *et al.* (2006) e Augusto & Del Lama (2011) como parte de um Roteiro Geológico pelo centro velho da cidade. Reys *et al.* (2007) relacionam alguns dos monumentos pétreos da cidade, bem como suas patologias, trabalho este complementado por Del Lama *et al.* (2009), onde é indicado que a composição mineralógica pode influir em sua resistência ao intemperismo.

A maior parte dos monumentos encontrados faz uso das denominações *granitos* ou *mármore*, mas em se tratando de rochas ornamentais são chamadas de *mármore* não apenas as rochas metamórficas, mas também rochas carbonáticas sedimentares como o calcário, e *granitos* são as rochas ígneas e metamórficas de granulometria grossa de composição mineralógica essencialmente félsica (Vargas *et al.* 2001).

O *mámore* é utilizado em monumentos de pequeno porte, entretanto para monumentos de grande porte é notada a preferência por *granitos* (Del Lama *et al.* 2009). A preferência por *granitos* se dá pela sua alta durabilidade e pela sua variedade de cores resultante da sua variedade mineralógica, uma vez que são chamados comercialmente de *granitos* os litotipos: álcali-feldspato granito, granito, quartzo monzonito, granodiorito, tonalito, charnockito, paragnaisse, granulito, dentre outros (Vargas *et al.* 2001).

Segundo Del Lama *et al.* (2009), os *granitos Itaquera* e *Cinza Mauá* são classificados como biotita monzogranito.

O Charnockito Ubatuba é comercializado como Granito Verde Ubatuba, e trata-se de uma rocha com fenocristais de feldspato alcalino de até 10 cm. Estes são responsáveis pela coloração verde escura desta rocha.

Nos trabalhos de Frascá (2003), Silva (2005), Silva (2007), Ballester (2008), Del Lama (2008), Oliveira (2008), Del Lama *et al.* (2008, 2009), dentre outros, são apresentados ensaios realizados em estudos de casos do estado de degradação de monumentos e prédios históricos, entretanto o que se nota é que boa parte dos ensaios empregados são considerados destrutivos (como a difração de raios X, onde há necessidade de pulverização de parte da rocha para que seus minerais sejam identificados), o que limita seu uso a existência de fragmentos que se desprenderam devido à degradação do monumento.

4 SÍNTESE GEOLÓGICA

O Estado de São Paulo apresenta duas constituições tectonoestratigráficas distintas, compreendida pela Província Paraná, a oeste, e pela Província Mantiqueira, a leste, subdivisões geológicas do território brasileiro, conforme ilustrado na Figura 4-1.

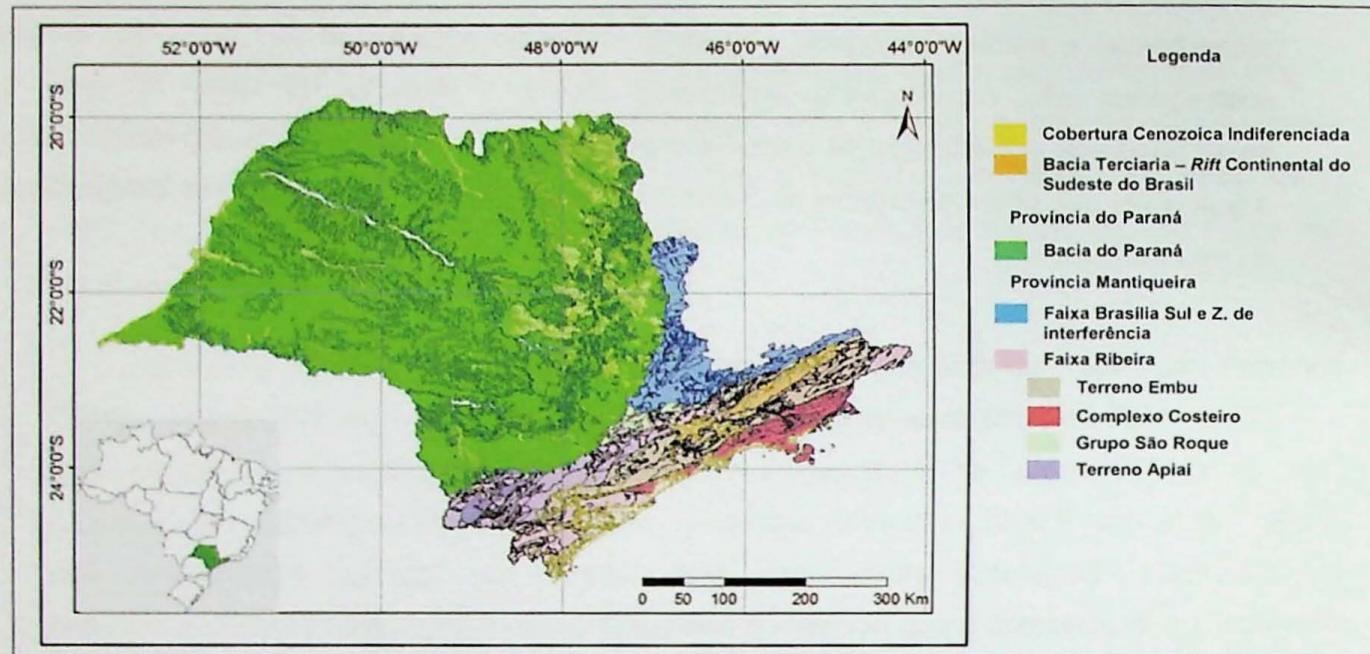


Figura 4-1 - Mapa Geotectônico Simplificado do Estado de São Paulo (adaptado de CPRM 2006).

Os terrenos a oeste situam-se na Província Paraná, representados pelas sequências sedimentares paleozoico-mesozoicas e vulcânicas básicas e alcalinas mesozoico-cenozoicas, enquanto que os terrenos a leste fazem parte da Província Mantiqueira, definida por Almeida *et al.* (1977, 1981), constituída pelas unidades pré-cambrianas da Faixa Brasília Sul e Faixa Ribeira/Apiaí que se estende desde a Bahia até o Rio Grande do Sul. É constituída por rochas ígneas e metamórficas de idade pré-cambriana e, intrusivas mesozoicas, além de bacias tafrogênicas do mesozoico-cenozoicas do Rift Continental do Sudeste do Brasil.

A Província Mantiqueira, definida por Almeida *et al.* (1977, 1981), alinha-se na direção NE-SW, na porção Sul e Sudeste do Brasil. Trata-se de uma província com mais de 3 mil km de extensão, delimitando-se com as províncias Tocantins, São Francisco e Paraná (Heilbron *et al.* 2004).

No estado de São Paulo, o Orógeno Ribeira (segmento central), possui estruturação resultante da interação entre o Cráton do Congo e o Cráton São Francisco, e provavelmente

algumas microplacas e/ou arcos de ilha a sudeste deste cráton (Heilbron *et al.* 2004). Essa faixa orogenética foi anteriormente definida por alguns autores como Faixa Ribeira (Cordani *et al.* 1973), Faixa de Dobramentos Ribeira (Wernick & Galembeck 1987, Artur *et al.* 1992, Janasi & Ulbrich 1992 *apud* Heilbron *et al.* 2004). Ela se estende por cerca de 1.400 km, tendo sido compartimentada em três unidades: São Roque, Embu e Costeiro, dispostos de NW para SE (Tassinari & Campos Neto 1988).

O Grupo São Roque, também pertencente ao segmento central da Província Mantiqueira, é citado por diversos autores com nomes distintos, inicialmente definidos como Faixa São Roque/ Serra do Itaberaba, fora subdividido em dois Grupos, Serra do Itaberaba e São Roque, nos trabalhos de Juliani & Beljavskis (1995). Este grupo localiza-se entre as zonas de cisalhamento Itu - Jundiuvira e Taxaquara, discordando tectonicamente dos Complexos Itapira e Embu (Hackspacher *et al.* 1993).

O Grupo São Roque possui formações metapelíticas, com lentes metaconglomeráticas e metavulcânicas na sua base, formações essencialmente vulcânicas e vulcanoclásticas, possuem também metapelitos e metarenitos rítmicos e arcoseanos (Juliani & Beljavskis 1995).

Segundo Heilbron *et al.* (2004), o Terreno Embu diferencia-se dos demais terrenos pela idade paleoproterozoica da sua infraestrutura (composta por ortognaisses migmatíticos) e neoproterozoica mais antigas de seus episódios metamórficos. A infraestrutura é representada pelo Complexo Rio Capivari (Fernandes *et al.* 1990 *apud* Heilbron *et al.* 2004), de idade orosírica, enquanto a superestrutura metassedimentar, correspondendo ao Complexo Embu de Hasui (1973), foram agrupadas nas unidades Rio Una, Rio Paraibuna e Redenção da Serra, de idades desconhecidas (Fernandes *et al.* 1991 *apud* Heilbron *et al.* 2004). O magmatismo neoproterozóico nesse terreno difere dos terrenos vizinhos, com ausência de granitos francamente metaluminosos, sendo os tipos predominantes: biotita granito porfirítrico a inequigranular (Mauá, Itapeti, Santa Catarina e Batólito Lagoinha) e muscovita-biotita monzogranito equigranular (Guacuri, Santa Branca, Mogi das Cruzes e Batólito Quebra-Cangalha).

Segundo Janasi *et al.* (2003) na porção central da Faixa de Dobramentos Ribeira no Domínio Embu, são encontradas diversas intrusões graníticas neoproterozoicas, com grande variação composicional e dimensões dos corpos. Neste domínio encontra-se, dentre outros, o Maciço Granítico Mauá e o Granito Itaquera. Alves (2009) restringe a ocorrência dos granitos na porção do leste do estado entre as Falhas de Taxaquara a norte e Cubatão, a sul.

O Maciço Granítico Mauá (comercializado com o nome de Granito Cinza Mauá) é predominantemente composto por monzogranito porfirítico (Filipov & Janasi 2001), com bandamento magmático e enclaves microgranulares (Alves 2009). A região delimitada pelo encontro das Falhas de Taxaquare e Cubatão é denominada como “Bloco Mogi das Cruzes”, por se tratar de um aglomerado de pequenas intrusões graníticas nas proximidades do município homônimo (Alves 2009).

O Granito Itaquera é classificado como monzogranito, composto essencialmente por oligoclásio, microclínio, quartzo e biotita (Del Lama *et al.* 2009), entretanto difere do Granito Mauá pelo discreto fluxo magmático, pela ausência de megacristais de feldspato e pela atuação de alteração hidrotermal.

O Complexo Costeiro é constituído por ortognaisses, metassedimentos e rochas granulíticas, predominantemente charnockitos, como o Charnockito Ubatuba e noritos (Chiodi *et al.* 1983 *apud* Dias Neto *et al.* 2008).

Azevedo Sobrinho *et al.* (2011) definem o Charnockito de Ubatuba como um sienogranito, composto por quartzo, feldspato potássico, oligoclásio, biotita, hornblenda e ortopiroxênio, cuja gênese está associada à última granitogênese do leste do estado de São Paulo (ca. 565 Ma).

5 LITOTIPOS SELECIONADOS

Os litotipos selecionados para estudo são todos provenientes do próprio estado de São Paulo, tratando-se de corpos intrusivos localizados nos municípios de São Paulo (Granito Itaquera), Ribeirão Pires (Granito Mauá) e Ubatuba (Charnockito), representados na Figura 5-1.



LEGENDA: ■ GRANITO ITAQUERA ■ GRANITO MAUÁ ■ CHARNOCKITO UBATUBA

Figura 5-1 - Localização aproximada das pedreiras de onde foram extraídas as amostras
(Fonte: GoogleTM Earth, maio de 2012).

O Granito Mauá (comercializado como Granito Cinza Mauá) é extraído de pedreiras situadas entre os municípios de Mauá e Mogi das Cruzes (Figura 5-2).

As amostras obtidas foram retiradas da área de uma antiga pedreira, situada na Avenida Santa Clara s/n, no município de Ribeirão Pires – SP, e pode ser acessada através da rodovia Índio Tibiriçá (SP-031), entrando na Avenida Francisco Monteiro.

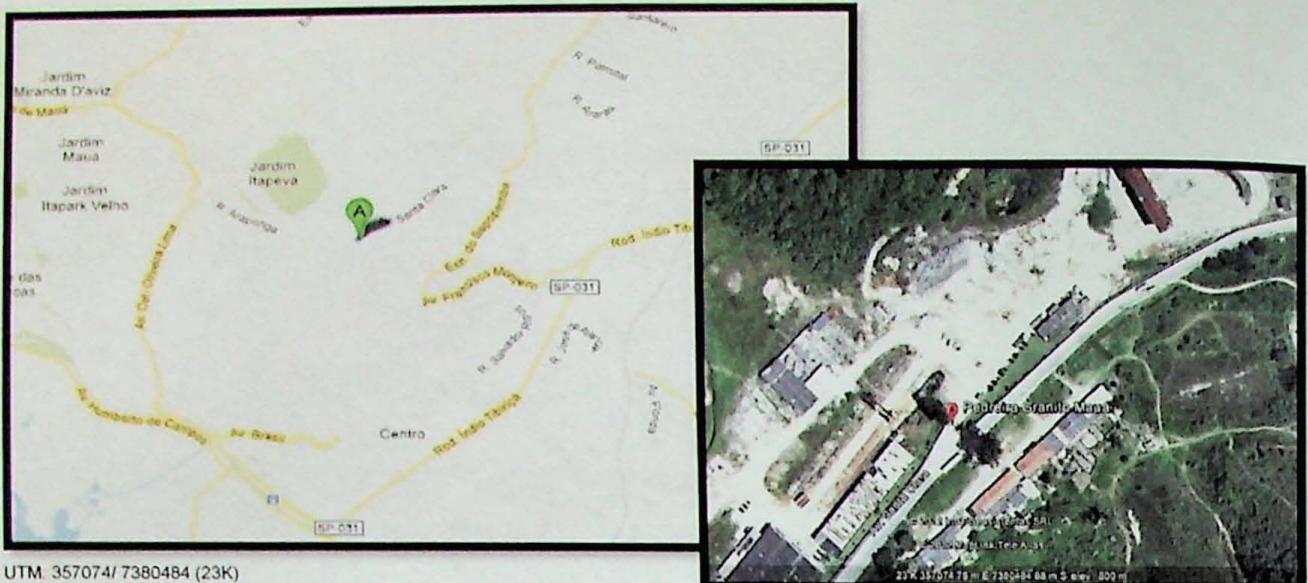


Figura 5-2 – Localização da Pedreira do Granito Mauá (Av. Santa Clara, Ribeirão Pires – SP).

O Granito Itaquera (comercializado com o mesmo nome) é encontrado dentro da cidade de São Paulo, no bairro de Itaquera. As amostras utilizadas no estudo foram coletadas na área da antiga pedreira, local que hoje inclusive encontra-se já totalmente aterrada. O acesso à pedreira de onde foram coletadas as amostras para o presente estudo dá-se pela Av. Itaquera, nº 5889 (Figura 5-3).

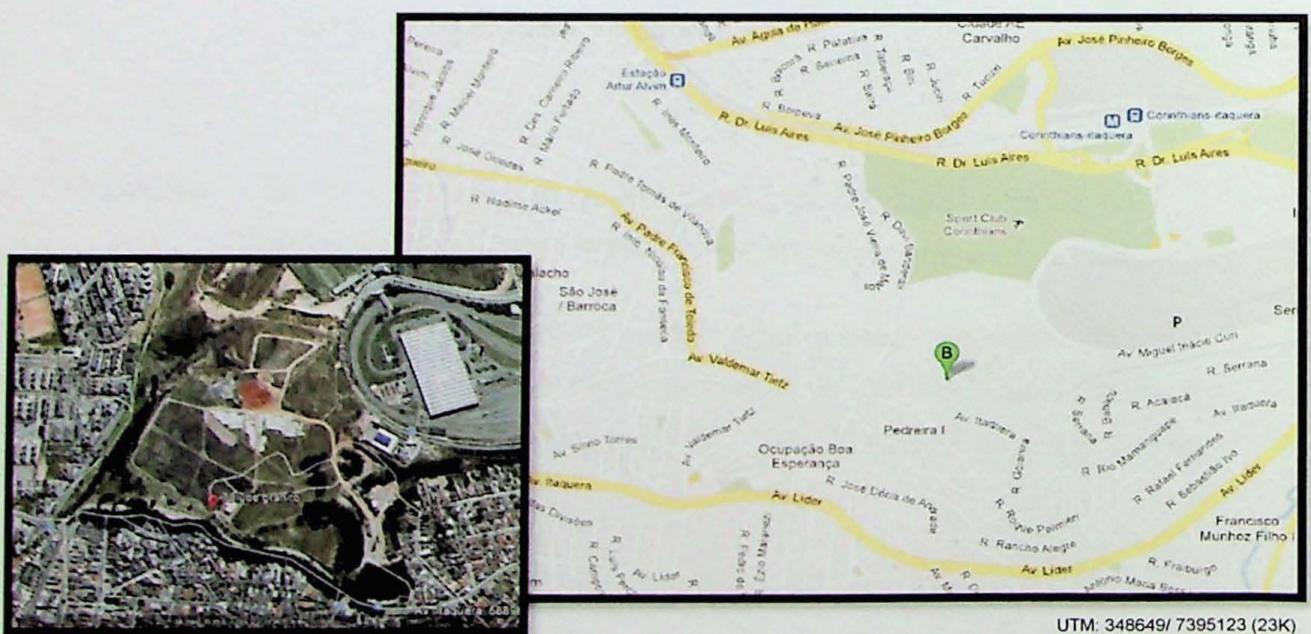


Figura 5-3 - Localização da Pedreira do Granito Itaquera (Avenida Itaquera, nº 5889, São Paulo - SP).

A amostra do Charnockito Ubatuba (comercializado como Granito Verde Ubatuba) foi concedida pelo Prof. Johann Hans Daniel Schorscher e, extraída de pedreira que atualmente encontra-se inativa, situada no município de Ubatuba.

