

ESTUDO DO EFEITO DA ENERGIA DE DESGASTE NA PREVISÃO DA
DURABILIDADE DE GNAISSES ORNAMENTAIS DE PÁDUA-RJ

JOSÉ LUIZ ERNANDES DIAS FILHO

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE FLUMINENSE DARCY RIBEIRO – UENF
CAMPOS DOS GOYTACAZES – RJ
MARÇO 2012

ESTUDO DO EFEITO DA ENERGIA DE DESGASTE NA PREVISÃO DA
DURABILIDADE DE GNAISSES ORNAMENTAIS DE PÁDUA-RJ

JOSÉ LUIZ ERNANDES DIAS FILHO

Dissertação apresentada ao Centro de
Ciência e Tecnologia da Universidade
Estadual do Norte Fluminense Darcy
Ribeiro, como parte das exigências para a
obtenção de título de Mestre em
Engenharia Civil.

Orientador: Gustavo de Castro Xavier
Co-orientador: Paulo Cesar de Almeida Maia

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE FLUMINENSE DARCY RIBEIRO – UENF
CAMPOS DOS GOYTACAZES – RJ
MARÇO 2012

À minha Família.

AGRADECIMENTOS

A CAPES pelo apoio financeiro.

À Serraria Olho do Pombo pelo fornecimento das amostras, particularmente ao empresário Antônio Camacho Brum.

Aos Laboratórios de Engenharia Civil, Materiais Avançados e ao Centro Vocacional Tecnológico de Campos dos Goytacazes, pela disponibilidade dos laboratórios e pessoal técnico, possibilitando o desenvolvimento desta dissertação.

Aos professores Paulo Maia e Gustavo Xavier pela atenção, paciência e dedicação como orientadores e amigos.

Aos técnicos e bolsistas de laboratório do LECIV, LAMAV e CVT que contribuíram na execução do projeto e dos ensaios, em especial aos técnicos Milton, Vanúzia, Luciana e Renan.

A todos colegas da UENF, em especial a Priscila Alves Marques Fernandes e Sergio Rafael Cortez pela valiosa e indispensável amizade. Sem deixar de esquecer as constantes presenças de Caroline Pessoa e Weverton Beiral.

A todos os funcionários do LECIV.

Aos meus pais e meu irmão pelo apoio dado em todas as fases deste trabalho.

A Deus que sempre esteve ao meu lado, guiando o meu caminho e me fortalecendo para transpor todos os imprevistos e momentos difíceis.

ESTUDO DO EFEITO DA ENERGIA DE DESGASTE NA PREVISÃO DA
DURABILIDADE DE GNAISSES ORNAMENTAIS DE PÁDUA-RJ

JOSÉ LUIZ ERNANDES DIAS FILHO

Projeto de Dissertação apresentado ao Centro de Ciência e Tecnologia da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, como parte das exigências para a obtenção de título de Mestre em Engenharia Civil.

Aprovado em 22 de março de 2012.

Comissão Examinadora:

Prof°. Sergio Augusto Barreto da Fontoura (DSc, Geotecnia) – PUC/RJ

Profª. Maria da Glória Alves (DSc, Geologia) – UENF

Prof°. Paulo Cesar de Almeida Maia (DSc, Geotecnia) – UENF (Co-orientador)

Prof°. Gustavo de Castro Xavier (DSc, Geotecnia) – UENF (Orientador)

RESUMO

Este trabalho apresenta uma avaliação do comportamento de um gnaisse ornamental proveniente de pedreira da Região Norte Fluminense, submetida a processo de degradação acelerada em equipamento de degradação. Foi analisado o comportamento do material rochoso através do ensaio de resistência a desgaste, utilizando-se corpos de prova prismáticos. Observou-se um significativo aumento no desgaste dos materiais estudados, alterados aceleradamente no laboratório, quando comparada ao intacto. No estudo a variação da energia de desgaste é feita através da variação da velocidade de rotação de um equipamento slake durability, adaptado para a pesquisa. Os resultados indicam que o aumento da velocidade de rotação da câmara de desgaste provoca um aumento não linear do desgaste. Esse comportamento confirma que a velocidade de alteração da rocha é maior em ambientes com maior energia de degradação e que o nível de alteração não obedece a uma função linear com a energia de degradação do meio. Este trabalho traz uma análise crítica sobre o assunto e assim, espera-se melhor entender a relação entre a energia de desgaste e a durabilidade nos materiais estudados.

Palavras-Chave: Rochas Ornamentais, Degradação, Equipamento de Degradação, Desgaste, Resistência mecânica.

ABSTRACT

This research shows an evaluation of the behavior of ornamental gneiss from the North Fluminense quarry, subject to degradation increase in the degradation machine. It was analyzed the behavior of rock material by testing of wear resistance, using prismatic specimens. There was a significant increase in wear of the materials studied, changed rapidly in the laboratory, when compared to intact. In the study the variation of energy of wear is made by varying the speeds of a device slake durability adapted to the search. The results indicate that increasing the speed of wear of the chamber causes a non-linear increase of wear. This behavior confirms that the rock weathering rate is higher in with higher energy of degradation and the weathering level doesn't follow a linear function with the energy of degradation of the environment. This research presents a critical analysis on the subject and thus expected to better understand the relationship between the energy of wear and durability in the materials studied.

Keywords: Ornamental Rocks, Degradation, Degradation Machine, Wear, Mechanical Strength.

ÍNDICE

LISTA DE FIGURAS.....	x
LISTA DE TABELAS.....	xi
LISTA DE SÍMBOLOS.....	xii
1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1 Considerações Iniciais.....	1
1.2 Objetivo da Pesquisa.....	2
1.3 Escopo da Pesquisa.....	2
2. DURABILIDADE DE MATERIAIS ROCHOSOS.....	3
2.1 Introdução.....	3
2.2 Definições Iniciais.....	3
2.3 Agentes de Degradação.....	4
2.4 Mecanismos de Degradação.....	4
2.5 Metodologia para a Avaliação da Durabilidade.....	6
2.6 Energia de Desgaste.....	8
2.7 Ensaio de Degradação.....	10
2.7.1 Ensaio de Degradação no Campo.....	11
2.7.2 Ensaio de Degradação no Laboratório.....	12
2.8 Considerações Finais.....	12
3. MATERIAL DE ESTUDO.....	14
3.1 Introdução.....	14
3.2 Material de Estudo.....	14
3.3 Programa Experimental.....	16
3.3.1 Caracterização Física.....	17
3.3.2 Caracterização Mecânica.....	18
3.3.3 Caracterização de Durabilidade.....	19
3.3.3.1 <i>Degradação no Campo</i>	19
3.3.3.2 <i>Degradação no Laboratório</i>	20
3.4 Considerações Finais.....	20
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	21
4.1 Introdução.....	21
4.2 Caracterização Física.....	23
4.3 Caracterização Mecânica.....	26
4.4 Caracterização de Durabilidade.....	27

4.4.1.1	<i>Degradação no Campo</i>	27
4.4.1.2	<i>Degradação no Laboratório</i>	28
5.	CONCLUSÕES.....	29
5.1	Quanto ao Equipamento de Degradação.....	29
5.2	Quanto ao Equipamento de Desgaste.....	29
5.3	Quanto a Metodologia Utilizada.....	29
5.4	Quanto a Caracterização Física.....	30
5.5	Quanto a Caracterização Mecânica.....	30
5.6	Quanto a Caracterização de Durabilidade.....	30
6.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	31

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1. Classificação dos ensaios para avaliação da degradação (SALLES, 2006).	6
Figura 2.2. Equipamento <i>Slake</i> Modificado.....	10
Figura 2.3: Metodologia para análise de rochas (MAIA <i>et al</i> , 2003).....	11
Figura 3.1: Macrorregiões de Pádua - RJ fonte: modificado do Plano Diretor de Santo Antônio de Pádua (2007).....	15
Figura 3.2: Geologia característica da região de Pádua – RJ fonte: modificado de SILVA (2001).....	15
Figura 3.3: Jazidas de exploração e corpos de prova das rochas de Pádua/RJ: Madeira Rosa, Olho do Pombo e Madeira Branca, respectivamente.....	16
Figura 3.4: Painel de exposição de amostras a degradação natural no campo.....	19
Figura 3.5: Vista interna do Equipamento de Degradação Universal da UENF com todas as amostras da degradação de laboratório.....	20
Figura 4.1: Micrografia do Material Intacto.....	23
Figura 4.2: Micrografia do Material Degradado no Campo.....	24
Figura 3.4: Painel de exposição de amostras a degradação natural no campo.....	28
Figura 3.5: Vista interna do Equipamento de Degradação Universal da UENF com todas as amostras da degradação de laboratório.....	28

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1: Trabalhos com procedimentos de ensaios diretos em rochas.....	7
Tabela 2.2: Trabalhos com procedimentos de ensaios indiretos em rochas.....	8
Tabela 2.3: Trabalhos desenvolvidos em degradação com slake durability em rochas.	9
Tabela 3.1: Programa para degradação das amostras do ensaio de desgaste.....	17
Tabela 3.2: Programa para degradação das amostras dos ensaios mecânicos.....	17

LISTA DE SÍMBOLOS

A	massa dos corpos de prova ao ar
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ASTM	American Society for Testing Materials
b	largura do corpo de prova
B	massa dos corpos de prova ao ar após saturação
CPRM	Departamento de Pesquisa de Recursos Minerais
d	altura do corpo de prova
DRM	Departamento de Recursos Minerais
DRM	Departamento de Recursos Minerais
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
Id	índice de desgaste
ISRM	International Society for Rock Mechanics
L	distância entre os apoios
$M_{inicial}$	massa total da partícula seca antes do ensaio
M_{ciclo}	massa total das partículas secas após cada ciclo
Pr	força no momento da ruptura
TCE	Tribunal de Contas do Estado
αa	absorção de água aparente

1. INTRODUÇÃO

1.1 Considerações Iniciais

A durabilidade de materiais geotécnicos se constitui hoje um importante objeto de pesquisa na engenharia geotécnica. Isso se justifica, sobretudo pela constatação de problemas relacionados à eventual degradação rápida de alguns materiais, trazendo prejuízos financeiros às obras. Aspecto relevante no estudo da durabilidade é a relação entre a energia de desgaste e a durabilidade dos materiais. Neste sentido, um mesmo material pode ser considerado apropriado sob determinadas condições intempéricas, enquanto que em outras não. As dificuldades experimentais para avaliação desta interação se maximizam quando os procedimentos de laboratório traduzem a durabilidade como uma função da alteração provocada sob uma determinada energia de desgaste associada a um procedimento de ensaios em particular.

Dentre os materiais de construção, a rocha está presente na construção civil com diversidade em suas aplicações. Antes de serem extraídos das jazidas, porém, estes materiais apresentam-se num estado de alteração equilibrado com o meio, o qual foi atingido num intervalo geológico de tempo, ou seja, de centenas a milhares de anos.

A partir do momento em que temos a extração até a aplicação temos a mudança do meio. Então, a rocha passa a sofrer transformações em busca de equilíbrio. A velocidade de alteração no novo meio depende da susceptibilidade da rocha à alteração. Assim, a alterabilidade vai depender das qualidades do material, do meio externo e do tempo de exposição. Dependendo das características de alterabilidade, a rocha pode sofrer alterações em um intervalo de tempo que pode variar de milhares de anos a poucos meses.

Levando-se em consideração que os projetos de engenharia são geralmente feitos para obras com vida útil bastante longa, surge a preocupação da continuidade da eficiência desses materiais com o passar do tempo, levantando-se questões quanto ao seu desempenho e durabilidade ao longo do tempo. Deste modo, fazem-se necessários o aprimoramento de metodologias de avaliação da degradação e do desenvolvimento de equipamentos mais eficientes ao estudo da durabilidade de materiais de construção.

1.2 Objetivo da Pesquisa

O presente trabalho busca o estudo da durabilidade de rochas, especialmente as utilizadas em fachadas de edifícios, considerando-se as variações da energia de desgaste provocada pelos diferentes ambientes exógenos. Sendo assim, A seleção destes materiais se justifica pelas suas características intrínsecas, normalmente susceptíveis à degradação, além da frequente utilização em obras. As rochas de estudo são gnaiesses minolitizados proveniente de Santo Antônio de Pádua/RJ denominados comercialmente por Pedra Olho do Pombo, Pedra Madeira Rosa e Pedra Madeira Branca. No estudo a variação da energia de desgaste é feita através da variação da velocidade de rotação de um equipamento *slake durability*, adaptado para a pesquisa.

O resultado deste trabalho pretende fornecer dados referentes aos desgastes destas rochas de acordo com variação da rotação do equipamento. E, através destes resultados, prevê o comportamento em longo prazo dos materiais estudados de acordo com a energia de desgaste utilizada.

1.3 Escopo da Pesquisa

A dissertação é composta de 5 capítulos, apresentando inicialmente, neste capítulo a introdução ao tema e os objetivos da pesquisa desenvolvida.

O Capítulo 2 apresenta o conceito de durabilidade, os agentes de degradação, além dos principais mecanismos e procedimentos de degradação observados nos materiais rochosos. É apresentado também o equipamento de desgaste *slake durability* modificado, a metodologia utilizada e o programa experimental desenvolvido.

No Capítulo 3 são apresentadas as características do material de estudo.

O Capítulo 4 apresenta os resultados e discussões dos ensaios realizados nas rochas utilizadas na pesquisa.

No Capítulo 5, dá-se o encerramento do trabalho com a apresentação das principais conclusões. São propostas também recomendações para pesquisas futuros de acordo com os principais resultados obtidos.

2. DURABILIDADE DE MATERIAIS ROCHOSOS

2.1 Introdução

O Estudo da durabilidade dos materiais geotécnicos é de extrema importância para a Construção Civil e possibilita um maior conhecimento da variação do comportamento das propriedades físicas, químicas e mecânicas dos materiais quando expostos aos agentes de degradação.

Para cada material estudado conseguiu-se ao longo dos anos formarem base de informações que conduzam boas pesquisas de acordo com os principais conceitos e conclusões apresentados por alguns pesquisadores.