O acesso à pedreira dá-se pela Rodovia Ayrton Senna da Silva, seguido da Rodovia Carvalho Pinto e Rodovia dos Tamoios, até chegar a Rodovia Manoel Hippiólio Rego, já no município de Ubatuba o acesso pode ser feito através da Avenida das Toninhas, s/n (Figura 5-4).



Figura 5-4 - Localização da Pedreira do Charnockito Ubatuba (Avenida das Toninhas, s/n).

6 MATERIAIS E MÉTODOS

Os métodos utilizados nesta monografia consistiram de visitas técnicas aos monumentos, coleta de amostras em pedreiras semelhantes às de onde foram extraídas as rochas para confecção dos monumentos, descrição petrográfica destes granitos e realização de testes não destrutivos, os quais incluem Martelo de Schmidt (ou esclerômetro de reflexão), Tubo de Karsten (ou cachimbo) e ensaios de Ultrassom (ensaios de determinação de velocidade de propagação de ondas ultrassônicas).

A descrição petrográfica foi feita com base na observação em campo, na descrição macroscópica realizada com auxílio de lupa em amostras de mão e na descrição microscópica, a partir das lâminas delgadas.

O Martelo de Schmidt (Figura 6-1), desenvolvido pelo engenheiro Ernest Schmidt, tem como finalidade avaliar a dureza superficial do corpo de prova. Trata-se de um equipamento composto por um pino central e uma mola interna, onde ao ser comprimido o pino contrai a mola, que quando liberada faz com que o material receba um golpe, de onde é medida a sua reflexão com base em uma escala interna do equipamento.

Para a realização dos testes foi utilizado o modelo WD2000 da NDT James Instruments Inc. (Figura 6-1). É um martelo do tipo L.



Figura 6-1 – Martelo de Schmidt. Em “A” painel digital do martelo e em “B” corpo do martelo.

O Tubo de Karsten é um equipamento relativamente simples, composto apenas por um tubo graduado que é afixado na amostra e tem como finalidade medir a absorção de água pela rocha.

Foram utilizados tubos graduados de 3,5 ml e de 4,0 ml (para ensaios horizontais e verticais, respectivamente), massa de modelar atóxica, Hidrocolóide Irreversível (Alginato), pisseta, placa de vidro (para controle da taxa de evaporação do ambiente), e amostras cortadas em fácies planas dos três litotipos.

Para a realização dos ensaios é necessário fazer a fixação e vedação do tubo na amostra, e para isso optou-se utilizar uma massa de modelar atóxica. A massa possui produtos químicos que agredem a amostra, e após 24 horas da realização do ensaio observou-se que houve uma grande impregnação, constatando-se que este material não é adequado para a aplicação do método nos monumentos.

Tal problema fora resolvido utilizando, para a fixação do tubo na amostra, Hidrocolóide Irreversível, conhecido também simplesmente como Alginato. O Alginato é um composto de sais minerais que contém como principal componente um alginato solúvel, como o alginato de sódio ou de potássio.

Este material foi escolhido para a fixação do Tubo de Karsten no monumento devido as suas propriedades químicas e físicas, pois após reação de geleificação (água + pó), o material permanece atóxico (não libera subprodutos), com fluidez limitada, baixa resistência ao rasgamento e alta recuperação elástica, o que o torna pouco permeável e de fácil remoção do monumento.

Os ensaios de determinação de velocidade de propagação de ondas ultrassônicas (ou simplesmente ensaio de ultrassom) têm por objetivo medir a velocidade de propagação das ondas longitudinais na amostra, o que permite avaliar a qualidade da rocha em seu interior.

O equipamento usado é a unidade do modelo *V-METER III* da NDT James Instruments Inc., transdutores de 150 kHz, 54 kHz e cabos coaxiais (Figura 6-2).

Para auxiliar o tratamento de imagens foram utilizados os Softwares: GoogleTM Earth Pro 4.2, ArcMap[®] 10 (ferramentas complementares de campo, utilizados para a visualização e ilustração da localização aproximada das pedreiras de onde foram extraídas as amostras, bem como para o georeferenciamento de imagens) e CorelDRAW[®] X5 (utilizado para edição de imagens e layout final).



Figura 6-2 – Equipamento para realização de ensaios de determinação da velocidade de propagação de ondas ultrassônicas. Na figura pode-se identificar: (A) Unidade de Ultrassom; (B) Transdutores de 54 kHz; (C) Transdutores de 150 kHz; e (D) Cabos coaxiais.

6.1 Monumentos analisados

Dentre os diversos monumentos pétreos paulistanos alguns foram identificados e listados no Anexo II, dos quais seis foram escolhidos para a realização de ensaios não destrutivos, conforme descritos a seguir.



Figura 6-3 - *Nostalgia*.

Nostalgia foi confeccionada pelo escultor Francisco Leopoldo e Silva, nos anos de 1920, para fazer par com a obra *Aretuza*, instalada no parque Trianon.

Foi esculpida em mármore, com base maciça de Granito Itaquera. A escultura *Nostalgia* (Figura 6-3) está hoje localizada na Praça Prof. Cardim, na zona oeste paulistana.

Foram realizados ensaios de determinação de velocidade de propagação de ondas ultrassônicas e Tubo de Karsten.

O Monumento em Homenagem ao Club Athletico Paulistano (Figura 6-4) foi projetado por José Wasth Rodrigues e executado por Roque de Mingo.

Consiste num *banco monumental* (em alvenaria, Granito Itaquera e bronze) e em uma coluna maciça de Granito Itaquera e uma esfera armilar de bronze.

O artista usou símbolos políticos para expressar o caráter diplomático do grande feito do Club Athletico Paulistano em 1925.

No espaldar do banco monumental, uma grande placa de bronze (conforme observado na Figura 6-4) traz a inscrição: *Ao Club Athletico Paulistano e o belo corpo de vencedores por ele enviado à Europa, onde deixou exemplares provas das energias e do cavalheirismo da mocidade paulista, o povo de São Paulo oferece para que o estímulo permaneça.*



Figura 6-4 - Monumento em Homenagem ao Club Athletico Paulistano.

Neste Monumento foram realizados ensaios de ultrassom nas duas pilastras que ficam nas pontas do banco monumental e na base que sustenta a esfera armilar, todos esculpidos em Granito Itaquera. O monumento localiza-se na Praça Dionísio de Carvalho.



Figura 6-5 - Camões.

Criada por José Cuccé, a escultura do poeta português Luiz Vaz de Camões (Figura 6-5) foi doada a São Paulo em 1942.

O monumento é uma homenagem a Camões, que ficou mundialmente famoso graças a sua obra poética *Os Lusíadas*.

A peça é esculpida em bronze com pedestal em Granito Mauá maciço. Localiza-se no canteiro da Biblioteca Municipal Mário de Andrade, na Praça Dom José Gaspar, na região central de São Paulo. Neste monumento foram realizados ensaios de ultrassom.

Criada pelo escultor Bruno Giorgi, em homenagem a Mário de Andrade, (Figura 6-6) é composta por uma cabeça em bronze e pedestal em Granito Mauá.

Implantada em 1946, atualmente localiza-se na entrada principal no interior da Biblioteca Municipal Mário de Andrade, na Praça Dom José Gaspar, região central de São Paulo.

Apesar de atualmente estar no interior da biblioteca, por anos este monumento ficou exposto na área externa na mesma praça, sendo exposto às ações intempéricas. Neste monumento foram realizados ensaios de ultrassom.



Figura 6-6 - Mário de Andrade.



Figura 6-7 - Biblioteca Mário de Andrade.

A Biblioteca Municipal de São Paulo foi fundada em 1925, e em 1960 passou a ser chamada *Biblioteca Mário de Andrade* (Figura 6-7). Projetada pelo arquiteto francês Jacques Pilon é a maior biblioteca pública da cidade de São Paulo e a segunda maior biblioteca pública do país, atrás apenas da Biblioteca Nacional.

A área externa da biblioteca (incluindo toda a fachada, base e escadarias) é toda confeccionada em blocos maciços e placas de Granito Cinza Mauá. Foram realizados ensaios de ultrassom em blocos polidos e não polidos (rugosos).

O monumento a *José Bonifácio de Andrade e Silva, Patriarca da Independência* (Figura 6-8) foi criado pelo escultor mineiro Alfredo Ceschiati. O monumento inaugurado no ano de 1972 é uma homenagem aos 150 anos da Independência do Brasil (parte das comemorações do sesquicentenário). Localiza-se na Praça do Patriarca, ao lado da Igreja de Santo Antônio, na região central de São Paulo.

A peça é confeccionada em bronze com pedestal maciço em Charnockito Ubatuba (Granito Verde Ubatuba). Os ensaios de Ultrassom foram realizados no pedestal.



Figura 6-8 - José Bonifácio.

7 TÉCNICAS ANALÍTICAS

Para uma análise das características geomecânicas e geotécnicas das rochas é necessária a aquisição de amostras adequadas para a realização de ensaios. Entretanto por se tratar de monumentos, a aquisição de amostras torna-se bastante complexa, pois ainda que sejam encontradas amostras em pedreiras elas não foram submetidas às mesmas condições intempéricas daquelas trabalhadas e expostas dos monumentos. Daí resulta na importância de análises quantitativas *in situ* realizadas a partir de técnicas não destrutivas.

Dentre os diversos métodos conhecidos para a realização de ensaios geomecânicos e geotécnicos, ensaios *in situ* e não destrutivos, comumente utilizados do âmbito da engenharia civil, destacam-se três que possuem boa adaptação aos ensaios em rochas, conforme descritos a seguir.

Além das técnicas aqui descritas como ensaios não destrutivos, optou-se pela análise petrográfica de amostras obtidas em pedreiras com a realização de seções delgadas de modo a complementar a análise dos litotipos, sempre que possível.

Para o desenvolvimento das técnicas analíticas laboratoriais foram utilizadas seis amostras dos três litotipos (identificadas de A a F, conforme Figura 7-1) obtidas em pedreiras como as de onde foram retiradas as rochas dos próprios monumentos.

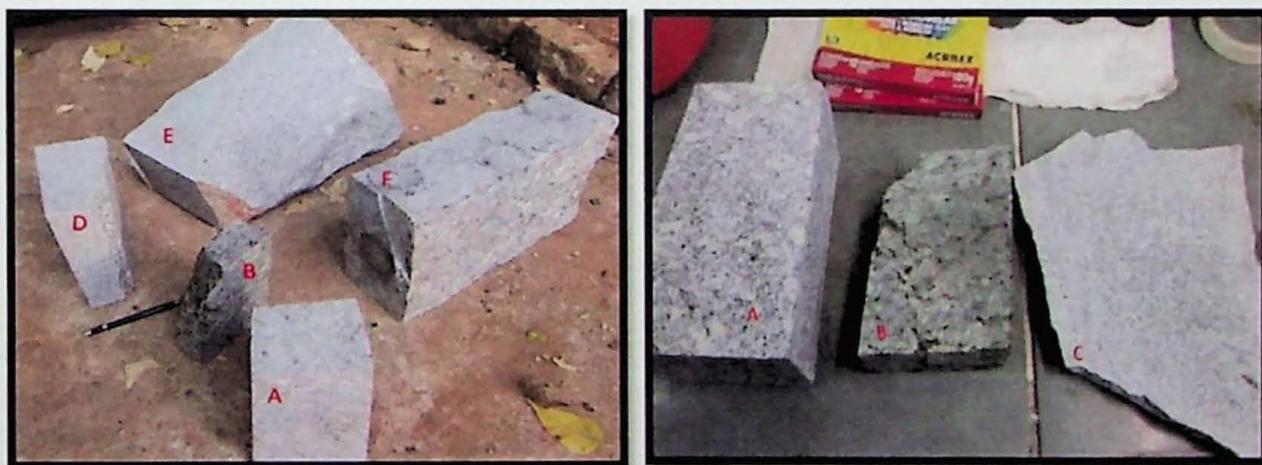


Figura 7-1 – Amostras usadas para a realização de ensaios laboratoriais. (A) Granito Cinza Mauá (21x12x9 cm); (B) Charnockito Ubatuba (16x12x5 cm); (C) Granito Itaquera (28x20x3 cm); (D) Granito Itaquera (20x17x8 cm); (E) Granito Itaquera (38x20x24 cm); e (F) Granito Cinza Mauá (37x20x13 cm). A e B são visualizadas em dois cortes diferentes nas figuras.

Dentre as amostras obtidas, três foram utilizadas para a realização de ensaios de absorção de água sob baixa pressão utilizando o Tubo de Karsten (amostras A, B e C), três foram utilizadas para a realização de ensaios de determinação de velocidade de propagação

de ondas ultrassônicas e petrografia (amostras A, B e D) e quatro foram utilizadas para medir a dureza superficial com esclerômetro de reflexão (amostras A, B, E e F).

7.1 Petrografia

Para a análise petrográfica foram preparadas cinco seções delgadas das rochas amostradas, das quais duas são do Granito Mauá (GM01, GM02), uma do Charnockito Ubatuba (CK01) e duas do Granito Itaquera (GI01, GI02). Para complementar os trabalhos três lâminas foram descritas preparadas anteriormente, das quais duas são do Granito Mauá (105a, 105b) e uma do Granito Itaquera (TMSP2).

As seções delgadas foram preparadas a partir de porções que foram retiradas das mesmas amostras em que foram realizados os ensaios de determinação de velocidade de propagação de ondas ultrassônicas (amostra A, B e D, Figura 7-1). As lâminas foram preparadas na seção de laminação e posteriormente foram observadas em microscópio óptico (OLYMPUS – BX40 e CARL ZEISS DO BRAZIL – AXIOPHAN 2) do Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo (IGC – USP).

- Granito Mauá

As amostras analisadas da rocha são compostas basicamente por quartzo (30 - 40%), K-feldspato (25 - 30%), plagioclásio (10 - 15%), biotita (5 - 8%), hornblenda (3- 5%), muscovita (1 - 3%) e como acessórios são encontrados apatita, titanita, sericitita, carbonato, epídoto, allanita, clorita, zircão, opacos e localmente turmalina.

A rocha possui textura porfirítica, subidiomórfica de granulação média – grossa (Figura 7-2 – Foto 2), com fenocristais de microclínio; com índice de cor (IC) de aproximadamente 8%.

As amostras de mão indicam um bandamento por fluxo magmático, marcado pelo arranjo dos fenocristais de K-feldspato, enquanto que em escala de afloramento o que se observa é uma heterogeneidade muito grande. É comum a ocorrência de enclaves maficos, com dimensões que variam de 5 cm a 15 cm.

Os fenocristais de microclínio (0,2 a 3 cm) apresentam geminação em grade, possuem inclusões de quartzo, biotita e plagioclásio. Apresentam-se subedrais e bastante fraturados, cujas fraturas estão preenchidas por carbonato, epídoto e por vezes exsoluções de ferro (Figura 7-2 – Foto 3); seu grau de alteração é baixo a moderado nas lâminas GM01 e GM02,

e moderado a alto nas lâminas 105a,b, sendo comum sua substituição parcial por sericita (Figura 7-2 – Foto 4).

Os plagioclásios (em geral andesina) possuem grau de alteração de moderado a alto, em geral seu núcleo está quase que totalmente substituído por sericita e muscovita, com epídoto preenchendo suas fraturas. Em contato com os feldspatos potássicos forma pertitas (2-5% dos feldspatos), com geminações polissintéticas da lei da albite e geminações simples de carlsbad, alguns grãos possuem bordas albíticas. Apresentam-se subedrais, zonados, por vezes com extinção ondulante.

O quartzo apresenta-se em veios recristalizados com textura em mosaico, ocorre incluso nos feldspatos e biotitas, e na matriz apresenta contato angular com outros cristais de quartzo ou em contato irregular com os plagioclásios, onde é recorrente a ocorrência de mirmequitas.

A biotita apresenta-se lamelar com inclusões de titanita e zircão, este formando halos pleocróicos, ou incluso em feldspatos. É comum encontrar biotita associada à clorita ou substituindo os anfibólios.

A hornblenda encontra-se na matriz da rocha, anedral, associada à biotita. A turmalina ocorre associada tanto à biotita quanto à hornblenda.

A muscovita encontra-se esparsa na matriz e inclusa em feldspatos. Bem como a sericita, o carbonato e o epídoto estão associada aos processos de saussuritização dos feldspatos (Figura 7-2 – Foto 4).

Dentre os minerais acessórios pode-se destacar a turmalina que apresenta se bem formada com coloração marrom (Figura 7-2 – Foto 5); a allanita (Figura 7-2 – Foto 6), que está bastante alterada no núcleo, mas com zoneamento evidente nas bordas; o zircão, a apatita, a titanita e os opacos encontram-se dispersos na rocha, ou inclusos em biotita.

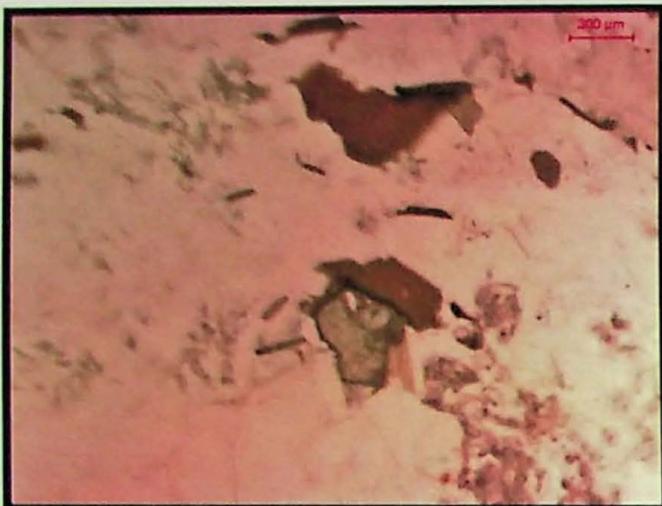


FOTO 1 – LÂMINA GM01.