Neste capítulo, são feitas definições iniciais dos termos mais utilizados para caracterização das modificações sofridas pelos materiais no campo. E são apresentados alguns trabalhos de degradação e durabilidade em rochas, enfatizando os ensaios e procedimentos mais utilizados neste tipo de caracterização.

2.2 Definições Iniciais

Degradação pode ser considerada o termo mais difundido para designar as alterações das propriedades dos materiais geotécnicos devido à ação dos agentes do meio exógeno e manifesta-se através da redução da resistência mecânica devido à ação dos agentes físicos, químicos e biológicos.

Dentre os principais problemas provocados pela degradação, destacam-se a desagregação, a decomposição, a desintegração, e a oxidação, como os mais usuais. A desagregação dos materiais corresponde à fragmentação e aumento de produção de partículas menores, o que causa conseqüente redução da resistência e desgaste no material. Já a decomposição provoca modificação química e mineralógica, enquanto que a desintegração pode ser causada pela perda de coesão e individualização dos minerais constituintes e finalmente, a oxidação com geração de óxidos.

O principal objetivo do estudo da degradação dos materiais é prever o comportamento dos materiais a longo prazo, ou seja, sua durabilidade.

2.3 Agentes de Degradação

A degradação dos materiais geotécnicos é provocada por agentes intrínsecos e extrínsecos (MAIA, 2001). Os agentes de degradação intrínsecos são relativos à natureza do material, isto é, às características físicas, químicas e mecânicas. Os agentes de degradação extrínsecos são relativos ao meio ambiente.

Os principais agentes de degradação dos materiais geotécnicos são:

- **Agentes físicos:** radiação solar e outras radiações (raios α , β e γ), temperatura, precipitação, umidade relativa do ar, vento, pressão atmosférica e atrito mecânico (danos mecânicos).
- **Agentes químicos:** água, ácidos, bases, solventes e outros agentes químicos, oxigênio, ozônio e poluentes atmosféricos.
- **Agentes biológicos:** microorganismos, tais como fungos e bactérias.

2.4 Mecanismos de Degradação

A forma com que os agentes de degradação atuam nos materiais pode mobilizar diferentes mecanismos de degradação. Sendo assim, de acordo com MAIA (2001) os mecanismos de degradação dependem do tipo de material e do meio ambiente de exposição. Para os materiais geotécnicos, os mecanismos de natureza física e química são os mais observados.

A degradação física pode ser caracterizada pela fragmentação dos materiais em virtude de agentes mecânicos e a degradação química provoca modificações na composição do material, ocorrendo preferencialmente em meios úmidos. Porém, apesar dos agentes de degradação atuar de forma distinta, a interação entre os mecanismos físicos e químicos são frequentes, acelerando a degradação do material.

Os principais mecanismos de degradação de natureza física e química em materiais rochosos são: abrasão, desagregação por crescimento de cristais, expansão devido a efeitos térmicos, fraturamento por alívio de tensões, hidrólise e oxidação. Todos estes efeitos podem ser mobilizados em rochas ornamentais:

- **Abrasão:** É o desgaste ocasionado por atrito ou impacto entre partículas, ou, ainda, o desgaste decorrente da movimentação do solo ou da rocha.
- **Desagregação por crescimento de cristais:** Provocado principalmente por três fatores que geram variação de volume nas partículas e provocam a desagregação: congelamento da água, cristalização de sais e alterações químicas com expansão,
- **Expansão devido a efeitos térmicos:** O efeito da variação de temperatura ocasiona contração e expansão dos materiais e assim provocar possíveis microfissuras e desagregação de partículas.
- **Fraturamento por alívio de tensões:** O material sofre microfissuração e fraturas através de interferências no maciço rochoso como em escavações subterrâneas, cortes de grandes taludes, erosão de extratos superficiais, entre outros processos.
- **Hidrólise:** A hidrólise é um mecanismo de degradação de natureza química, podendo ocorrer em diversos materiais geotécnicos. Consiste na ruptura das cadeias moleculares pela ação das moléculas de água, causando a expansão nos materiais e, conseqüentemente, a lixiviação dos elementos constituintes.
- **Oxidação:** A oxidação é um mecanismo de degradação de natureza química, causada pela formação de óxidos devido à presença de oxigênio no ambiente, podendo ocorrer em diversos materiais de construção.

2.5 Metodologia para a Avaliação da Durabilidade

A metodologia para avaliação a durabilidade de materiais geotécnicos é escolhida em função do objetivo da pesquisa e do tipo de material que será estudado. A

experiência de estudos e as principais conclusões descritas na literatura, então, direcionam a escolha dos principais procedimentos de ensaio que serão utilizados nas pesquisas de avaliação da degradação dos materiais. Neste sentido, propõe-se uma classificação dos principais ensaios utilizados para avaliar a degradação de materiais geotécnicos (Figura 2.1).

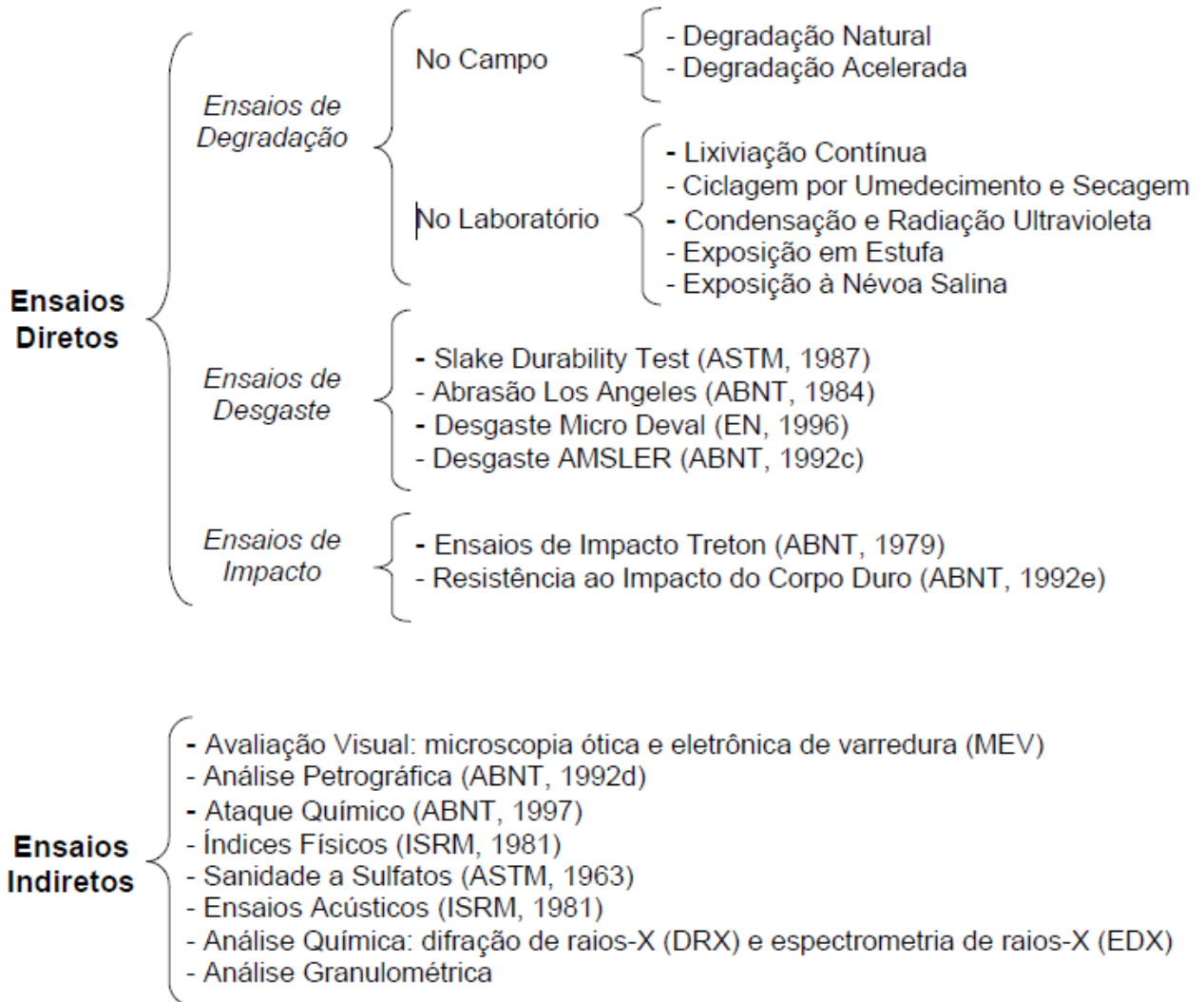


Figura 2.1. Classificação dos ensaios para avaliação da degradação (SALLES, 2006).

Os ensaios para avaliação da degradação de materiais geotécnicos pode ser classificada em diretos e indiretos. Os procedimentos diretos são utilizados para expor os materiais diretamente a diferentes mecanismos de degradação, buscando simular as condições ambientais do local de exposição do material. Podem-se dividir os

procedimentos de degradação diretos em três categorias de ensaios: ensaios de degradação, ensaios de desgaste e ensaios de impacto.

O principal objetivo dos ensaios de degradação é submeter o material à exposição no campo e/ou no laboratório, para posterior determinação da variação das propriedades físicas, químicas e mecânicas do material em diferentes níveis de degradação. Os ensaios de desgaste e de impacto podem ser utilizados isoladamente, ou associados aos ensaios de degradação para avaliar o comportamento do material quanto à durabilidade. A Tabela 2.1 possui trabalhos com base nos ensaios diretos.

Tabela 2.1: Trabalhos com procedimentos de ensaios diretos em rochas

Referências	Material de Estudo	Análises Sugeridas	Observação
GARCIA (2002)	Rochas sedimentares	Névoa Salina	Ensaio satisfatório para o estudo da durabilidade
FRASCA (2003)	Granitos	Alteração Acelerada	Excelente utilização dos materiais em estruturas, pisos e revestimentos
PHILIPP & BENEDETTI (2005)	Mármore dolomítico	Abrasão AMSLER e Resistência ao Impacto do Corpo Duro	Elevado desgaste, perda de brilho e formação de superfície rugosa
RENNER & PULZ (2005)	Granitos	Análise Petrográfica, Índices Físicos, Ensaio Acústico, Impacto do Corpo Duro e Abrasão AMSLER	Excelente utilização dos materiais em estruturas, pisos e revestimentos
LATHAM <i>et al</i> (2006)	Granitos	Índices Físicos, Abrasão <i>Los Angeles</i> e Micro Deval	Guia de durabilidade com diferentes pesquisas de campo e laboratório
LIMA (2006)	Gnaise	Névoa Salina	Perda do brilho, alteração física e mudança na resistência mecânica
SILVA (2007)	Granito	Lixiviação e Ataque Químico	Alterações físicas e mudança na resistência mecânica
RIBEIRO <i>et al</i> (2008)	Granitos	Índices Físicos, Névoa Salina, Ataque Químico e de Sulfatos	Alterações físicas nos materiais, padrão cromático e mudança na resistência mecânica
COSTA <i>et al</i> (2010)	Gnaise	Análise Petrográfica, Lixiviação e Índices Físicos	Excelente utilização dos materiais para revestimentos
CILÉK (2011)	Rochas sedimentares	Monitoramento da degradação natural	Alterações de cor, cristalização de sais e alterações físicas

Os procedimentos indiretos são utilizados para avaliar o nível de degradação dos materiais. Nestes procedimentos, os materiais não são submetidos à degradação. A

avaliação da degradação é feita comparando parâmetros do material degradado com o material intacto. Os procedimentos mais utilizados são apresentados na Tabela 2.2.

Tabela 2.2: Trabalhos com procedimentos de ensaios indiretos em rochas

Referências	Material de Estudo	Análises Sugeridas	Observação
SALLES e MAIA (2004)	Granitos	Índices Físicos	Ensaio adequado para a previsão do comportamento dos materiais
BARROSO <i>et al.</i> (2005)	Gnaiss	Ensaio Acústico e Esclerometria	O material rochoso exposto há quase 100 anos encontra-se ainda pouco alterado
BECERRA & COSTA (2005)	Granitos	Análise Petrográfica e Ataque Químico	Alterações cromáticas, perda de brilho e danos à textura
KOPPE <i>et al.</i> (2005)	Granitos	Análise Petrográfica e Índices Físicos	Oxidação dos materiais, além do aumento de fissuras.
MATOS & ROCHA (2005)	Mármore Camboriú	Índices Físicos	O material apresentou baixos índices de alteração.
MATTOS <i>et al.</i> (2005)	Granitos	Análise Petrográfica e Ataque Químico	Materiais resistentes às alterações, devido aos ataques químicos
MESQUITA & ARTUR (2005)	Granitos	Ataque Químico	Granitos resistentes a alterações provocadas por ataque químico
SILVA & COSTA (2005)	Esteatitos	Análise Petrográfica, Índices Físicos e Ataque Químico	Alterações de cor, formação de cavidades e perda de brilho, tornando a superfície áspera e esbranquiçada
TORQUATO <i>et al.</i> (2005)	Granitos	Ataque Químico	Alterações físicas nos materiais

2.6 Energia de Desgaste

O presente trabalho busca analisar a durabilidade do material apresentado por degradação e desgaste a níveis diferenciados, comparando os resultados obtidos para correlacionar a degradação natural do campo e de forma acelerada em laboratório.

A literatura cita exemplos de estudos com durabilidade e procedimentos com análise do comportamento de rochas decorrentes da alteração de rochas utilizadas na construção civil utilizando o slake durability (Tabela 2.3).