FOTO 2 – LÂMINA GM02.

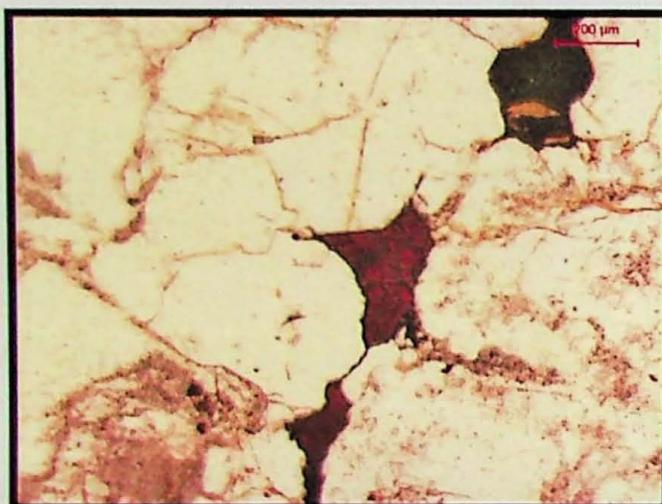


FOTO 3 – LÂMINA 105a.



FOTO 4 – LÂMINA 105a.

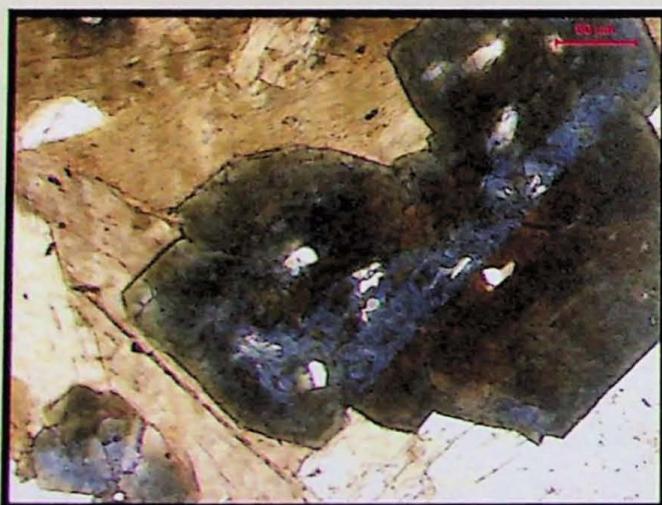


FOTO 5 – LÂMINA 105b.



FOTO 6 – LÂMINA 105b.

Figura 7-2 – Fotomicrografia do Granito Mauá. Foto 1) Textura subidiomórfica de granulação média – grossa. Titanita associada à biotita. Foto 2) Veio de quartzo recristalizado cortando o microclínio, com biotita associada em sua borda. Inclusões de biotita, muscovita e epidoto no microclínio. Foto 3) Exsolução de ferro intersticial. Foto 4) Saussuritização dos feldspatos (associados a muscovita, epidoto e carbonatos). Foto 5) Turmalina subidiomórfica. Foto 6) Allanita com núcleo alterado, associada à biotita.

- Granito Itaquera

Trata-se de uma rocha de coloração cinza claro, IC 3 – 5%, com leve orientação marcada pela biotita e pelos fenocristais de microclínio, localmente com pequenos bolsões de muscovita e concentrações de biotita. A rocha possui textura porfirítica, subidiomórfica de granulação média – fina (Figura 7-3 Foto 1), com fenocristais de K-feldspato, em geral microclínio.

É composto basicamente por K-feldspato (35 - 40%), quartzo (25 - 30%), plagioclásio (20 - 25%), muscovita (5 - 10%), biotita (3 - 5%), e como acessórios são encontrados epídoto (1 - 3%), titanita (1 - 2%), sericita, carbonato, apatita, zircão, clorita e opacos.

Os fenocristais de microclínio (0,6 – 2 mm) com geminação em grade possuem inclusões de quartzo, biotita e plagioclásio; ocorrem subedrais em contatos irregulares com quartzo e o plagioclásio, onde é recorrente a ocorrência de pertitas (Figura 7-2 - Foto 2). Boa parte apresenta-se fraturada e bastante alterada, cujas fraturas são preenchidas, principalmente, por quartzo recristalizado e óxidos de ferro.

O quartzo apresenta-se em veios recristalizados com textura em mosaico, ocorre incluso nos feldspatos e biotitas. Possuem contatos interlobados em meio à matriz felsica e por vezes com extinção ondulante.

Os plagioclásios, em geral andesina (na lâmina TMSP-2 ocorre oligoclásio), apresentam geminação polissintética da lei da albite – carlsbad, subedrais, zonados e em geral com o núcleo quase que totalmente substituído por epídoto, sericita e carbonato. Em contato com os feldspatos potássicos forma exsolução de pertitas. Alguns grãos apresentam-se dobrados e/ou alguns se apresentam fraturados, cujas fraturas são preenchidas por quartzo, carbonato e epídoto.

A biotita apresenta-se lamelar (Figura 7-3 - Foto 3) com inclusões de titanita (Figura 7-3 - Foto 4) e zircão formando halos pleocróicos. É comum encontrar biotita associada à muscovita marcando a foliação de fluxo magmático.

A muscovita ocorre em inclusões, associadas ao processo de saussuritização dos feldspatos ou mesmo lamelar associada à biotita.



FOTO 1 – LÂMINA GI01.



FOTO 2 - LÂMINA GI02.

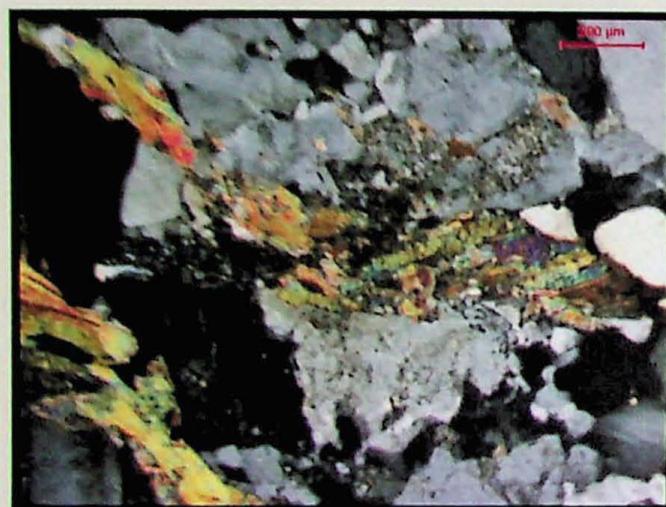


FOTO 3 – LÂMINA TMSP2.

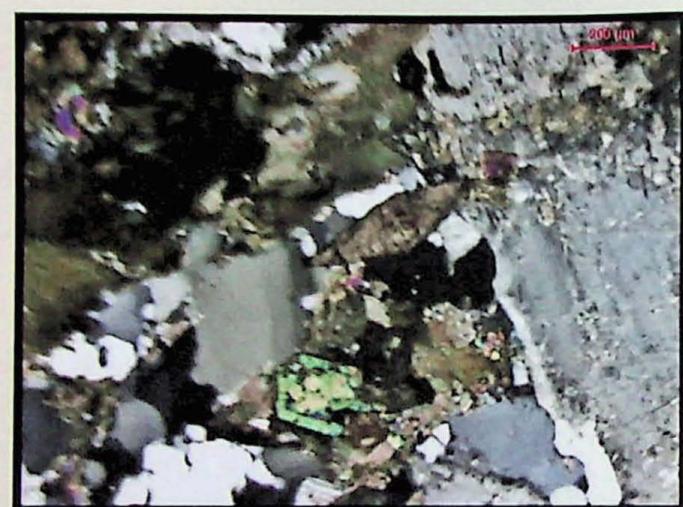


FOTO 4 – LÂMINA TMSP2.

Figura 7-3 – Fotomicrografia do Granito Itaquera. Foto 1) Textura porfirítica, subidiomórfica de granulação média – fina. Foto 2) Fenocristais de microclínio (0,6 – 2 mm) com geminação em grade. Contatos irregulares com quartzo e o plagioclásio, localmente há ocorrência de pertita e mirmequita. Foto 3) Biotita lamelar associada à muscovita. Foto 4) Titanita e hornblenda euédricas.

- Charnokito Ubatuba

A amostra observada apresenta-se bastante alterada com coloração castanho esverdeada. É composta por K-feldspato (35%), plagioclásio (25%), quartzo (20%) hornblenda (10%), piroxênio (5%) biotita (5%), e como acessórios são encontrados apatita, zircão, titanita, sericita, carbonato, epidoto, opacos e localmente rutilo.

A rocha possui textura porfirítica, subidiomórfica de granulação média – grossa, com fenocristais de microclínio, IC de 20%.

Os fenocristais de microclínio (0,5 a 4 cm) apresentam geminação em grade, possuem inclusões de quartzo, biotita, apatita e plagioclásio. Apresentam-se subbedrais em contatos irregulares com quartzo e plagioclásio; é recorrente a ocorrência pertitas e antipertitas ao redor dos grãos. Os cristais apresentam-se bastante fraturados, cujas fraturas estão preenchidas por exsoluções de ferro; seu grau de alteração é moderado.

Os plagioclásios (em geral oligoclásio) possuem grau de alteração moderado e assim como o microclínio suas fraturas são preenchidas por óxido de ferro e epídoto. Em geral com geminação polissintética da lei da albita e geminação simples de carlsbad, alguns grãos possuem bordas albíticas. Apresentam-se subbedrais, zonados, por vezes com extinção ondulante.

O quartzo apresenta-se subdiomórfico disperso na matriz, em geral com extinção ondulante. Por vezes ocorre incluso em microclínio e plagioclásio. É recorrente em toda a lâmina quartzo com aspecto vermiforme associado aos plagioclásios, formando mirmequitas (Figura 7-4).

A hornblenda encontra-se na matriz da rocha, sub a anedral, associada à biotita.

Os piroxênios se dividem em ortopiroxênio (90%) e clinopiroxênio (10%). O clinopiroxênio está bastante alterado, associado à biotita, enquanto que o ortopiroxênio, com fraco pleocroismo marrom amarelado, encontra-se sub a anedral com inclusões de apatita e titanita, em contato com a hornblenda e com a biotita.



Figura 7-4 – Fotomicrografia do Charnockito Ubatuba. Foto 1) Cristal de plagioclásio com mirmequita na borda. Biotita inclusa no feldspato. Foto 2) Biotita com inclusões de titanita e zircão, formando halos pleocróicos e, associada aos piroxênios e anfibólios.

A biotita apresenta-se lamelar com inclusões de titanita e zircão, formando halos pleocróicos, ou inclusa em feldspatos. É comum encontrar biotita associada aos piroxênios ou substituindo os anfibólitos (Figura 7-4 – Foto 2).

7.2 Tubo de Karsten

Os ensaios de absorção de água sob baixa pressão utilizando o Tubo de Karsten são comuns na área da engenharia civil, e é comumente empregado para avaliar a permeabilidade superficial em argamassas, concreto e blocos cerâmicos.

Mais recentemente, este método foi utilizado em granitos, o que até então não era muito comum.

Para a realização dos ensaios de absorção de água nas amostras, foi feita uma adaptação da Norma RILEM - II.4: "WATER ABSORPTION TUBE TEST" (RILEM 2006).

Trata-se de um método simples para medir a taxa de absorção da água através de material de alvenaria poroso em um período de tempo definido, seja pelo seu transporte vertical ou horizontal, com o objetivo de avaliar o grau de alteração do material ou em alguns casos, para testar a eficácia de hidrorepelentes.

A base teórica para o método considera todo material de alvenaria como sendo poroso, cujos poros são interconectados por meio de capilares. A água penetra no material por meio de capilaridade tanto vertical quanto horizontalmente. O volume de água absorvido e sua velocidade de absorção estão relacionados com o volume e dimensões de poros, os arranjos dos capilares da rocha e seu grau de saturação, dentre outros fatores que podem interferir ou influenciar o resultado dos ensaios, conforme ilustrado na Tabela 7-1.

Para a realização dos ensaios de medição da absorção de água sob baixa pressão utiliza-se um equipamento cujo formato aparenta um cachimbo, para medidas feitas em superfície vertical e em superfície horizontal (Figura 7-5).

Soares (2010) utilizou *massa de vidraceiro, durepox* e *silicone* para a fixação do tubo no granito, entretanto apenas o último mostrou-se adequado, porém, quando se trata de monumentos, nenhum destes materiais podem ser utilizados uma vez que podem deixar manchas devido ao excesso de oleosidade do produto ou mesmo cimentar o monumento.

Tabela 7-1- Fatores que afetam o ensaio com o tubo de Karsten, extraído de Apps (2011).

Fatores que influenciam o resultado do ensaio	Descrição
Existência de microfissuras e respectiva orientação	A existência de microfissuras na superfície proporciona um aumento do volume de água absorvido. Dado que este ensaio avalia a capacidade de impermeabilização em zona não fraturadas, os resultados obtidos nestes casos deverão ser nulos (Flores-Colen 2009).
Estado da superfície	O tipo de acabamento, a presença de irregularidades e a existência de anomalias na superfície podem influenciar a técnica, conforme constatado de Flores-Colen (2009) e Duarte (2009). Sobrinho (2008), concluiu que a saturação da superfície e a existência de bolores também são fatores que afetam os resultados do ensaio.
Processo de fixação do tubo ao paramento	O material utilizado para fixar o tubo à amostra deve ser o necessário e suficiente para a realização do ensaio. Se a quantidade de material utilizado for pouca, o tubo pode não apresentar-se convenientemente fixo conduzindo a perdas de água. Por outro lado, se for utilizado em excesso, a área de contato do tubo é reduzida e os resultados afetados (Flores-colen 2009 e Duarte 2009). O material de fixação, assim como silicone, plasticina, massa anti-vibratória, também condiciona o ensaio. Gonçalves (2010) concluiu que os resultados obtidos com a massa anti-vibratória, na maioria das vezes, apresentavam valores de água absorvida superiores aos valores obtidos com o silicone, o que se deve ao fato desse material não ser suficientemente vedante.
Condições climáticas	Flores-Colen (2009) concluiu que a absorção de água é influenciada pelas condições climáticas, tendo obtido valores nulos em situações de chuva no dia anterior. De modo a evitar possíveis erros provocados por este fator, deve-se avaliar o teor de umidade existente no dia do ensaio (Dias e Carasek 2003).
Tipo de tubo	A variação da altura do tubo entre outras características que distinguem os tubos utilizados para a realização do ensaio de Karsten.
Preparação da superfície	Mediante os diversos tipos de acabamento de superfície, considerando o tipo de suporte, a preparação da superfície através da sua limpeza, que inclui uma raspagem com lixa e remoção de poeiras com pincel, pode ou não ser realizada, verificando-se diferenças nos resultados.
Local de ensaio	O ensaio pode ser realizado no corpo ou nas juntas, existindo diversos tipos de juntas, como as horizontais, verticais, em T, em cruz. Scartezi <i>et al.</i> (2002), concluiu nos seus estudos que as juntas de assentamento de alvenaria possuíam características diferentes dos blocos, como a sua estrutura e tamanho dos poros, o que influencia as características de absorção do substrato. Hattge (2004), concluiu que o desempenho dos blocos cerâmicos, no que respeita às juntas, é inferior aos blocos de concreto, e por outro lado, no que diz respeito ao corpo, o seu desempenho é superior aos blocos de concreto.

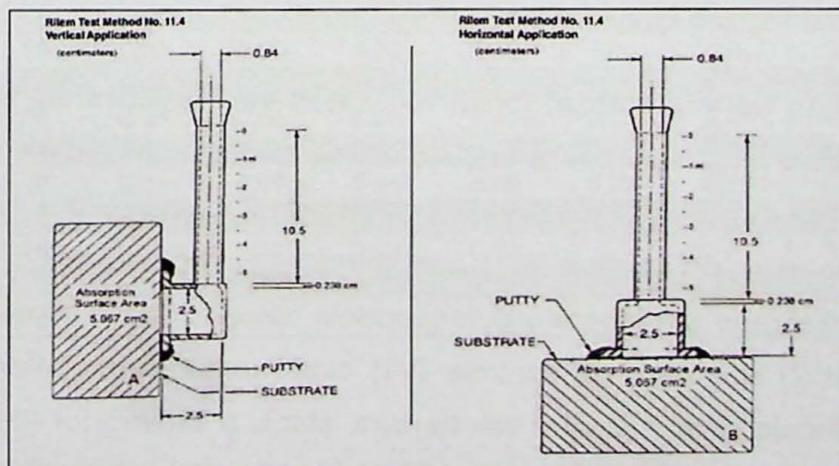


Figura 7-5 (a) Dimensões do Tubo de Karsten para uso em superfícies verticais e (b) para uso em superfícies horizontais (RILEM 2006).

Para a fixação do tubo com a massa de modelar, esta foi moldada formando um cilindro de aproximadamente 3 mm de diâmetro, colando-o na base do tubo e espalhando por suas bordas para fazer a fixação na amostra e a vedação (Figura 7-6).

O Alginato apresenta-se em pó e, para ser utilizado na fixação do tubo, é preciso prepará-lo de modo a obter um material gelatinoso. Seu preparo consiste em adicionar o pó de Alginato e água em um recipiente de borracha e, com o auxílio de uma espátula, obtém-se uma massa homogênea e cremosa, que posteriormente foi envolvida no tubo e fixada na amostra (Figura 7-6). Antes de adicionar água ao tubo é preciso aguardar o tempo de geleificação do material.