Tabela 2.3: Trabalhos desenvolvidos em degradação com slake durability em rochas

Referência	Material utilizado	Análises realizadas	Observação
-------------------	---------------------------	----------------------------	-------------------

Dhakai <i>et al</i> (2002)	Rochas sedimentares	Índices Físicos, Esclerometria, <i>Slake Durability Test</i> e Micro Deval	Ensaio adequado para a previsão do comportamento dos materiais
Lashkaripour e Boomeri (2002)	Rochas brandas	Análise Petrográfica e <i>Slake Durability Test</i>	Resultados variando de acordo com mineralogia das rochas.
Agustawijaya (2003)	Rochas brandas	<i>Slake Durability Test</i>	Mudanças significativas dos resultados de acordo com a geometria dos corpos de prova
Fuenkajorn & Scri-in(2007)	Várias Rochas	<i>Slake Durability Test</i>	Alterações físicas nos materiais e mudança na resistência mecânica. Durabilidade satisfatória
Nunoo <i>et al</i> (2009)	Granito	Análise Petrográfica, Poin Load e <i>Slake Durability Test</i>	O material rochoso entre 25 a 40 anos apresentam ainda alta resistência
Fuenkajorn (2010)	Rochas brandas	Índices Físicos e <i>Slake Durability Test</i>	Alterações físicas nos materiais
Yagis (2010)	Rochas sedimentares	<i>Slake Durability Test</i>	Correlação da quantidade dos ciclos no Slake na análise de resultados
Keaton <i>et al</i> (2010)	Rochas sedimentares	<i>Slake Durability Test</i>	Modificação no tempo de duração do ensaio e eliminação do processo de secagem.
Miscevic (2011)	Rochas brandas	<i>Slake Durability Test</i> , <i>Point Load</i> e Índices Físicos	Confirmou-se baixa durabilidade deste material de acordo com teor de carbonato

O parâmetro direto e principal adquirido do ensaio no material estudado é a perda de massa através do desgaste. E o equipamento slake durability adaptado para esta pesquisa (Figura 2.2) possui características físicas segundo a norma *Rock Characterization Testing and Monitoring* da ISRM (1981). A idéia principal da realização do equipamento é promover a mudança da variação da energia de desgaste através do controle da velocidade de rotação da câmara. Com os limites oferecidos pelo motor, foram utilizados sete níveis de rotação por minuto: 10, 20, 40, 80, 140, 150 e 160.

Dos trabalhos apresentados anteriormente destaque para KEATON *et al* (2010), que propôs a modificação no tempo de realização do ensaio aliado a eliminação da etapa de secagem em estufa. Foram várias baterias de ensaios que confirmaram a linearidade de perda de massa a partir do momento que o material perde as arestas vivas de acordo com as características locais e conclui que as condições de energias de desgaste do meio exógeno poderiam ser mais bem avaliadas com a mudança na rotação do equipamento *slake durability*.

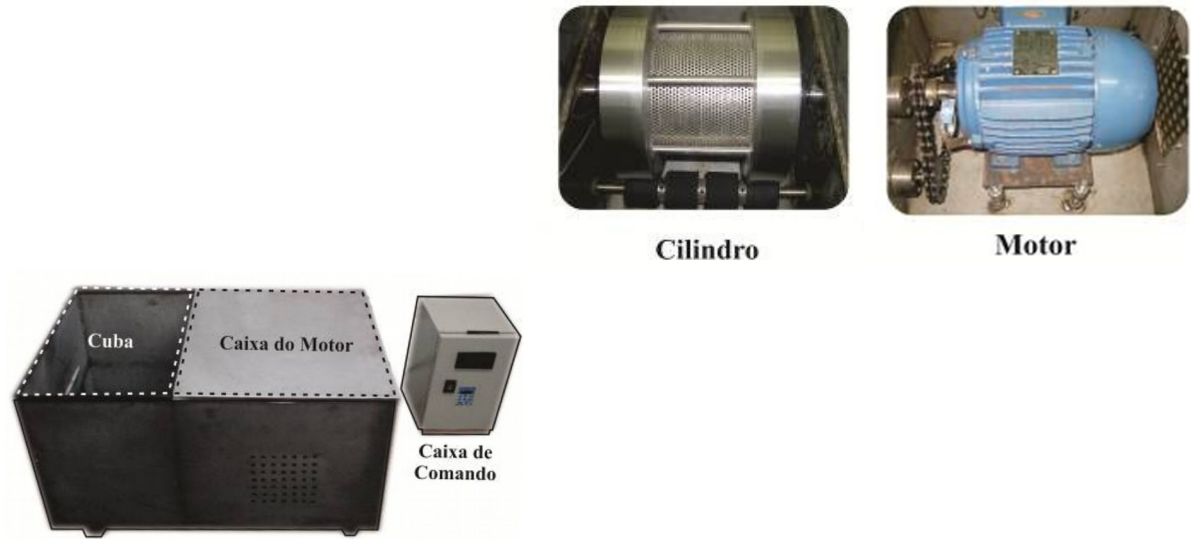


Figura 2.2. Equipamento *Slake* Modificado.

2.7 Ensaio de Degradação

A metodologia para a avaliação da alteração de rochas está ilustrada na Figura 2.3 (Maia et al., 2001). É importante que o material seja representativo da condição intacta e da condição de alteração no laboratório e no campo. Esta metodologia difundiu-se no meio acadêmico e para o material em estudo há trabalhos importantes de caracterização e durabilidade com Oliveira (1998), Soldati (2004), ABRIROCHAS (2012), Salles & Maia (2004) e Maia & Salles (2006). Nesta metodologia destacam-se quatro fases, que devem ser executadas na seguinte ordem:

- Obtenção do material de estudo (amostragem);
- Produção de amostras com alteração induzida de forma acelerada no laboratório e com alteração natural no campo;
- Obtenção dos parâmetros de caracterização dos materiais;
- Análise dos resultados e previsão da durabilidade.

Uma parte do material intacto foi destinada a produção de amostras alteradas de forma natural no campo e outra sob condição acelerada no laboratório. O restante deste, o material alterado naturalmente e o alterado no laboratório, são destinados à determinação dos parâmetros dos materiais.

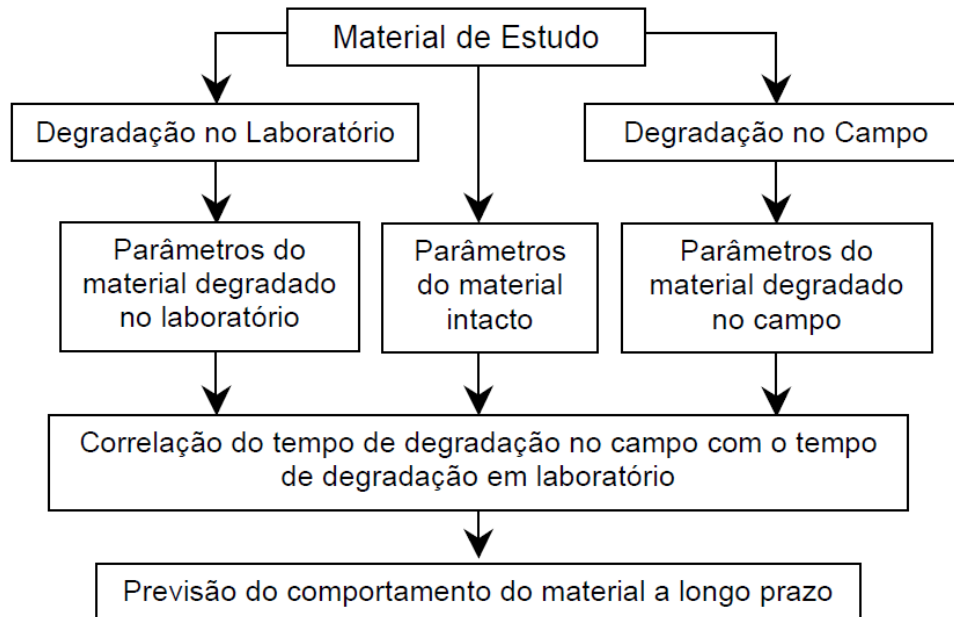


Figura 2.3: Metodologia para análise de rochas (MAIA et al, 2003)

Para a avaliação do desgaste do material é suficiente comparar os parâmetros do material alterado com os parâmetros do material intacto. No entanto, para análise mais profunda do comportamento do material em outras regiões. Deste modo pode-se relacionar futuramente a energia de desgaste no campo com a do *slake* em laboratório.

Uma parte do material intacto deve ser destinada para os ensaios de alteração acelerada no laboratório. Após o processo, serão medidos os parâmetros do material alterado para os diferentes níveis de alteração.

2.7.1 Ensaio de Degradação no Campo

A degradação de materiais geotécnicos no campo é empregada em estudos a longo prazo, que visam a obtenção de informações sobre os efeitos da degradação em um determinado material. A degradação dos materiais no campo tem a vantagem de

expor o material diretamente às condições encontradas no meio. Vale ressaltar que a degradação no campo é influenciada pelas características climáticas do local de exposição, ou seja, o comportamento do material quanto à degradação varia em função da temperatura, umidade relativa, vento, pressão atmosférica e outros fatores.

Para análise mais profunda do comportamento do material em outras regiões, onde este será aplicado, faz-se necessário a produção de amostras para realização de ensaios em diferentes energias de desgaste, ou seja, em regiões de diferentes combinações das ações dos agentes de degradação local. Deste modo pode-se relacionar futuramente a energia de desgaste no campo com a do *slake* em laboratório.

2.7.2 Ensaio de Degradação no Laboratório

Uma fase importante do estudo é a alteração do material em condições aceleradas no laboratório. Esta alteração tem por objetivo simular de forma acelerada, na medida do possível, a alteração que o material sofre no campo. Para a avaliação do material alterado no laboratório foram produzidas amostras degradadas por lixiviação contínua com três tempos de degradação: 12, 18, 34 e 70 dias na lixiviação. Esses ensaios foram conduzidos no Laboratório de Engenharia Civil da UENF utilizando o Equipamento de Degradação Universal da UENF. Através deste equipamento é possível submeter amostras de rocha de grande volume a condições controladas de temperatura, precipitação e de umidade.

Este método já realizado por MAIA & SALLES (2006) mostrou que o equipamento da UENF é equivalente ao Soxhlet convencional e que a avaliação da degradação das amostras em laboratório para a previsão do comportamento do material a longo prazo é adequado ao material de estudo.

2.8 Considerações Finais

O principal objetivo deste capítulo foi apresentar uma descrição detalhada do funcionamento e dos detalhes construtivos do equipamento de desgaste implementado com a possibilidade de variar a velocidade de rotação da câmara e conseqüentemente

a avaliação dos níveis de desgaste. Neste capítulo foram apresentados também os principais mecanismos de degradação em materiais rochosos, além do detalhamento dos procedimentos mais utilizados para degradação deste material.

As tabelas com referências de trabalhos na área orientam e embasam o trabalho com as escolhas e procedimentos adotados para a realização deste projeto. Os trabalhos destes últimos 10 anos reforçam a idéia de que os níveis de desgastes seriam o próximo passo do estudo deste e outros materiais geotécnicos.

Considerando que os materiais de construção sofrem degradação após sua exposição ao meio ambiente, o estudo da durabilidade constitui-se um aspecto relevante e os efeitos da degradação nos materiais dependem de suas características intrínsecas e também extrínsecas do local de sua aplicação e tempo de exposição.

O objetivo final do estudo da durabilidade é a avaliação das condições de utilização do material a longo prazo. Para tanto, é fundamental a simulação da degradação do material no laboratório. Tal simulação deve ser rápida e devem reproduzir, da melhor forma, as condições de degradação no campo. Já a energia de desgaste pode correlacionar o desgaste ao ambiente exógeno onde o material é aplicado ou o tempo de alteração já existente.

3. MATERIAL DE ESTUDO

3.1 Introdução

Este capítulo apresenta o funcionamento e os detalhes do equipamento de desgaste *Slake Durability*, modificado para esta pesquisa. Ressalta-se que o equipamento é capaz de submeter às amostras a diferentes energias de desgaste variando a rotação da câmara.

É apresentado o critério utilizado para seleção do material de estudo, além de suas características quanto à resistência mecânica e durabilidade.

Este capítulo apresenta, ainda, a metodologia empregada para avaliar a degradação do material de estudo no laboratório e os procedimentos de ensaio utilizados no programa experimental.

3.2 Material de Estudo

O material de estudo foi escolhido em função de sua grande disponibilidade na região de Pádua/RJ, onde é extraído (Figura 3.1). É interessante destacar sua ampla comercialização no Brasil e no mundo, característica favorável para desenvolver futuros estudos de degradação natural no campo de regiões de climas diferenciados e avaliar os resultados do equipamento com as variações do nível de desgaste.

Na presente pesquisa buscou-se avaliar o comportamento dos três gnaisses mais explorados na região: as Jazidas Olho do Pombo localizado na coordenada 7609731N 0779741E, Pedra Madeira Rosa em 7608523N 0786707E e Pedra Madeira Branca em 7605855N 0784101E. A primeira é localizada na Serra do Bonfim e as outras na Serra do Catete. Estas rochas metamórficas do projeto são gnaisses provenientes destes alinhamentos montanhosos que se destacam na região. Possuem suas formas paralelas na direção N45°E, e provavelmente, é resultado da formação da estrutura geológica presente, como pode ser observado na Figura 3.2. É característica também, foliação dominante plana, persistentes e fechadas (Figura 3.3).

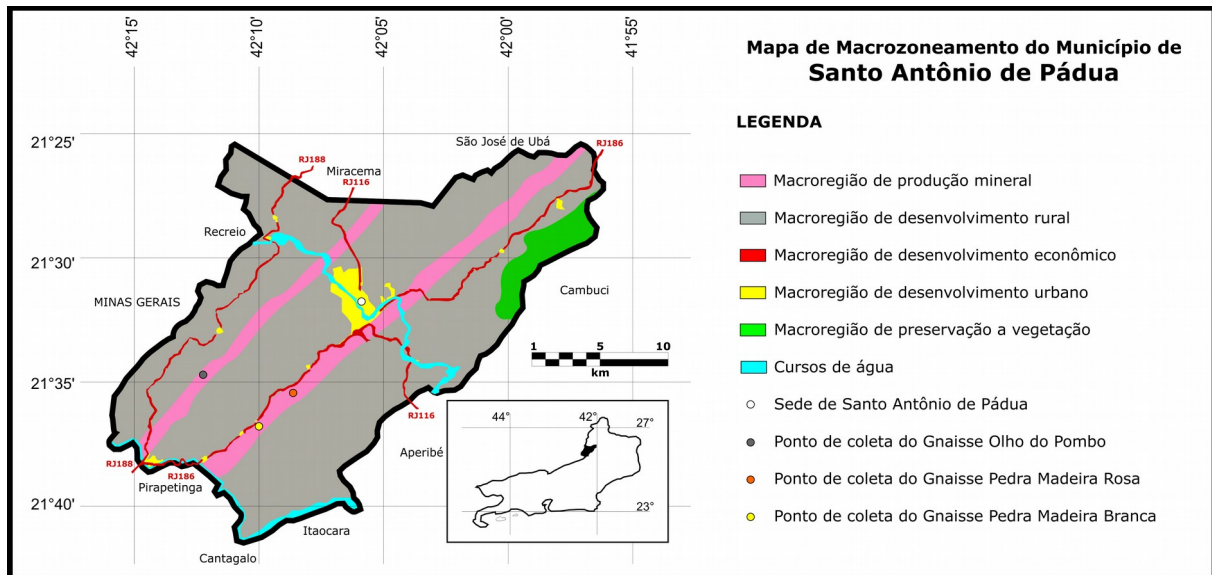


Figura 3.4: Macroregiões de Pádua - RJ
fonte: modificado do Plano Diretor de Santo Antônio de Pádua (2007)