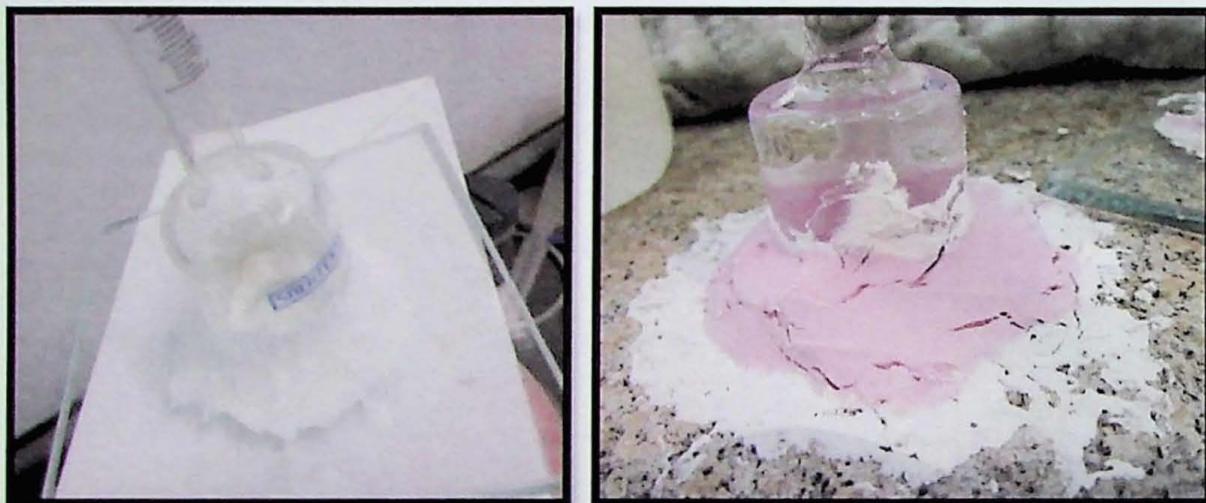


Figura 7-6 – Tubo de Karsten fixado com Massa de Modelar (esq.) e Alginato (dir.).

Para comparar os volumes de absorção de água utilizando a massa de modelar e o alginato, foram realizados testes em laboratório com ambos os materiais, para assegurar que o material não iria tingir o monumento.

Ao longo de três etapas, foram realizados sete ensaios de absorção com Tubo de Karsten (Figura 7-7). Na primeira etapa o ensaio foi realizado em laboratório, onde, os tubos foram fixados no Granito Mauá (GM01), no Granito Itaquera (GI01), no Charnockito Ubatuba (CK01) e no vidro de controle (V1) com massa de modelar atóxica. Na segunda etapa o ensaio foi realizado em laboratório, onde, dois tubos foram fixados no Granito Itaquera, o primeiro (GI02) e o vidro de controle (V1) com massa de modelar, enquanto o segundo (GI03) foi fixado com Alginato. Na terceira etapa o ensaio foi realizado no monumento *Nostalgia*, onde foram fixados com Alginato um vidro de controle (V2), um Tubo de Karsten para uso em superfícies horizontais (GI04) e um tubo para uso em superfícies verticais (GI05).



Figura 7-7 - Testes de absorção de água sob baixa pressão utilizando o Tubo de Karsten.

Após sua fixação, os tubos foram preenchidos com água (com auxílio de pisseta, para evitar bolhas de ar) até o menisco atingir a marcação zero da marca graduada. Foram, então, realizadas medições após 5 min, 10 min, 15 min, 20 min, 25 min, 30 min e 1 h conforme a norma RILEM II.4, entretanto, por ser de material rochoso ao invés de alvenaria, como fora definida pela norma, nos ensaios realizados em laboratório, optou-se por realizar medidas após 2h, 3h, 6h e 24h (Tabela 7-2), de modo a complementar as informações.

Nos mesmos intervalos de tempo foram feitas leituras no vidro de controle, preparado para cada etapa e, quando houve evaporação o valor medido foi descontado do valor da leitura feita nos tubos fixados nas amostras e no monumento.

Tabela 7-2 – Leituras de volume (ml) de água absorvido pela rocha em função do tempo (hs) em ensaio de absorção de água sob baixa pressão – Tubo de Karsten.

LEITURAS DE VOLUME (ml) DE ÁGUA ABSORVIDO SOB BAIXA PRESSÃO									
	GI01	GM01	CK01	GI02	GI03	GI04	GI05	V1	V2
0:05 hs	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0:10 hs	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,00	0,00	0,00
0:15 hs	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,00	0,00	0,00
0:20 hs	0,06	0,01	0,03	0,00	0,00	0,05	0,00	0,00	0,00
0:25 hs	0,06	0,05	0,03	0,05	0,05	0,05	0,00	0,00	0,05
0:30 hs	0,10	0,05	0,05	0,05	0,05	0,07	0,00	0,00	0,05
1:00 hs	0,10	0,05	0,05	0,06	0,05	0,07	0,05	0,00	0,05
2:00 hs	0,15	0,06	0,05	0,10	0,05	-	-	0,00	-
3:00 hs	0,15	0,10	0,10	0,13	0,10	-	-	0,00	-
6:00 hs	0,25	0,15	0,12	0,15	0,10	-	-	0,00	-
24:00 hs	0,75	0,50	0,30	0,20	0,10	-	-	0,00	-

A absorção de água teve início após 10 min em GI01, 20 min em GM01 e CK01, 25 min em GI02 e GI03 e 30 min GI04. Após uma hora do início de cada um dos ensaios,

observou-se que em GI01 haviam sido absorvidos 0,10 ml de água, enquanto nos demais ensaios a absorção foi de, em média, 0,5 ml. Os ensaios GI04 e GI05 realizados no Granito Itaquera, pedestal do monumento *Nostalgia*, e apresentaram valores muito próximos aos obtidos em laboratório nas amostras (em GI02 e GI03). O valor obtido em GI01 é bastante discrepante dos demais, conforme observado na Figura 7-8.

Nos ensaios laboratoriais observou-se que após 24 hs o Granito Itaquera absorveu 0,75 ml, 0,2 ml e 0,1 ml (GI01, GI02 e GI03, respectivamente), o Granito Mauá absorveu 0,50 ml e o Charnockito Ubatuba absorveu 0,30 ml, cujo progresso pode ser observado no gráfico apresentado na Figura 7-8.

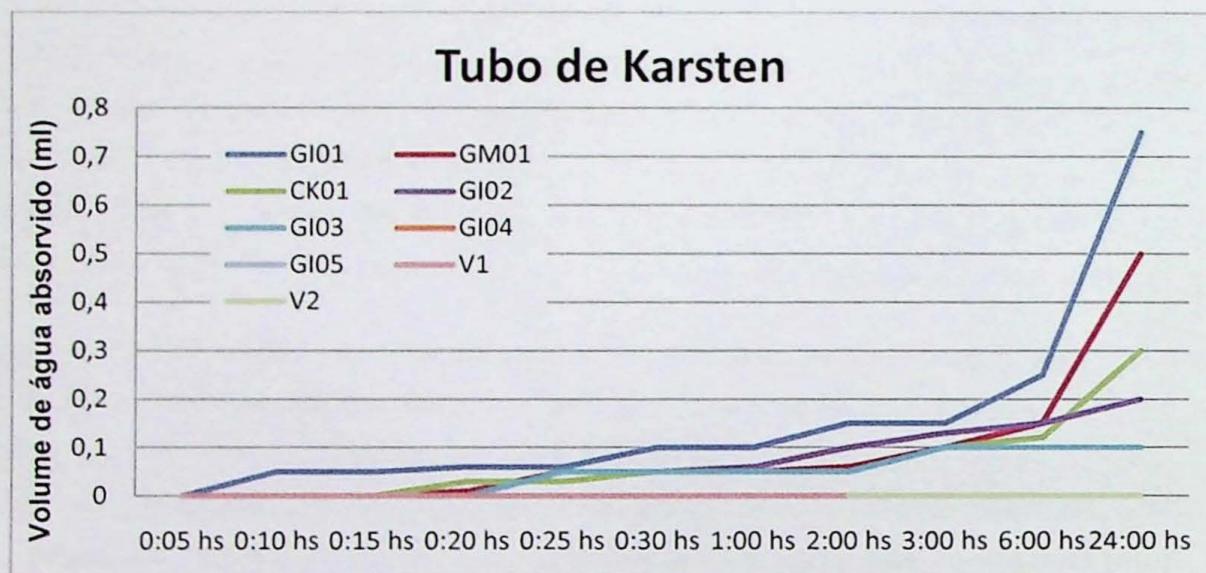


Figura 7-8 - Volume de absorção (ml) de água nos diferentes litotipos estudados em relação ao tempo (hs).

Os ensaios GI04 e GI05 realizados no Granito Itaquera, pedestal do monumento *Nostalgia*, apresentaram valores muito próximos aos obtidos nas amostras em laboratório (em GI02 e GI03).

7.3 Ultrassom

Trata-se de um método desenvolvido para uso na construção civil, que tem por objetivo avaliar o comportamento mecânico do material, a partir de ensaios de determinação da velocidade de propagação de ondas ultrassônicas. Os dados obtidos são analisados de

tal modo que permite avaliar a presença de fraturas e a homogeneidade de um material (Mendonça 2007).

Posteriormente, tornou-se comum o emprego deste método para a avaliação do estado de conservação de edifícios e monumentos históricos.

Segundo Frascá (2002), os valores mais altos obtidos em corpos semelhantes ou no mesmo corpo rochoso (em termos de composição mineralógica), indicam um grau de alteração mais baixo e maior coesão entre seus minerais.

O uso do ultrassom é definido pelas normas brasileiras NBR8802 (ABNT 1994), NBR15630 (ABNT 2008) e pela norma internacional ASTM D 2845-00 (ASTM 2000a).

O aparelho para os ensaios de determinação de velocidade de propagação de ondas ultrassônicas utilizado foi o *V-METER III James Instruments Inc.* Trata-se de um conjunto de equipamento composto por um emissor de onda ultrassônica, que mede o tempo decorrido entre a emissão e a recepção da onda, um conjunto de transdutor e receptor de 54 kHz e um de 150 kHz, cabos coaxiais para fazer as conexões e gel hidrossolúvel utilizado como acoplante (Figura 7-9).

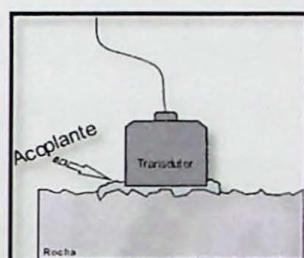


Figura 7-9 - Transdutor acoplado na amostra de rocha.

Antes de iniciar os trabalhos é necessário realizar a calibração do aparelho, colocando acoplante no transdutor e no receptor e unindo-os para que o aparelho, previamente programado, aumente a precisão das leituras. O procedimento é feito para cada troca do conjunto de transdutores.

Os transdutores podem ser posicionados em três arranjos distintos (Figura 7-10):

- Método de transmissão direta: dispostos em faces opostas da amostra;
- Método de transmissão semidireta: dispostos em faces adjacentes da amostra;
- Método de transmissão indireta: dispostos na mesma face da amostra.

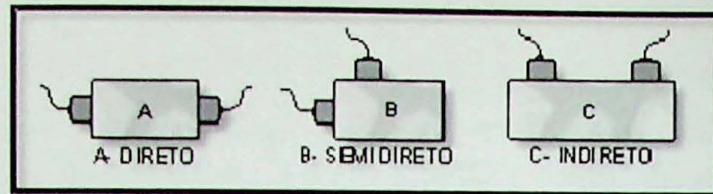


Figura 7-10 - Arranjo dos transdutores para a realização de ultrassom.

Amostras do Granito Mauá, Granito Itaquera e Charnocito Ubatuba foram testadas com o ultrassom em laboratório, no Instituto de Geociências (Figura 7-11).

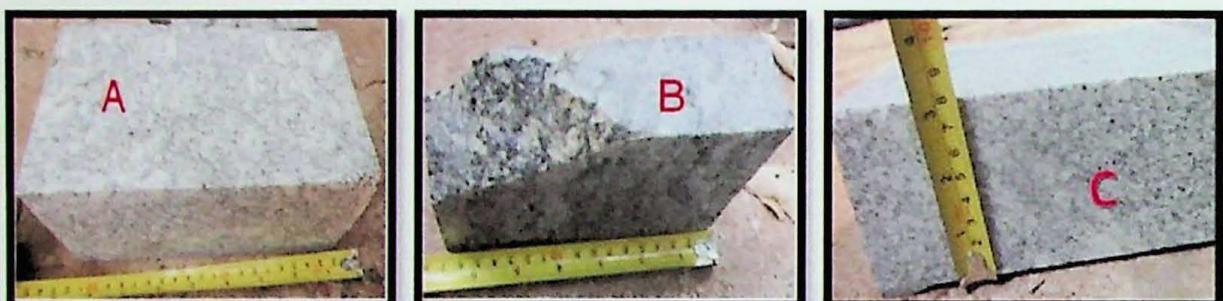


Figura 7-11 – Amostras utilizadas para ensaios de propagação de ondas de ultrassom. A) Granito Mauá; B) Charnockito Ubatuba; e C) Granito Itaquera.

Foram realizados ensaios com o método direto (D), indireto (I) e semidireto (S) com o transdutor de 54 kHz (54) e 150 kHz (150). Cada conjunto de medidas recebeu uma sigla identificando o litotipo, frequência do transdutor e o método utilizado para a sua obtenção, conforme ilustrado na Figura 7-12.

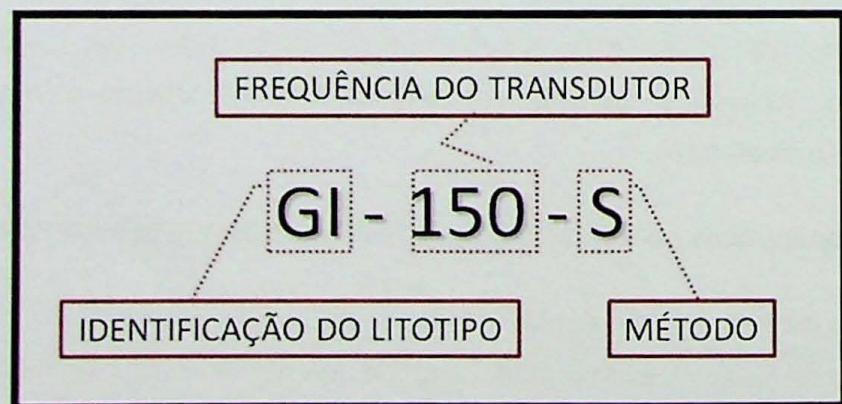


Figura 7-12 – Método para atribuição de sigla nos conjuntos de medidas obtidos.

A partir do tempo de propagação da onda (t, dado em μ s) e a distância entre o transdutor e o receptor (d, dado em cm), é possível calcular a velocidade de propagação das ondas ultrassônicas (fazendo a conversão das unidades), como é dado pela fórmula: v (m/s) = d/t .

Os valores da velocidade de propagação de ondas de ultrassom obtidos para as amostras analisadas em laboratório são apresentados na Tabela 7-3 (o tempo de propagação e a distância entre o transdutor e receptor, em cada ponto medido, podem ser observados no Anexo I).

Tabela 7-3 – Velocidade de propagação de onda de ultrassom em amostras do Granito Mauá (GM), Itaquera (GI) e do Charnockito Ubatuba (CK), com transdutores de 54 e 150 kHz, pelos métodos direto, indireto e semidireto.

ENSAIO	VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO DE ONDA DE ULTRASSOM (m/s)	MÉDIA (m/s)
GM-54-D	4114,8 - 4210,5 - 4341,5 - 4704,5	4342,8
GM-54-S	5174,8 - 5174,8 - 6180,6 - 5343,5 - 5833,3 - 5888,9	5599,3
GM-54-I	5176,5 - 5074,1 - 5306,1	5185,6
GM-150-D	4166,7 - 4350,0 - 4384,2 - 4589,0	4372,5
GM-150-S	4324,3 - 4313,7 - 4333,3 - 4186,0	4274,5
GM-150-I	4229,5 - 4612,8 - 4425,7	4422,7
GI-54-D	4110,4 - 4047,6 - 4166,7 - 4396,4	4180,3
GI-54-S	4652,8 - 4568,5 - 5547,4 - 5156,3 - 4571,4 - 5614	5018,4
GI-54-I	5294,1 - 4736,8 - 4852,9	4961,3
GI-150-D	4000,0 - 4049,1 - 4000,0 - 4411,1	4115,0
GI-150-S	4285,7 - 4559,6 - 4127,7 - 3991,2 - 4034,1 - 3930,3	4154,8
GI-150-I	4368,6 - 4451,8 - 4304,2	4374,88
CK-54-D	4615,4 - 4090,9	4353,1
CK-150-D	4159,3 - 4196,4 - 4423,1 - 4166,7* - 3859,6* - 4413,4 - 3606,5*	4117,9
CK-150-S	4210,5 - 4776,1 - 4244,2 - 4698,8 - 3561,0 - 3928,6 - 4230,8 - 4360,5* - 4714,3 - 3673,5	4239,8
CK-150-I	4545,5 - 4035,1 - 4235,3 - 4587,2 - 4960,0 - 4694,7	4509,6

(*) em vermelho as medidas tiradas na zona da fratura e em verde os valores retirados perpendiculares à fratura.

No Granito Mauá, com o transdutor de 54 kHz, foi observado que os valores de leitura da velocidade de propagação foram significativamente mais baixos para o método direto (entre 4.100 e 4.700 m/s) que para o método semidireto (entre 5.100 e 6.100 m/s) e o indireto (entre 5.100 e 5.300 m/s). Entretanto para o transdutor de 150 kHz, as medidas de velocidade foram bastante homogêneas para os três métodos, variando entre 4.100 e 4.600 m/s, como pode ser observado na Figura 7-13.

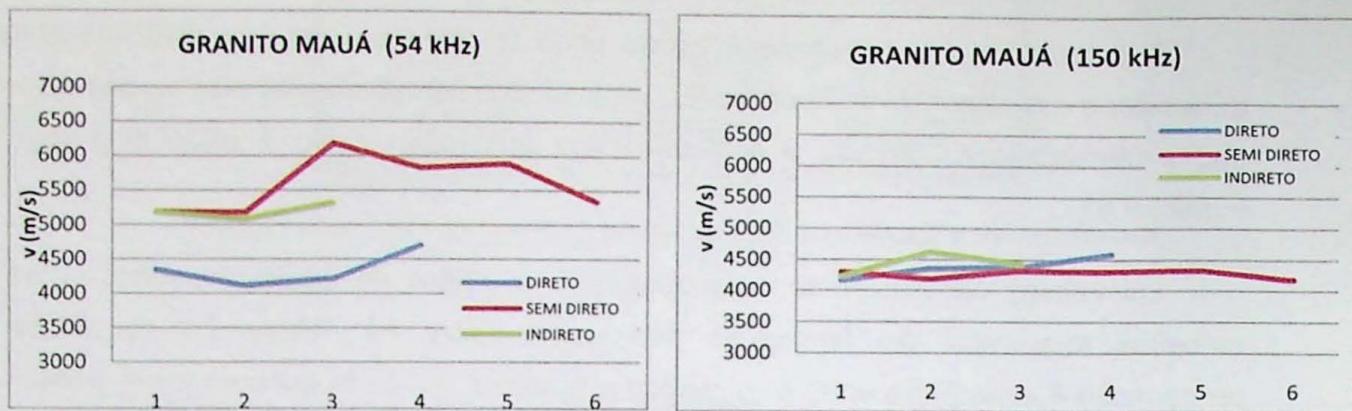


Figura 7-13 - Gráfico das medidas de v (m/s) no Granito Mauá com transdutor de 54 kHz (à esquerda) e 150 kHz (à direita).

O Granito Itaquera apresentou o mesmo comportamento que o Granito Mauá. Para o transdutor de 54 kHz, o resultado obtido foi mais baixo para o método direto (entre 4.000 e 4.400 m/s) a significativamente mais rápido para o método semidireto (entre 4.500 e 5.600 m/s, apesar da maior variação) e para o indireto (entre 4.700 e 5.300 m/s). Para as medidas com o transdutor de 150 kHz as medidas apresentaram-se mais homogêneas para os três métodos variando entre 4.000 e 4.500 kHz, como pode ser observado na Figura 7-14.

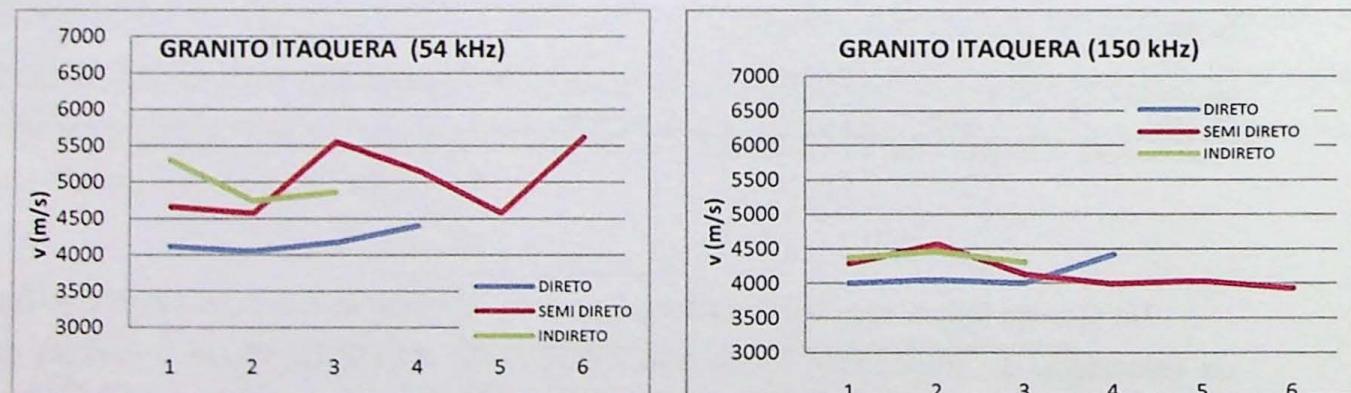


Figura 7-14 - Gráfico das medidas de v (m/s) no Granito Itaquera com transdutor de 54 kHz (à esquerda) e 150 kHz (à direita).

Não se pode afirmar ao certo o que pode interferir nos dados do transdutor de 54 kHz para tornar as leituras tão difusas, entretanto uma hipótese que poderia explicar os resultados é o fato da acoplagem do transdutor de 54 kHz ser mais difícil que do transdutor de 150 kHz, uma vez que ele possui diâmetro duas vezes maior que o de 150 kHz.

No Charnockito Ubatuba, utilizando o transdutor de 54 kHz, foi possível medir a velocidade de propagação em apenas dois pontos pelo método direto, devido ao tamanho da amostra, que por ser pequena não havia espaço suficiente para a acoplagem em outros pontos da amostra, não havendo, portanto dados para uma boa comparação, como pode ser observado na Figura 7-15.

Com o transdutor de 150 kHz se observou que houve grande variação nos valores da velocidade (entre 3.600 e 4.900 m/s) nos três métodos aplicados, o que provavelmente é resultante do fraturamento da rocha (Tabela 7-3).

Quando o ultrassom foi aplicado perpendicularmente à fratura, com o método direto, houve uma redução significativa da velocidade, 3.600 m/s, o mesmo ocorreu para as medidas retiradas próximas a esta (entre 3.800 e 4.100 m/s), contrastando com as medidas retiradas longe da fratura (entre 4.200 e 4.700 m/s).

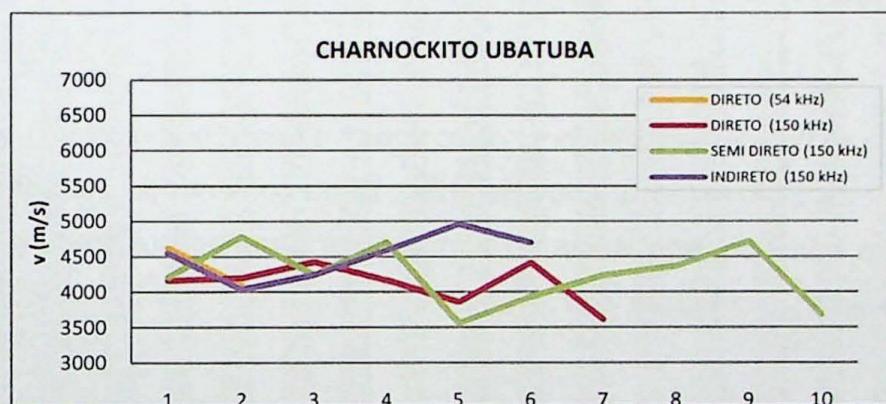


Figura 7-15- Gráfico das medidas de v (m/s) no Charnockito Ubatuba com transdutor de 54 kHz e 150 kHz.

Em campo foram realizados testes nas amostras de Granito Mauá (GM), Granito Itaquera (GI) e Charnockito Ubatuba (CK), presentes nos monumentos: *Nostalgia* (NT), *Monumento em Homenagem ao Club Atlético Paulistano* (base da esfera armilar, APB, e nas pilastras do banco monumental, AP1 e AP2), *Biblioteca Municipal Mário de Andrade* (bloco rústico, BL, e polido, BLP), *Luiz Vaz de Camões* (CM), *Mário de Andrade* (MA) e *José Bonifácio de Andrade e Silva* (JB), conforme ilustrado na Figura 7-16.



Figura 7-16 - Monumentos em que foram realizados ensaios de ultrassom.

Foram realizados ensaios com os métodos direto (D), indireto (I) e semidireto (S) com o transdutor de 54 kHz (54) e 150 kHz (150). Cada conjunto de medidas recebeu uma sigla identificando o litotipo, frequência do transdutor e o método utilizado para a sua obtenção, conforme ilustrado na Figura 7-17.

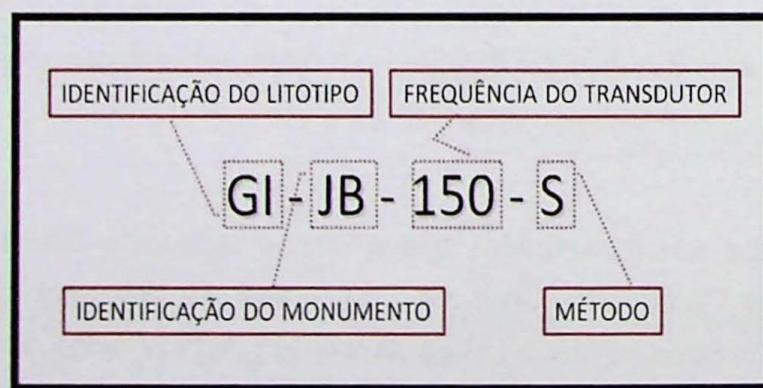


Figura 7-17 - Método para atribuição de sigla nos conjuntos de medidas obtidos nos monumentos.

As velocidades de propagação de ondas ultrassônicas obtidas podem ser visualizadas na Tabela 7-4.

Tabela 7-4 - velocidades de propagação de ondas ultrassônicas em monumentos.

MONUMENTO	v (m/s)					MÉDIA
GI-NT-54-D	3519,7	3935,2	3938,2	3991,9	4038,0	4060,6
GI-NT-54-S	3932,4	3973,5	4022,2	4056,7	4077,4	4154,3
GI-NT-150-D	3624,7	3693,0	3699,1	3728,1	4066,2	4090,6
GI-NT-150-S	1830,9	1874,2	1994,1	3403,9	3634,9	3813,0
GI-APB-54-D	4114,9	4134,4	4176,7	4222,4	4159,6	4162,3
GI-APB-54-S	2764,6	4106,7	4136,2	4174,8	4009,5	4240,8
GI-APB-150-S	4099,2	4115,4	4249,9	6311,9	4119,5	4136,2
GI-AP1-54-D	2500,0					3367,9
GI-AP1-54-S	3401,4	3627,6				4162,1
GI-AP1-150-D	2572,9					4305,1
GI-AP1-150-S	3537,7	3759,4				4694,1
GI-AP2-54-D	2744,7					4694,1
GI-AP2-54-S	3681,0	3731,3				2500,0
GI-AP2-150-D	2876,3					3514,5
GI-AP2-150-S	2742,2	3188,1				2572,9
GM-CM-54-D	3423,6	3244,8				3648,6
GM-CM-54-S	4391,9	4620,5	4672,9	4753,5		3706,2
GM-CM-150-D	5102,0	5140,2				2876,3
GM-CM-150-S	4220,8	4530,2	4615,4	4682,3		2965,2
GM-BL-54-D	5347,6	5405,4	5423,0			2744,7
GM-BL-54-S	4702,2	4778,2	4785,3	4786,6	4801,2	4795,7
GM-BL-150-D	5364,8	5470,5	5452,6			5121,1
GM-BL-150-S	4046,4	4635,8	4858,9	4906,3	4934,2	4512,2
GM-BLP-54-D	5646,0	5664,5				4512,2
GM-BLP-54-S	5501,6	5864,7				4512,2
GM-BLP-150-D	5649,1	5667,6				4512,2
GM-BLP-150-S	5431,3	5435,5				4512,2
GM-MA-54-D	4603,0	4607,7	4846,9	4885,1		4512,2
GM-MA-150-D	4441,8	4460,1	4515,3	4662,0		4512,2
CK-JB-54-D	5902,6	5925,9	7151,4	7177,0	7181,3	4512,2
CK-JB-54-S	5690,1	6134,5	6355,1	6456,6		4512,2
CK-JB-150-D	5902,6	5925,9	7134,4	7151,4	7177,0	4512,2
CK-JB-150-S	5678,7	5818,9	6134,5	6229,1		4512,2

No monumento *Nostalgia* (NT) foram realizados métodos direto e semidireto com os transdutores de 150 e 54 kHz no Granito Itaquera. Utilizando o método direto, os valores obtidos foram muito próximos, variando entre aproximadamente 3500 a 4050 m/s, entretanto para o método semidireto com o transdutor de 150 kHz os valores apresentaram grande dispersão variando entre 1830 e 4140 m/s.

No Monumento em Homenagem ao Club Athlético Paulistano (Granito Itaquera), os valores de velocidade obtidos no pedestal do Armilar (APB) foram relativamente mais altos comparativamente aos obtidos nas pilastras do banco monumental (AP1 e AP2), variando em torno de 4100 m/s no pedestal e entre 2500 e 3700 m/s nas pilastras.

A Figura 7-18 mostra os valores de velocidade obtidos para estes dois monumentos.

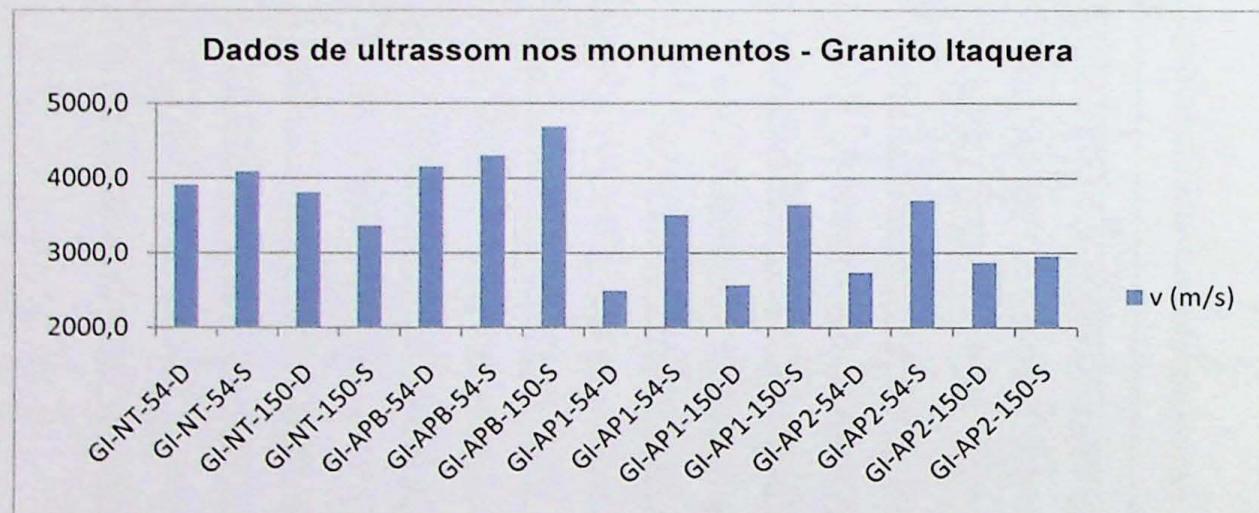


Figura 7-18 – Gráfico com os valores obtidos em monumentos confeccionados em Granito Itaquera.

Os dados obtidos no bloco polido (BLP) do Granito Mauá, presente na Biblioteca Municipal Mário de Andrade, apresentou velocidade entre aproximadamente 5400 e 5600 m/s e, os valores obtidos apresentaram pouca dispersão em ambos os transdutores (54 kHz e 150 kHz) e métodos (direto e semidireto) utilizados (Figura 7-19). Comparativamente com o bloco rústico (BL) os valores de velocidade foram maiores.

No bloco rústico (BL) as velocidades obtidas variam, em média, de aproximadamente 4700 a 5400 m/s, tendo seus menores valores obtidos pelo método direto.

No pedestal do Camões (CM) os valores obtidos oscilaram entre aproximadamente 3300 m/s no método direto e em torno de aproximadamente 4500 m/s e 5100 m/s com os transdutores de 150 kHz.

Na base do pedestal do monumento a Mário de Andrade, também confeccionado em Granito Mauá, os valores obtidos variam em torno de 4800 m/s (Figura 7-19).

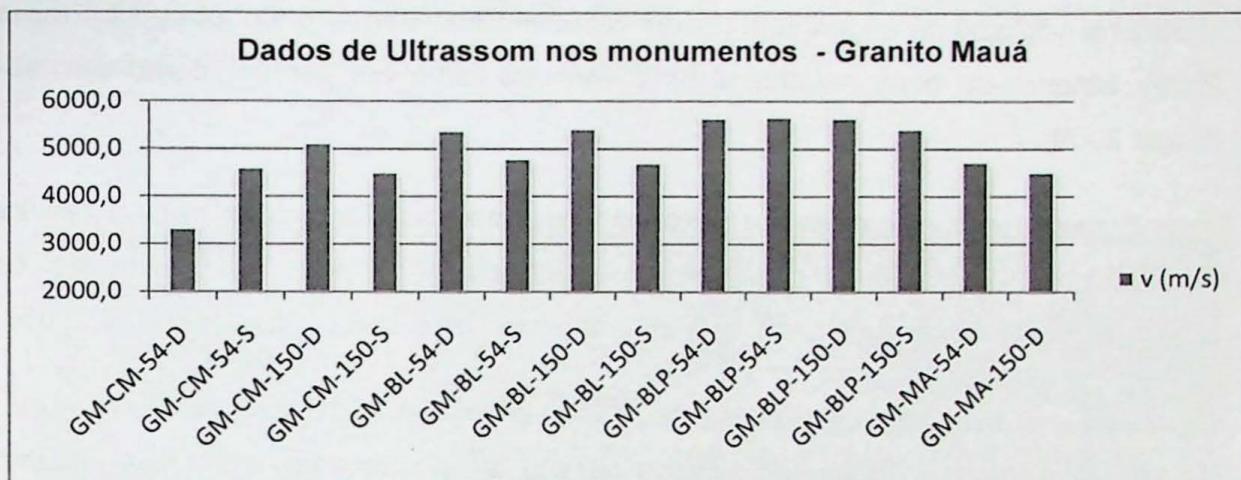


Figura 7-19 - Gráfico com os valores obtidos em monumentos confeccionados em Granito Mauá.

No Charnockito Ubatuba, constituinte do pedestal do monumento José Bonifácio (JB), os valores obtidos apresentaram baixa dispersão, com velocidades entre 5900 e 6600 m/s (Figura 7-20).

Em 4 dos 18 pontos onde foram feitas as leituras, os valores apresentaram-se relativamente mais baixos, justamente os pontos com maior distância entre os transdutores.