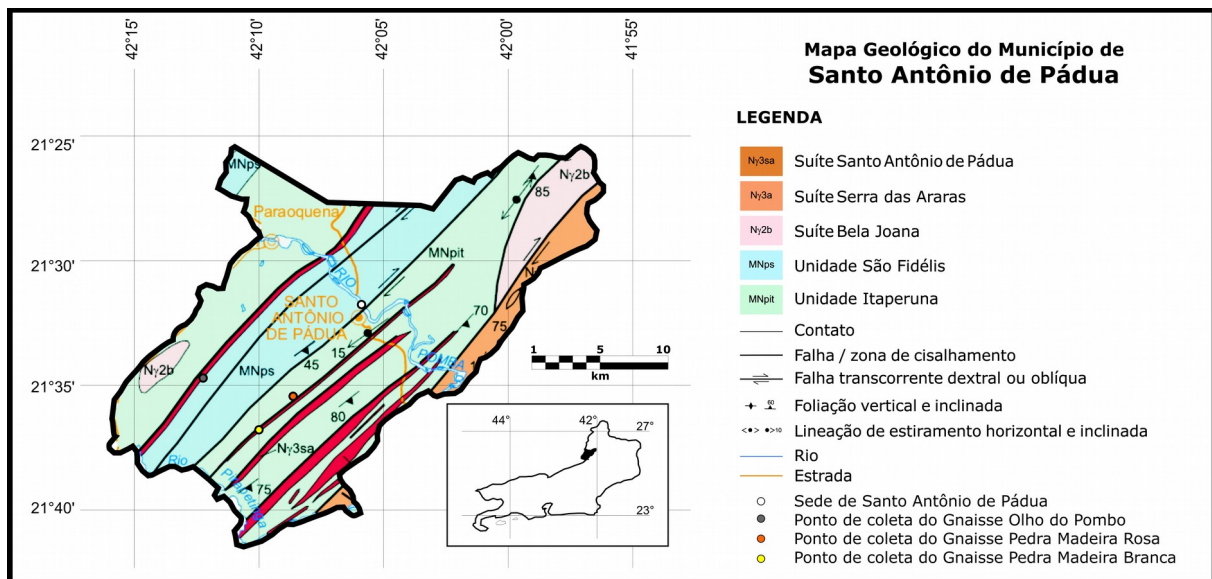


Figura 3.5: Geologia característica da região de Pádua – RJ
fonte: modificado de SILVA (2001)

O material de estudo foi fornecido pela Serraria Olho do Pombo Ltda., empresa especializada em produção de revestimento de rochas ornamentais e que explora material nas duas regiões apresentadas. Na pesquisa utilizou-se a lixiviação contínua para degradação do material, bem como o *slake durability test* com análise do desgaste dos materiais e consequente estudo de durabilidade.

A lixiviação contínua é um procedimento de degradação muito utilizado para análise de degradação em rochas, uma vez que este processo representa bem as condições a que o material é aplicado.



Figura 3.6: Jazidas de exploração e corpos de prova das rochas de Pádua/RJ: Madeira Rosa, Olho do Pombo e Madeira Branca, respectivamente.

3.3 Programa Experimental

O programa experimental busca a produção de amostras degradadas no campo e no laboratório. A Tabela 4.1 apresenta os níveis de degradação e o número de amostras para cada processo de degradação considerado nesta pesquisa. A Tabela 4.2 possui o mesmo programa para os ensaios mecânicos executado. Em seguida, fazem-

se ensaios de caracterização física e mecânica nas amostras degradadas e intactas visando à obtenção dos parâmetros do material.

Tabela 3.4: Programa para degradação das amostras do ensaio de desgaste

Ensaio	Tipo de Degradação	Nível de degradação				
		(número de amostras)				
		0	1°	2°	3°	4°
Slake Durability (7 intensidades)	Intacto (dias)	(70)				
	Natural (dias)		100	200	300	
			(70)	(70)	(70)	
	Lixiviação (dias)		22,5	45	90	180
		(70)	(70)	(70)	(70)	
Σ amostras = 560 para cada jazida (total de 1680)						

Tabela 3.5: Programa para degradação das amostras dos ensaios mecânicos

Ensaio	Tipo de Degradação	Nível de degradação				
		(número de amostras)				
		0	1°	2°	3°	4°
Tração na Flexão	Intacto (dias)	(5)				
	Natural (dias)		100	200	300	
			(5)	(5)	(5)	
	Lixiviação (dias)		22,5	45	90	180
		(5)	(5)	(5)	(5)	
Σ amostras = 40 (total de 160)						

3.3.1 Caracterização Física

A seguir os ensaios de natureza física utilizados no estudo da durabilidade:

- **Microscopia ótica**

Esta análise foi utilizada para obter informações qualitativas sobre a textura e estrutura das amostras dos gnaisses. Para análise por microscopia ótica utilizou-se parte das amostras do *slake durability*. Foram feitas análises em amostras intactas e

com os três tempos de degradação natural e quatro tempos de degradação em laboratório que foram estudados.

- **Espectrometria Dispersiva de Raios-X - EDX**

As principais características dos elementos encontrados no material intacto foram analisadas para comparações com a capa de alteração originada das alterações de campo e laboratório.

- **Índices Físicos**

Toda a análise de desgaste do material nas fases do projeto intacto, degradado no campo e em laboratório foi acompanhada dos índices físicos a fim de acompanhar o comportamento do material em cada etapa do projeto.

3.3.2 Caracterização Mecânica

A seguir os ensaios de natureza mecânica utilizados no estudo para eventual parte de caracterização tecnológica do gnaisse em estudo:

- **Compressão**

Parte de caracterização tecnológica inclui análise da compressão simples. Esta base de dados pode auxiliar comparações com outros materiais extraídos de outras regiões do mundo.

- **Tração**

Foi utilizado como procedimento de aquisição deste dado o ensaio de flexão três pontos. Possui a mesma função que o ensaio de compressão de caracterização

tecnológica e base de dados. Foi realizada também uma análise do comportamento mecânico de tração com o tempo.