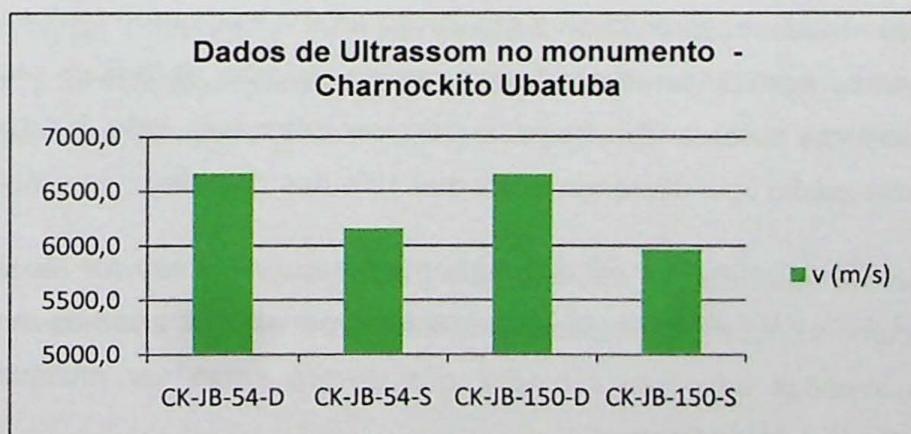


Figura 7-20 - Gráfico com os valores obtidos no monumento José Bonifácio.

7.4 Esclerômetro de Reflexão

O Martelo de Schmidt, também conhecido como Esclerômetro de Reflexão, foi originalmente desenvolvido em 1948 pelo Engenheiro suíço Ernest Schmidt, para medir a dureza superficial do concreto (Schmidt 1951).

Trata-se de um equipamento portátil e de fácil manuseio, cujos ensaios são realizados de forma rápida e não destrutiva. A partir de 1960, o método passou a ser empregado em rochas na geologia de engenharia (Deere & Miller 1966; Barton & Choubey 1977 *apud* Yagiz 2009), obtendo-se bons resultados para seu uso tanto em campo, como em laboratório (Yagiz 2009).

Quando se torna inviável a obtenção de amostras adequadas para a realização de ensaios, conforme exigência da Sociedade Internacional de Mecânica de Rochas, como é o caso dos monumentos históricos, o método torna-se bastante adequado (Silva 2005).

Assim como outros métodos não destrutivos, o esclerômetro de reflexão (ou Martelo de Schmidt) teve sua aplicação voltada para o campo da engenharia civil. Atualmente é bastante empregado na geologia de engenharia, como observado em trabalhos como Pilotto & Barroso (2006), Basu *et al.* (2008), Soares (2010), dentre outros autores.

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), através da normatização NBR 7584 define os métodos para a avaliação da dureza superficial em concreto. O valor obtido na medição com o esclerômetro representa o valor numérico do seu recuo. Uma vez que o martelo consiste basicamente de um conjunto de pistão e mola, temos que, do ponto de vista energético, quanto maior a dureza da rocha ensaiada maior será o valor de leitura do recuo da mola, dado que menor será a energia que se transformará em deformação permanente (ABNT 1995).

Nesta norma, recomenda-se a realização de 9 medidas em malhas regulares de 3 x 3 ou 16 medidas em malhas de 4 x 4, para que se obtenha os índices esclerométricos (IC) e suas respectivas médias. Em seguida deve-se desprezar todo IC que, individualmente, possua valor médio com diferença maior que 10% dos demais.

A norma internacional definida pela *International Society for Rock Mechanics* (ISRM 1978), recomenda que sejam feitas ao menos vinte leituras, onde deverão ser descartadas 50% das medidas inferiores a média, que deverá então ser multiplicada pelo fator de correção do martelo de Schmidt.

A *American Society for Testing and Materials*, através da norma 5873 – 00 (ASTM 2000b), recomenda o cálculo da média de 10 IC, descartando os valores distantes mais que

7 unidades da média, deve-se então realizar novo cálculo da média e multiplicar o valor obtido pelo fator de correção, obtendo assim o IC.

Os ensaios foram realizados em quatro amostras sendo uma do Granito Itaquera (GI01), uma do Charnockito Ubatuba (CK01) e duas do Granito Mauá (GM01 e GM02). Em GI01 e GM01 foi realizado ensaio em superfície horizontal (GI01a, e GM01a) e em superfície vertical (GI01b, e GM01b); em CK01 os ensaios foram realizados em superfície lisa (CK01a) e em superfície fraturada (CK01b); e em GM02 foi realizado apenas ensaio em superfície horizontal (GM02a) devido ao tamanho da amostra.

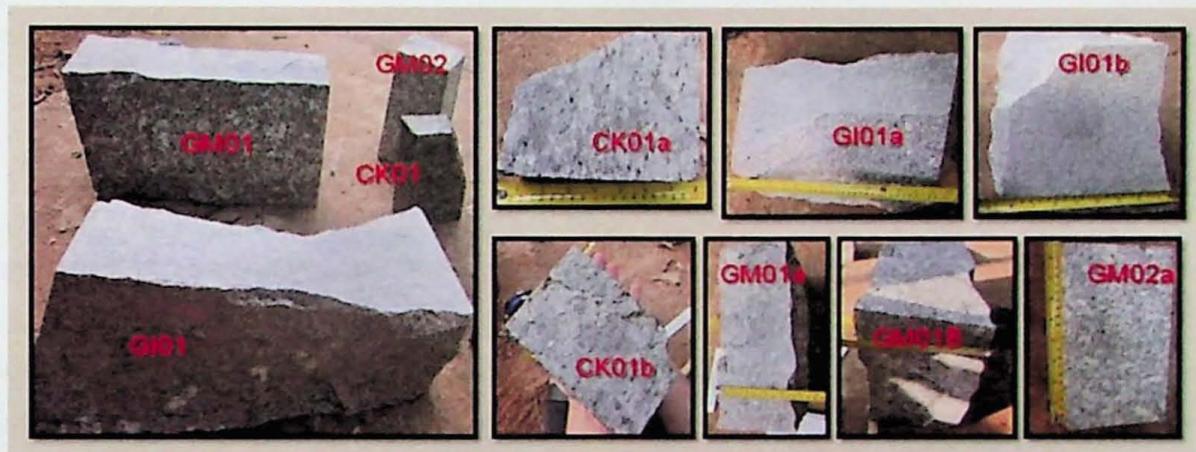


Figura 7-21 – Amostras onde foram realizados testes de resistência superficial com Martelo de Schmidt.

Foram feitas leituras do índice esclerométrico nas amostras (Figura 7-21) distintas, e foram feitas as médias dos valores excluindo-se a maior e a menor leitura para cada teste, conforme apresentado na Tabela 7-5.

As amostras GM01a,b e GI01a,b apresentaram índices esclerométricos bastante semelhantes, com valores médios entre 45 e 48. A amostra GM02 apresentou valores mais baixos (média 40) o que pode ser atribuído ao tamanho reduzido da amostra, o que reflete no valor obtido pelo martelo.

O valor de IC médio da amostra CK01a foi de 35 e quando medido o outro lado da amostra, onde continha fratura, o que se observou foi que este valor foi reduzido, com IC médio de 31.

Tabela 7-5 – Valores obtidos em ensaios de dureza superficial (IC e Resistência – MPa).

	CK01a	CK01b	GI01a	GI01b	GM01a	GM01b	GM02a
Resistência MPa	31	25	38	41,3	45	42	38
MÉDIA	35	31	48	45	46	46	40
VALORES DESPREZADOS	46	41	51	47	50	50	44
	28	22	43	37	40	38	35
	41	35	51	46	49	48	44
	41	35	50	45	48	48	42
	38	34	50	45	48	47	42
	36	33	50	44	48	47	42
VALORES CONSIDERADOS PARA O CÁLCULO DA MÉDIA (IC)	34	31	49	44	48	46	41
	30	28	49	44	48	45	40
	30	26	49	44	47	44	40
	30	24	49	44	47	42	40
			48	43	47		40
			48	43	47		40
			47	42	46		39
			47	41	46		39
			47	41	45		39
			46	41	44		38
			46	40	44		38
			46	40	42		38
			46	40	42		37

Posteriormente, os valores das médias obtidas foram correlacionados com a Figura 7-22 (fornecida pelo fabricante do equipamento), com o objetivo de obter um valor comparativo da resistência à compressão uniaxial (dada em Mega Pascal - MPa).

Em CK01, observou-se que na face fraturada (CK01b), o valor de resistência foi inferior (~25 MPa) e, comparando com as demais amostras o CK01 possui de modo geral menor valor de resistência à compressão uniaxial.

As amostras GI01 e GM01 indicam valores próximos (aprox. 41 MPa), enquanto que em GM02 o valor obtido foi inferior, o que foi atribuído ao fato de a amostra possuir dimensões menores, fazendo com que ela se mova durante o golpe com o martelo.

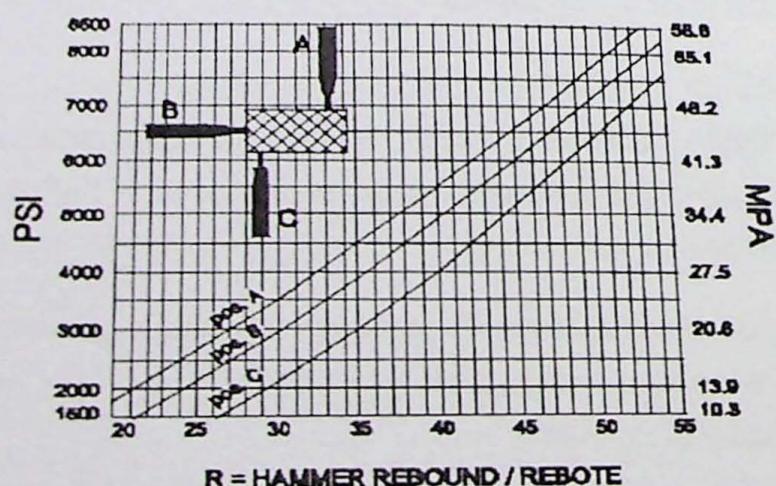


Figura 7-22 – Curvas de correlação entre resistência à compressão uniaxial e índice de esclerometria (I.C.).

8 DISCUSSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir de análise petrográfica observa-se que o Granito Mauá (*Granito Cinza Mauá*) e o Granito Itaquera apresentam recristalização e grau de alteração moderado a alto. Ambos apresentam bandamento por fluxo magmático marcado pela orientação de máficos e de fenocristais de microclínio.

No Granito Mauá é comum a ocorrência de enclaves máficos. No Granito Itaquera ocorrem bolsões preenchidos principalmente por muscovita, e também por biotita.

O Charnockito Ubatuba (*Granito Verde Ubatuba*) possui fenocristais de microclínio esverdeados e, apesar de sua coloração verde escura trata-se de uma rocha predominantemente félscica.

Para a realização de ensaios de absorção de água sob baixa pressão com o Tubo de Karsten, são utilizados para a sua fixação materiais como massa antivibratória ou massa de vidraceiro, durepox e silicone. Estes materiais possuem produtos que podem causar tingimento nos monumentos. Neste trabalho, testou-se massa de modelar atóxica e alginato para a fixação do tubo, entretanto a massa de modelar provocou manchas nas amostras testadas, e foi descartado o seu uso em monumentos. O alginato mostrou-se bastante eficiente para a fixação do tubo, uma vez que apresentou ótima vedação, baixa absorção de água e nenhum tingimento. Foi aplicado com sucesso no monumento *Nostalgia*.

Granitos e Charnockitos, em geral, são rochas tipicamente pouco permeáveis e pouco porosas, portanto absorvem pouca água. Para os testes de absorção de água adotou-se um período de tempo maior do que os exigidos na norma, quando realizados em laboratório.

O Granito Itaquera apresentou volumes absorvidos que variam entre 0,10 e 0,75 ml de água após 24 hs, variando de acordo com a posição do tubo na amostra. No monumento *Nostalgia*, após uma hora, foi absorvido aproximadamente 0,05 ml de água.

O Granito Mauá e o Charnockito Ubatuba absorveram após 24 hs 0,50 e 0,30 ml, respectivamente.

O Tubo de Karsten se mostrou um procedimento adequado para análise de absorção de água em monumentos pétreos, tanto para análises de amostra de rocha em laboratório como no próprio monumento.

O ultrassom revelou-se adequado para a análise de monumentos pétreos, dado que claramente houve redução da velocidade de propagação da onda em frentes fraturadas.

Nos monumentos com blocos de rochas polidas o método mostrou-se muito eficiente, sendo que a diferença de velocidade da propagação de ondas obtida foi extremamente baixa, obtendo-se assim resultados mais confiáveis. Em blocos rochosos sem polimento, observou-se que pode haver influência no valor da leitura devido à dificuldade em acoplar os transdutores no litotipo

Em laboratório, o Granito Mauá e o Itaquera apresentaram velocidades de propagação de onda ultrassônica muito semelhantes (em média de 4500 a 5000 m/s), enquanto o Charnocito Ubatuba apresentou velocidade menor (em média 4100 m/s).

Em monumentos, o que se observou foi que a acoplagem dos transdutores é mais eficiente em monumentos polidos e portanto os resultados foram melhores.

No *Monumento em Homenagem ao Club Athético Paulistano* os valores obtidos na pilastra do armilar foi ligeiramente superior aos obtidos nas pilastras do banco monumental (4100 m/s e 2500 a 3700 m/s respectivamente). Este resultado sugere uma maior alteração nas pilastras do banco monumental, o que pode ser resultado de ação antrópica, por exemplo, a presença frequente de urina.

O monumento *Nostalgia* apresentou velocidades médias de 4000 m/s, *Mário de Andrade* 4800 m/s, *José Bonifácio* 6000 m/s e na biblioteca 4800 m/s.

Retifica-se assim que as maiores velocidades obtidas foram em blocos polidos, como é o caso do *José Bonifácio* e uma das análises da biblioteca. E o maior valor obtido foi no Charnockito Ubatuba.

Os índices esclerométricos (IC) obtidos no Granito Itaquera foram em média de 40, o mesmo ocorreu para as amostras do Granito Mauá. O Charnockito Ubatuba apresentou IC inferior: 31 e, 25 quando fraturado. O tamanho da amostra e o fato de apresentar fraturamento justificam os valores inferiores encontrados para esta rocha.

Para a realização de Martelo de Schmidt em monumentos recomenda-se que estes estejam em condições ideais, ou seja, pouco alterados, com superfícies bem lisas, preferencialmente polidos, para não danificar o monumento. Como estas condições não foram encontradas nos monumentos objeto deste estudo, optou-se pela não realização deste tipo de ensaio.

O que se observa é que quando fresco, os Granitos Mauá e Itaquera possuem comportamento semelhante, quanto à velocidade de propagação de ondas ultrassônicas, dureza superficial e taxa de absorção de água sob baixa pressão, entretanto os resultados

obtidos para o Charnokoito Ubatuba são tratados com ressalvas, uma vez que a amostra de laboratório é pequena e não permite uma correlação de modo eficiente com o monumento.

Os métodos não destrutivos utilizados neste estudo são adequados ao estudo do patrimônio pétreo e deveriam ser mais aplicados na caracterização de monumentos e edifícios históricos.

9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. 1994. NBR 8802/94 - Concreto endurecido - Determinação da velocidade de propagação de onda sônica. Rio de Janeiro, 8p.
- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. 1995. NBR 7584/95 - Concreto endurecido - Avaliação da dureza superficial pelo esclerômetro de reflexão. Rio de Janeiro, 9p.
- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. 2008. NBR 15630/08 - Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação do módulo de elasticidade dinâmico através da propagação de onda ultra-sônica. Rio de Janeiro, 4p.
- Almeida F.F.M. de, Hasui Y., Brito Neves B.B. de, Fuck R.A. 1977. As províncias estruturais brasileiras. *In: Simp. Geol. NE*, 8, Campina Grande, 1977. *Atas...*, Campina Grande, SBG. 363-391.
- Almeida F.F.M. de, Hasui Y., Poncano W.L., Dantas A.S.L., Carneiro C.D.R., Melo M.S. de, & Bistrichi C.A. 1981. Mapa Geológico do Estado de São Paulo, escala 1:500.000 - Nota Explicativa. Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, 126p.
- Alves A. 2009. Petrogênese de Plútôns Graníticos do Leste Paulista: Geocronologia, Geoquímica Elemental e Isotrópica. Tese de Doutoramento, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo (USP), 194p.
- Apps C.A.C.P. 2011. *Karsten* da medição da permeabilidade à água líquida em revestimentos de ladrilhos cerâmicos e argamassas. Dissertação de Mestrado, Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa.
- ASTM - American Society for Testing and Materials. 2000a. D2845/00: Standard Test Method for Laboratory Determination of Pulse Velocities and Ultrasonic Elastic Constants of Rock (PA, EUA). 7p.
- ASTM - America Society for Testing And Materials. 2000b. D 5873-00: Standard Test Method for Determination of Rock Hardness by Rebound Hammer Method. West Conshohocken (PA, EUA). 4 p.
- Augusto W.C.B. & Del Lama E.A. 2011. Roteiro Geoturístico no centro da cidade de São Paulo. *Terra e Didática*, 7(1): 29-40.

Azevedo Sobrinho J.M.A., Janas V.A., Simonett A., Heaman L.M., Santoro J. & Diniz H.N. 2011. The Ilha Anchieta Quartz Monzonite: the southernmost expression of ca. 500 Ma post-collisional magmatism in the Ribeira Belt. *Anais Academia Brasileira de Ciências*, **83**(3) 891-906.

Ballester M.A.B. 2008. Casos prácticos de lapetrología aplicada a la conservación de materiales pétreos Del patrimonio. In: Jornadas Técnicas Durabilidad y conservación de materiales tradicionales naturales Del patrimônio arquitectónico 3, Actas, Cáceres,, p. 83-04.

Basu A., Celestino T.B., Bortolucci A.A. 2008. Evaluation of rock mechanical behaviors under uniaxial compression with reference to assessed weathering grades. Departamento de Geotecnia, EESC, Universidade de São Paulo - São Carlos. In: *Rock Mechanic sand Rock Engeneering*. 2009. **42**: 73 - 93.

Cordani U.G., Delhal J. & Ledent D. 1973. Orogeneses superposeés dans le précambrien du Brésil sud-oriental (états du Rio de Janeiro et de Minas Gerais). *Revista Brasileira de Geociências*, **3**(1): 1-22.

CPRM - Serviço Geológico do Brasil. 2006. Mapa Geológico do Estado de São Paulo. Programa Geologia do Brasil: Breve Descrição das unidades Litoestratigráficas Aflorantes no Estado de São Paulo. Escala 1:750.000.

Del Lama E.A. 2008. Instituto de Geociências da USP e herança cultural: estreitando os laços. *Revista CPC*, **7**: 173-182.

Del Lama E.A., Szabó G.A.J., Dehira L.K. & Kihara Y. 2008. Impacto do Intemperismo no Arenito de Revestimento do Teatro Municipal de São Paulo, *Geol. USP Sér. Cient.*, **8**(1): 75-86.

Del Lama E.A., Dehira L.K. & Reys A.C. 2009. Visão geológica dos monumentos da cidade de São Paulo. *Revista Brasileira de Geociências*, **39** (3): 409-420.

Dias Neto C.M., Correia C.T., Munhá J.M.U. & Colombo C.G.T. 2008. Litoquímica dos granitóides da estrutura em flor de São Sebastião, São Paulo. *Geologia USP, Sér. Cient.* **8**(2): 101-114.

DPH - Departamento do Patrimônio Histórico. 2012. Inventário de Obras de Arte em Logradouros Públicos da Cidade de São Paulo, disponível no site: http://www.Prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/cultura/patrimonio_historico/. Acessado em 03 de Março de 2012.

- Filipov M. & Janasi V.A. 2001. The Mauá Granitic Massif, Central Ribeira Belt, São Paulo: Petrography Geochemistry and U-Pb Dating, São Paulo, *Revista Brasileira de Geociências*, **31**(3):341-348.
- Frascá M.H.B.O. 2002. Caracterização tecnológica de rochas ornamentais e de revestimento: estudo por meio de ensaios e análises e das patologias associadas ao uso. *In: III Simpósio sobre Rochas Ornamentais do Nordeste, Anais, Recife, PE.*
- Frascá M.H.B.O. 2003. Estudos experimentais de alteração acelerada em rochas graníticas para revestimento. Tese de Doutoramento. *Instituto de Geociências - Universidade de São Paulo, IGc-USP, São Paulo, 264p.*
- Hackspacher P.C., Godoy A.M. & Oliveira M.A.F. 1993. Evolução Crustal do Bloco São Roque, na Região Sudeste do Estado de São Paulo. *Revista Brasileira de Geociências*. **23**(3):260-264.
- Hasui Y. 1973. Tectônica da área das Folhas de São Roque e Pilar do Sul, São Paulo. *Tese de Livre Docência, Instituto de Geociências, USP, 190p.*
- Heilbron M., Pedrosa-Soares A.C., Silva L.C., Campos Neto M.C. & Trow R.A.J. 2004. Província Mantiqueira. *In: V. Mantessoto-Neto, A. Bartorelli, C.D.R. Carneiro, B.B. Brito Neves. Geologia do Continente Sul-Americano: Evolução da Obra de Fernando Flávio Marques de Almeida. São Paulo, 647p.* **13**: 203-235.
- ISRM – International Society for Rock Mechanics. 1978. Sugested method for determination of the Schmidt rebound hardness. *In: Brown E.T. (ed.) Rock characterization – Test and monitoring. ISRM Suggested methods. Londres, Pergamon Press, 1981, p.101-102.*
- Janasi V.A., Alves A., Vlach S.R.F. & Leite R.J. 2003. Granitos Peraluminosos da Porção Central da Faixa Ribeira, Estado de São Paulo: Sucessivos Eventos de Reciclagem da Crosta Continental no Neoproterozóico. *Revista Geologia USP, Sér. Cient.,3:13-24.*
- Juliani C. & Beljavskis P. 1995. Revisão da Litoestratigrafia da Faixa São Roque/ Serra do Itaberaba (SP). *Revista do Instituto de Geociência, São Paulo, 16*(1/2): 33-58.
- Mendonça B. 2007. Estudo do Desempenho das Argamassas Hidráulicas – influência do ligante. Dissertação para Obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Civil, Lisboa, Instituto Superior Técnico, 94 p.

Oliveira B.P. 2008. Caracterização de Filmes Negros em Pedras Graníticas: O caso de estudo da Igreja da Venerável Ordem Terceira de São Francisco, Lisboa. Universidade Nova de Lisboa, Faculdade de Ciências e Tecnologia - Departamento de Conservação e Restauro, 53p.

Pilotto D. & Barroso E.V. 2006. Avaliação da Degradação de Rochas de Cantaria Usando o Esclerômetro de Schmidt. In: IV Simpósio Brasileiro de Mecânica das Rochas/ COBRAMSEG, 4: 2497-2502.

Reys A.C., Del Lama E.A. & Dehira L.K. 2007. Monumentos da cidade de São Paulo: formas de alteração e conservação. *Revista Centro de Preservação Cultural*, São Paulo, 5:93-122.

RILEM – Reunion Internationale des Laboratoires D'essais et de Recherches sur les Matériaux et les Constructions. 2006. RILEM II.4: Water Absorption Tube Test, 4p.

Schmidt E. 1951. A non-destructive concrete tester. *Concrete*, 59(8):34–35.

Silva L.C.T. 2005. Avaliação da Degradação de Rochas em Fachadas de Prédios Históricos: Os Exemplos do Teatro Municipal e do Paço Imperial, Cidade do Rio de Janeiro. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), 94 p.

Silva V.S. 2007. Alteração de Rochas e a Conservação do Patrimônio Arquitetônico: Estudo de Caso do Pórtico da Igreja do Outeiro da Glória - RJ. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), 165p.

Soares A.A. 2010. Formas de Alteração e Avaliação da Degradação dos Granitos da Cantaria da Igreja de Santa Rita, Paraty-RJ. Trabalho de Conclusão de Curso. Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), 63p.

Stern A.G., Riccomini C., Fambrini G.L. & Chamani M.A.C. 2006. Roteiro Geológico Pelos Edifícios e Monumentos Históricos do Centro da cidade de São Paulo, *Revista Brasileira de Geociências*, 36(4): 704-711.

Tassinari C.C.G. & Campos Neto M. 1988. Precambrian continental crust evolution of Southeastern São Paulo State, Brazil: Based on isotopic evidences. *Geochimica Brasiliensis*, 2(2):175-183.

UNESCO - United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. 1972. Convenção para a Proteção do Patrimônio Mundial, Cultural e Natural; Conferência Geral da Organização das Nações Unidas para Educação, a Ciência e a Cultura, Paris, 17 de outubro a 21 de novembro de 1972. 20 p.

Vargas T., Motoki A. & Neves J.L.P. 2001. Rochas ornamentais do Brasil, seu modo de ocorrência geológica, variedade tipológica, exploração comercial e utilidades como materiais nobres de construção, *Revista de Geociências, Instituto de Geociências - UFF*, 2(2):119-132.

Yagiz S. 2009. Predicting uniaxial compressive strength, modulus of elasticity and index properties of rocks using the Schmidt hammer. *Eng Geol Environ* 68:55-63.

**ANEXO I - ULTRASSOM:
TABELA DE MEDIDAS.**

AMOSTRA: GRANITO MAUÁ (54 kHz)

DIRETO (54 kHz)			
	t (μs)	d (cm)	v (m/s)
1	20,50	8,90	4341,46
2	20,90	8,60	4114,83
3	20,90	8,80	4210,53
4	42,30	19,90	4704,49

SEMIDIRETO (54 kHz)			
	t (μs)	d (cm)	v (m/s)
1	14,30	7,40	5174,83
2	14,30	7,40	5174,83
3	14,40	8,90	6180,56
4	12,00	7,00	5833,33
5	9,00	5,30	5888,89
6	13,10	7,00	5343,51

INDIRETO (54 kHz)			
	t (μs)	d (cm)	v (m/s)
1	25,50	13,20	5176,47
2	27,00	13,70	5074,07
3	24,50	13,00	5306,12

AMOSTRA: GRANITO MAUÁ (150 kHz)

DIRETO (150 kHz)			
	t (μs)	d (cm)	v (m/s)
1	20,40	8,50	4166,67
2	20,00	8,70	4350,00
3	20,30	8,90	4384,24
4	43,80	20,10	4589,04

SEMIDIRETO (150 kHz)			
	t (μs)	d (cm)	v (m/s)
1	15,80	6,80	4303,80
2	17,20	7,20	4186,05
3	14,80	6,40	4324,32
4	15,30	6,60	4313,73
5	18,00	7,80	4333,33
6	12,90	5,40	4186,05

INDIRETO (150 kHz)			
	t (μs)	d (cm)	v (m/s)
1	30,50	12,90	4229,51
2	29,70	13,70	4612,79
3	29,60	13,10	4425,68

AMOSTRA: GRANITO ITAQUERA (54 kHz)

DIRETO (54 kHz)			
	t (μs)	d (cm)	v (m/s)
1	16,30	6,70	4110,43
2	16,80	6,80	4047,62
3	18,00	7,50	4166,67
4	43,90	19,30	4396,36

SEMIDIRETO (54 kHz)			
	t (μs)	d (cm)	v (m/s)
1	14,40	6,70	4652,78
2	19,70	9,00	4568,53
3	13,70	7,60	5547,45
4	12,80	6,60	5156,25
5	17,50	8,00	4571,43
6	11,40	6,40	5614,04

INDIRETO (54 kHz)			
	t (μs)	d (cm)	v (m/s)
1	25,50	13,50	5294,12
2	26,60	12,60	4736,84
3	27,20	13,20	4852,94

AMOSTRA: GRANITO ITAQUERA (150 kHz)

DIRETO (150 kHz)			
	t (μs)	d (cm)	v (m/s)
1	18,00	7,20	4000,00
2	16,30	6,60	4049,08
3	16,00	6,40	4000,00
4	43,30	19,10	4411,09

SEMIDIRETO (150 kHz)			
	t (μs)	d (cm)	v (m/s)
1	25,20	10,80	4285,71
2	19,30	8,80	4559,59
3	23,50	9,70	4127,66
4	22,80	9,10	3991,23
5	17,60	7,10	4034,09
6	20,10	7,90	3930,35

INDIRETO (150 kHz)			
	t (μs)	d (cm)	v (m/s)
1	29,30	12,80	4368,60
2	30,10	13,40	4451,83
3	30,90	13,30	4304,21

AMOSTRA: CHARNOCKITO UBATUBA (54 kHz)

DIRETO (54 kHz)			
	t (μs)	d (cm)	v (m/s)
1	10,4	4,8	4615,38
2	11	4,5	4090,91

AMOSTRA: CHARNOCKITO UBATUBA (150 kHz)

DIRETO (150 kHz)			
	t (μs)	d (cm)	v (m/s)
1	11,30	4,70	4159,29
2	11,20	4,70	4196,43
3	10,40	4,60	4423,08
4	10,80	4,50	4166,67
5	11,40	4,40	3859,65
6	35,80	15,80	4413,41
7	30,50	11,00	3606,56

SEMIDIRETO (150 kHz)			
	t (μs)	d (cm)	v (m/s)
1	7,60	3,20	4210,53
2	6,70	3,20	4776,12
3	17,20	7,30	4244,19
4	8,30	3,90	4698,80
5	20,50	7,30	3560,98
6	8,40	3,30	3928,57
7	7,80	3,30	4230,77
8	17,20	7,50	4360,47
9	7,00	3,30	4714,29
1	19,60	7,20	3673,47
0			

INDIRETO (150 kHz)			
	t (μs)	d (cm)	v (m/s)
1	24,20	11,00	4545,45
2	11,40	4,60	4035,09
3	25,50	10,80	4235,29
4	21,80	10,00	4587,16
5	12,50	6,20	4960,00
6	26,20	12,30	4694,66

NOTA: em vermelho as medidas tiradas na zona da fratura e em verde os valores retirados perpendiculares à fratura.

BASE DO NOSTALGIA: GRANITO ITAQUERA (54 kHz)

DIRETO		
t (μs)	d (cm)	v (m/s)
1 48,30	17,00	3519,7
2 129,60	51,00	3935,2
3 126,30	51,00	4038,0
4 129,50	51,00	3938,2
5 145,30	59,00	4060,6
6 147,80	59,00	3991,9

SEMI DIRETO		
t (μs)	d (cm)	v (m/s)
7 45,3	18,0	3973,5
8 79,0	32,9	4164,6
9 124,7	51,9	4162,0
10 44,5	18,1	4067,4
11 78,1	33,1	4238,2
12 126,1	51,5	4084,1
13 45,0	18,1	4022,2
14 82,7	33,7	4075,0
15 127,5	51,7	4054,9
16 47,3	18,6	3932,3
17 81,4	33,8	4152,3
18 125,6	52,2	4156,1

BASE DO NOSTALGIA: GRANITO ITAQUERA (150 kHz)

DIRETO		
t (μs)	d (cm)	v (m/s)
1 56,90	17,00	2987,7
2 138,10	51,00	3693,0
3 125,40	51,00	4067,0
4 136,80	51,00	3728,1
5 159,50	59,00	3699,1
6 145,10	59,00	4066,2

SEMI DIRETO		
t (μs)	d (cm)	v (m/s)
7 46,30	18,00	3887,7
8 79,50	32,90	4138,4
9 142,70	51,90	3637,0
10 46,10	18,10	3926,2
11 80,40	33,10	4116,9
12 258,50	51,50	1992,3
13 48,00	18,10	3770,8
14 84,10	33,70	4007,1
15 282,50	51,70	1830,1
16 48,60	18,60	3827,2
17 99,30	33,80	3403,8
18 278,40	52,20	1875,0

HOMENAGEM AO CLUB ATHLÉTICO PAULISTANO: GRANITO ITAQUERA

BASE DO ARMILAR

DIRETO 54kHz		
t (μs)	d (cm)	v (m/s)
1 164,6	69,5	4222,4
2 168,9	69,5	4114,9
3 166,4	69,5	4176,7
4 168,1	69,5	4134,4

SEMIDIRETO 54 kHz		
t (μs)	d (cm)	v (m/s)
5 81,3	33,94	4174,8
6 122,1	51,44	4213,1
7 79,5	32,88	4136,2
8 124,7	51,21	4106,7

SEMIDIRETO 150 kHz			
	t (μs)	d (cm)	v (m/s)
9	82,8	33,94	4099,2
10	79,9	32,88	4115,4
11	81,5	51,44	6311,9
12	78,2	33,23	4249,9

PILAстра 1

DIRETO 54 kHz		
	t (μs)	d (cm)
1	120	30
		2500,0

SEMIDIRETO 150 kHz		
	t (μs)	d (cm)
2	88,2	30
3	82,7	30
		3401,4
		3627,6

GI-AP1-150-D		
	t (μs)	d (cm)
4	116,6	30
		2572,9

GI-AP1-150-S		
	t (μs)	d (cm)
5	84,8	30
6	79,8	30
		3537,7
		3759,4

PILAстра 2

GI-AP2-54-D		
	t (μs)	d (cm)
1	109,3	30
		2744,7

GI-AP2-54-S		
	t (μs)	d (cm)
2	81,5	30
3	80,4	30
		3681,0
		3731,3

GI-AP2-150-D		
	t (μs)	d (cm)
4	104,3	30
		2876,3

GI-AP2-150-S		
	t (μs)	d (cm)
5	109,4	30
6	94,1	30
		2742,2
		3188,1

BASE DO CAMÕES: GRANITO MAUÁ (54 kHz)

DIRETO		
	t (μs)	d (cm)
1	321,3	110
2	339	110
		3423,6
		3244,8

SEMI DIRETO		
	t (μs)	d (cm)
3	29,6	13
4	28,4	13,5
5	32,1	15
6	30,3	14
		4391,9
		4753,5
		4672,9
		4620,5

BASE DO CAMÕES: GRANITO MAUÁ (150 kHz)

DIRETO		
	t (μs)	d (cm)
1	215,6	110
2	214	110
		5102,0
		5140,2

SEMI DIRETO		
	t (μs)	d (cm)
3	30,8	13
4	29,8	13,5
5	32,5	15
6	29,9	14
		4220,8
		4530,2
		4615,4
		4682,3

FACHADA DA BIBLIOTECA MÁRIO DE ANDRADE: GRANITO MAUÁ (54 kHz)

DIRETO - S/ POLIMENTO			
	t (μs)	d (cm)	v (m/s)
1	93,5	50	5347,6
2	92,2	50	5423,0
3	92,5	50	5405,4

SEMI DIRETO - S/ POLIMENTO			
	t (μs)	d (cm)	v (m/s)
4	32,7	15,7	4801,2
5	31,5	15,5	4920,6
6	32,8	15,7	4786,6
7	31,9	15	4702,2
8	32,6	15,6	4785,3
9	29,3	14	4778,2

DIRETO - C/ POLIMENTO			
	t (μs)	d (cm)	v (m/s)
1	183,6	104	5664,5
2	184,2	104	5646,0

SEMI DIRETO - C/ POLIMENTO			
	t (μs)	d (cm)	v (m/s)
3	26,6	15,6	5864,7
4	30,9	17	5501,6

FACHADA DA BIBLIOTECA MÁRIO DE ANDRADE: GRANITO MAUÁ (150 kHz)

DIRETO - S/ POLIMENTO			
	t (μs)	d (cm)	v (m/s)
1	93,2	50	5364,8
2	91,7	50	5452,6
3	91,4	50	5470,5

SEMI DIRETO - S/ POLIMENTO			
	t (μs)	d (cm)	v (m/s)
4	38,8	15,7	4046,4
5	31,9	15,5	4858,9
6	32	15,7	4906,3
7	30,4	15	4934,2
8	31,6	15,6	4936,7
9	30,2	14	4635,8

DIRETO - C/ POLIMENTO			
	t (μs)	d (cm)	v (m/s)
1	183,5	104	5667,6
2	184,1	104	5649,1

SEMI DIRETO - C/ POLIMENTO			
	t (μs)	d (cm)	v (m/s)
3	28,7	15,6	5435,5
4	31,3	17	5431,3

MÁRIO DE ANDRADE: GRANITO MAUÁ

DIRETO - 54 kHz			
	t (μs)	d (cm)	v (m/s)
1	69,6	34	4885,1
2	58,8	28,5	4846,9
3	86,9	40	4603,0
4	80,3	37	4607,7

DIRETO - 150 kHz			
	t (μs)	d (cm)	v (m/s)
5	63,9	28,5	4460,1
6	75,3	34	4515,3
7	85,8	40	4662,0
8	83,3	37	4441,8

JOSÉ BONIFÁCIO: CHARNOCKITO UBATUBA (54 kHz)

DIRETO			
	t (μs)	d (cm)	v (m/s)
1	203,3	120	5902,6
2	202,5	120	5925,9
3	167,2	120	7177,0
4	167,1	120	7181,3
5	167,8	120	7151,4

SEMIDIRETO			
	t (μs)	d (cm)	v (m/s)
6	46,1	28,28	6134,5
7	44,5	28,28	6355,1
8	49,7	28,28	5690,1
9	43,8	28,28	6456,6

JOSÉ BONIFÁCIO: CHARNOCKITO UBATUBA (150 kHz)

DIRETO			
	t (μs)	d (cm)	v (m/s)
1	203,3	120	5902,6
2	202,5	120	5925,9
3	167,2	120	7177,0
4	167,8	120	7151,4
5	168,2	120	7134,4

SEMIDIRETO			
	t (μs)	d (cm)	v (m/s)
6	48,6	28,28	5818,9
7	45,4	28,28	6229,1
8	49,8	28,28	5678,7
9	46,1	28,28	6134,5

ANEXO II

**MONUMENTOS NO CENTRO HISTÓRICO
PAULISTANO**

MONUMENTOS NO CENTRO HISTÓRICO PAULISTANO

Caminhando pelo centro histórico de São Paulo nos deparamos com diversos monumentos pétreos e fachadas com revestimento rochoso. Segundo Departamento do Patrimônio Histórico (DPH) a cidade de São Paulo possui mais de 400 monumentos e obras de arte em logradouros públicos.

Em trabalhos como Stern *et al.* (2006), Reys *et al.* (2007) e Augusto & Del Lama (2011) são identificados alguns destes monumentos e, neste trabalho foram identificados alguns monumentos e fachadas que compõem o patrimônio rochoso do centro de São Paulo, confeccionados com Granito Mauá, Granito Itaquera e Charnockito Ubatuba, conforme descritos a seguir. Alguns monumentos listados a seguir não se encontram no centro histórico paulistano, entretanto cabe aqui destacá-los devido a sua grande importância histórica.

Granito Itaquera

O Granito Itaquera pode ser encontrado em acabamentos e no alicerce de diversos prédios no centro de São Paulo.

Na Rua Pátio do Colégio, 148, o prédio da Secretaria da Justiça tem alicerce em Granito Itaquera. Na parte externa observa-se que a escadaria e alguns acabamentos são feitos no mesmo granito. Devido ao excesso de uréia, limpeza e produtos químicos observa-se que o revestimento possui manchas e escamação (Foto 1).



Foto 1 - Secretaria da Justiça. a) Escadaria em Granito Itaquera. b) Parte da fundação do prédio com escamação. c) Acabamentos com escamação.

O museu da Casa da Imagem, conhecida como Casa nº 1, pertencente à Secretaria Municipal de Cultura de São Paulo, localiza-se na Rua Roberto Simonsen nº 136-b (Foto 2). Foi inteiramente restaurado, entretanto é possível observar que o granito que compõe seu alicerce apresenta escamação. Ainda na mesma rua no nº 136-a, encontra-se o Solar da Marquesa dos Santos, exemplo de residência urbana do século XVIII que assim como a construção ao lado (Casa nº 1) possui seu alicerce em Itaquera (Foto 3).

Na Rua Álvares Penteado, na edificação ao lado do CCBB (Centro Cultural Banco do Brasil), o granito compõe o alicerce e detalhes no revestimento externo, onde é possível observar diversos bolsões com biotita (Foto 4). Ainda na mesma rua no Ed. Dr Júlio de Queiroz, nº 160, onde atualmente possui instalações da UNIESP, o granito é reconhecido nas pilastras e no revestimento que compõe toda a fachada do edifício (Foto 5).

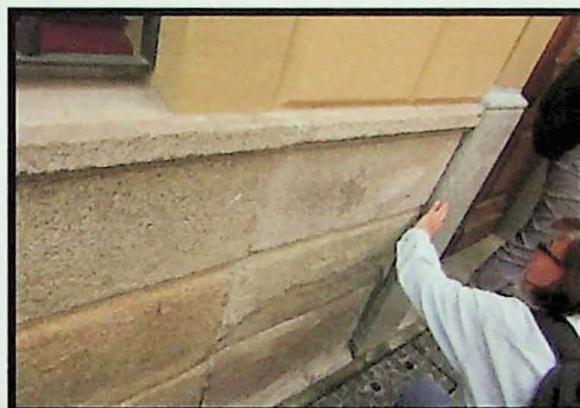


Foto 2 - Escamação do Granito Itaquera na base da Casa da Imagem de São Paulo.



Foto 3 - Base do Solar da Marquesa dos Santos.



Foto 4 – Granito Itaquera na Rua Álvares Penteado. À direita detalhe de bolsão de biotita.

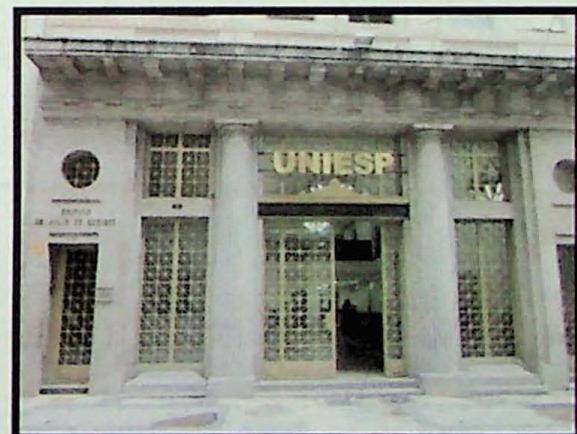


Foto 5 - Edifício Júlio de Queiroz. Fachada em Granito Itaquera.

O Granito Itaquera é usado como revestimento em diversas edificações no Largo do Café (Foto 6), no Prédio da Bovespa (Foto 7) e Sptrans na Rua 15 de Novembro (Foto 8).

No prédio da SpTrans, algumas pilastras mostram uma forte alteração na parte frontal, tornando difícil perceber as linhas originais, algumas partes foram restauradas com uma resina (Foto 9).

No nº 330 da Rua 15 de novembro (Foto 10) e na Igreja de São Bento (Foto 11) reconhece-se o granito nas pilastras e acabamento de toda a fachada.



Foto 6 - Largo do Café.



Foto 7 - Base da Bovespa em Granito Itaquera.



Foto 8 - Pilares em Granito Itaquera, Prédio SP Trans, Rua Quinze de novembro.



Foto 9 - Pilares em Granito Itaquera, Prédio SP Trans, Rua Quinze de novembro.



Foto 10 - Revestimento com Granito Itaquera, Prédio na Rua 15 de Novembro.



Foto 11 – Revestimento externo na Igreja de São Bento.

Prédios importantes de São Paulo como o Teatro Municipal (Foto 12), Shopping Light (Foto 13), Mosteiro São Francisco, Faculdade de Direito São Francisco (Foto 14) e Edifício Guinie (primeiro arranha-céu da capital) também possuem alicerces, pisos, escadarias e/ou acabamentos neste granito.



Foto 12 – Vista lateral do teatro municipal. Alicerce em Granito Itaquera.



Foto 13 - Shopping Light.

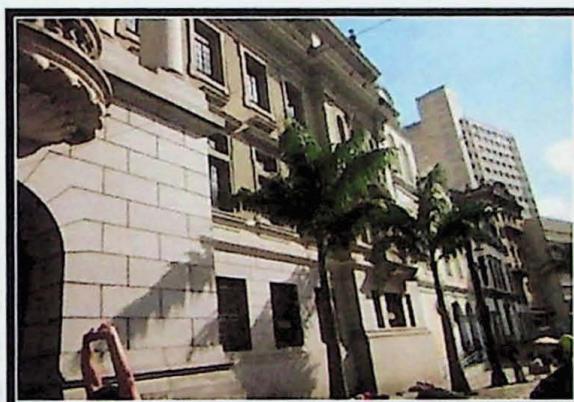


Foto 14 – Fachada da Faculdade de Direito São Francisco.



O Obelisco da Memória (Foto 15) é o monumento mais antigo da capital paulista, foi projetado por Daniel Pedro Muller e construído por Vicente Gomes Pereira em 1814. O monumento é construído em cantaria de Granito Itaquera, entretanto, durante o remodelamento do Largo da Memória no começo do Século XX, foram fixadas diversas placas de Granito Mauá no piso e escadaria. O monumento constitui-se do Obelisco da Memória e de um Chafariz, que fora utilizado no passado para o abastecimento de água na região.

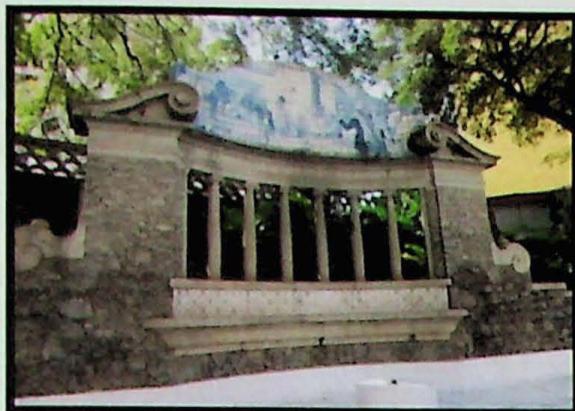


Foto 15 – Obelisco da Memória à esquerda; ao centro chafariz construído com Granito Itaquera; à direita placa de Granito Mauá afixada durante a reforma do monumento.

Apesar de não pertencerem ao centro histórico *Nostalgia* e *Aretuza* foram confeccionadas pelo escultor Francisco Leopoldo e Silva, nos anos de 1920. As obras foram esculpidas em mármore e possuem base maciça de Granito Itaquera. A escultura *Nostalgia* (Foto 16) está hoje localizada na Praça Prof. Cardim e, a *Aretuza* (Foto 17) localiza-se no Parque Trianon.

Localizado na Praça Dionísio de Carvalho, o *Monumento em Homenagem ao Club Athletico Paulistano*, data de 1925 (Foto 18). O monumento foi projetado por José Wasth Rodrigues e executado por Roque de Mingo. Consiste em dois elementos básicos: em um *banco monumental* (em alvenaria, Granito Itaquera e bronze) que fica ao fundo da praça e a frente encontra-se uma coluna maciça de Granito Itaquera que sustenta uma esfera armilar de bronze.

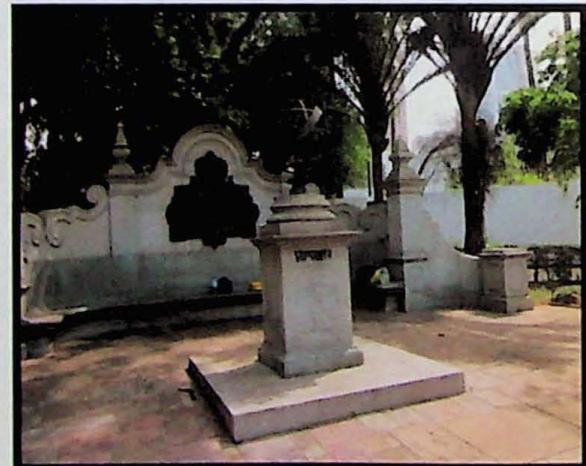
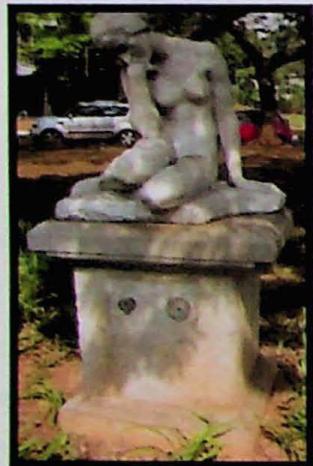


Foto 16 – *Nostalgia*.

Foto 17 – *Aretuza*.

Foto 18 – *Monumento em homenagem ao Club Athlético Paulistano*.

Na Catedral da Sé há diversos detalhes entalhados no Granito Itaquera na parte externa da catedral (Foto 19).



Foto 19 – Catedral da Sé.

Segundo Augusto & Del Lama (2011), possuem pedestal em Granito Itaquera, além dos aqui citados, os monumentos:

- O Índio e o Caçador, de João Batista Ferri. O monumento foi construído em 1940 e atualmente encontra-se na Av. Vieira de Carvalho (próximo à Praça da República).
- A Menina e o Bezerro, de Luiz Christophe. Construído em torno de 1910, o monumento localiza-se no Largo do Arouche desde a sua construção.
- Depois do Banho, de Victor Brecheret. Construído na década de 40, localiza-se no Largo do Arouche.

Outros exemplos são o portal do Cemitério da Consolação, Estádio do Pacaembu e o Monumento a Ramos de Azevedo, localizado na Cidade Universitária.

Granito Mauá

Localizado na Rua Boa Vista, o Pátio do Colégio é representado como marco do nascimento da cidade de São Paulo. O piso na frente e na parte interna do Pátio é todo revertido com placas de Granito Mauá (Foto 20).



Foto 20 - Pátio do Colégio. a) Piso com Granito Mauá, onde pode identificar orientação por fluxo magnético. b) Frente do Pátio. c) Parte interna do Pátio

Na Bolsa de Mercadorias e Futuros encontramos diversas placas de Granito Mauá, utilizados em substituição a placas do Granito Itaquera que fora danificado com o passar do tempo (Foto 21).

Caminhando pelo centro de São Paulo é comum encontrar o Granito Mauá nos calçamentos, colocados nas ruas, ou em placas de revestimento, como as usadas nas estações de metro, como por exemplo, na estação São Bento (Foto 22).



Foto 21 - Bolsa de Mercadorias e Futuros, Granito Itaquera e porções com o Cinza Mauá.

Foto 22 - Placas de revestimento na estação São Bento.

A Praça Dom José Gaspar abriga a Biblioteca Municipal Mário de Andrade onde encontra-se o monumento em homenagem ao poeta português Luiz Vaz de Camões - criado por José Cuccé, e doada a São Paulo em 1942 (Foto 23) e, o monumento a *Mário de Andrade*, Criada pelo escultor Bruno Giorgi e implantada em 1946 (Foto 24). Ambos possuem pedestal em Granito Mauá.

A Biblioteca Municipal Mário de Andrade (Foto 25) foi projetada pelo arquiteto francês Jacques Pilon, e possui em sua área externa, incluindo toda a fachada, base e escadarias, blocos maçicos e placas de Granito Cinza Mauá.



Foto 23 – Camões:
confeccionado em bronze
com base em blocos maciços
de Granito Mauá.



Foto 24 - Mário de Andrade:
Confeccionado em Bronze
com base em Granito Mauá.

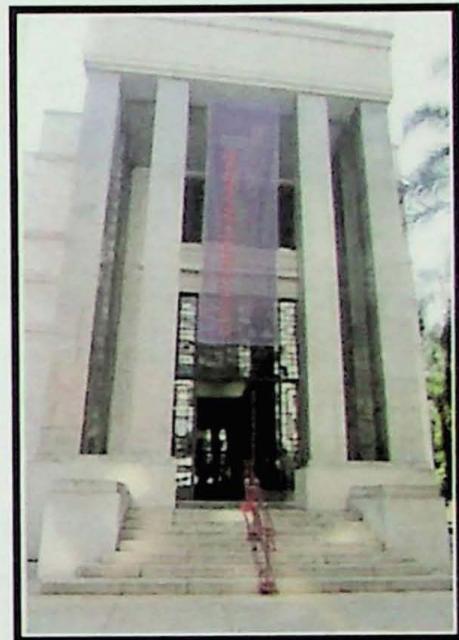


Foto 25 - Biblioteca Municipal Mário
de Andrade: toda a fachada é
confeccionada em Granito Mauá.

Outros exemplos de monumentos construídos com o Granito Cinza Mauá são: Monumento às Bandeiras, Duque de Caxias e Fauno, todos de autoria de Victor Brecheret.

Charnockito Ubatuba

Raramente o Charnockito Ubatuba, ou Granito Verde Ubatuba, como é chamado, é visualizado em blocos maciços. Seu principal uso é para revestimento em fachadas de prédios, em geral, comerciais. Por exemplo, é encontrado na fachada do Edifício Central do Banco do Brasil (Foto 26), na Rua São Bento.



Foto 26 - Central do Banco do Brasil.



Foto 27 – José Bonifácio.

Criado pelo escultor Alfredo Ceschiati, o monumento a *José Bonifácio de Andrada e Silva, Patriarca da Independência* (Foto 27) foi inaugurado no ano de 1972.

O monumento é uma homenagem aos 150 anos da Independência do Brasil (parte das comemorações do sesquicentenário). Localiza-se na Praça do Patriarca, ao lado da Igreja de Santo Antônio, na região central de São Paulo.

A peça é confeccionada em bronze com pedestal maciço em Charnockito Ubatuba.