3.3.3 Caracterização de Durabilidade

A análise do comportamento em longo prazo só é realizada com comparação do material intacto com o material da degradação natural no campo e da degradação em laboratório por lixiviação contínua.

3.3.3.1 Degradação no Campo

A alteração natural da amostra no campo está sendo feita através da exposição das rochas às condições naturais de alteração. Para isto, utilizam-se suportes de amostras localizados no telhado do edifício E1 na UENF (Figura 3.4). As amostras foram instaladas no suporte com inclinação igual à $21^{\circ}48'$ em relação à horizontal, que corresponde à latitude local. Este procedimento assegura uma maior incidência e conseqüentemente maior absorção da radiação solar.



Figura 3.7: Painel de exposição de amostras a degradação natural no campo

3.3.3.2 Degradação no Laboratório

A alteração da amostra de laboratório está sendo feita através da exposição das rochas às condições similares as naturais, porém com maior intensidade. Para isto, utilizou-se o Equipamento de Degradação Universal da UENF de grandes volumes no Laboratório 10 do LECIV capaz de suportar a quantidade de amostras calculadas para o programa experimental (Figura 3.5). O ensaio de degradação, lixiviação contínua, simula a condição de alteração provocada pelo processo de carreamento dos elementos constituintes dos materiais.



Figura 3.8: Vista interna do Equipamento de Degradação Universal da UENF com todas as amostras da degradação de laboratório.

3.4 Considerações Finais

O principal objetivo deste capítulo foi apresentar uma descrição detalhada do programa experimental. Este capítulo apresentou ainda, as principais características do material de estudo adotado.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Introdução

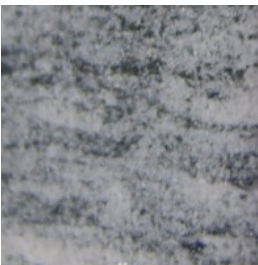
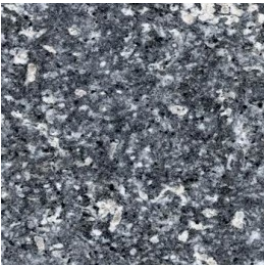
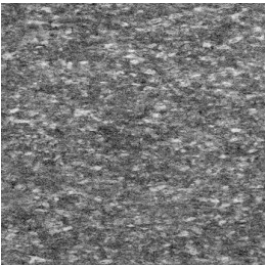
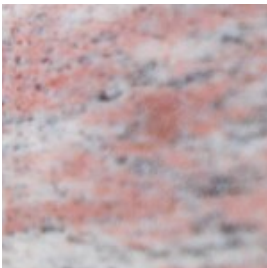





Neste capítulo são apresentados os resultados das principais análises realizadas no projeto. São ensaios de microscopia ótica, espectrometria dispersiva de raios-X, índices físicos e ensaios de flexão três pontos e compressão simples, realizados com os 3 tipos de gnaisses utilizados na pesquisa: Olho do Pombo, com os menores valores de perdas de massa, Madeira Rosa, valores sempre variando entre inferior ou um pouco superior ao gnaisse Olho do Pombo, e Madeira Branca, com a maior perda de massa entre os gnaisses em estudo.

Os ensaios realizados são apresentados de acordo com o item 3.3 denominado “Programa Experimental”. Este tópico foi dividido de acordo com os ensaios de Caracterização Física, Mecânica e de Durabilidade. Para complementar o projeto e enriquecer a base de dados do projeto de durabilidade destes gnaisses, buscou-se referências de projetos que caracterizaram também este material. Entre os dados que são apresentados têm-se as contribuições devidamente referenciadas de OLIVEIRA (1998), SOLDATI (2004), SALLES & MAIA (2004) e ABRIROCHAS (2012).

Os materiais de estudos variam conforme a região de exploração. Os mapas apresentados da Figura 3.1 e 3.2 mostram a grande extensão em que se encontram o Gnaisse Olho de Pombo, na Serra do Bonfim, e os Gnaisses Pedra Madeira, na Serra do Catete. E de acordo com as suas pequenas variações e localidade da venda tem-se os nomes diferenciados. Sendo assim, neste capítulo, é apresentado 9 linotipos que caracterizam a área de estudo. São eles: Olho do Pombo, Floral Pádua Prata e Pedra Paduana Prata da Serra do Bonfim e Madeira Rosa, Juparanã Coral, Juparanã Salmão, Pedra Madeira, Madeira Branca e Santa Cecília Ligth da Serra do Catete.

A Tabela 4.1 mostra esta sequência de linotipos e sua classificação para assim conhecermos as descrições de cada uma e sua aparência.

Tabela 4.6: Classificação dos gnaisses mais explorados de Pádua/RJ

Gnaisses Cinzas da Serra do Bonfim				
Classificação	Nominal	Olho do Pombo	Floral Pádua Prata*	Pedra Paduana Prata*
	Fotográfica			
	Comercial	Gnaisse Cinza	Gnaisse Cinza	Gnaisse Cinza
Petrográfica	Biotita gnaisse monzogranítico blastomilonítico	Biotita hornblenda gnaisse monzogranítico blastomilonítico	Biotita hornblenda gnaisse monzogranítico blastomilonítico	
Gnaisses Rosados da Serra do Catete				
Classificação	Nominal	Madeira Rosa	Juparanã Coral*	Juparanã Salmão*
	Fotográfica			
	Comercial	Gnaisse Rosa	Granito Rosa	Granito Rosa
Petrográfica	Biotita gnaisse monzogranítico	Biotita gnaisse monzogranítico	Gnaisse sienogranítico	
Gnaisses Mais Claros da Serra do Catete				
Classificação	Nominal	Madeira Branca	Santa Cecília Ligth*	Pedra Madeira*
	Fotográfica			
	Comercial	Gnaisse Branco	Granito Branco	Gnaisse Amarelo
Petrográfica	Gnaisse monzogranítico	Gnaisse monzogranítico granada	Gnaisse microclínico granítico blastomilonítico	

* Classificação completa conforme ABRIROCHAS (2012).

Com a tabela anterior de linotipos com suas fotografias e dados de classificação serão apresentados as caracterizações apresentando os dados, sem fotografia do gnaiss, de maneira que possibilite uma melhor comparação.

4.2 Caracterização Física

A caracterização física das amostras foi realizada a fim de complementar e apresentar justificativas importantes ao estudo de durabilidade uma vez que já foi descritos que estes são ensaios indiretos e promovem análises da alteração do material. A seguir os ensaios de natureza física utilizados no estudo da durabilidade:

- **Microscopia ótica**

As micrografias dos Gnaisses, intactos (Figura 4.1) e no primeiro tempo de degradação no campo (Figura 4.2) mostraram que a estrutura física dos gnaisses estudados é afetada mesmo que para baixos níveis de degradação. E para um elevado nível de degradação este processo se repete, a qual pode ser ocasionada pela oxidação de alguns minerais da superfície destas rochas. Esta observação é verificada apenas nas amostras que sofreram degradação no campo e que provocou no ensaio de desgaste, *slake durability*, uma menor perda de massa em relação ao material intacto.

Este fenômeno gerou nos materiais degradados em campo o preenchimento das microfissuras da superfície da rocha, o que não ocorreu no laboratório. A causa disso pode estar relacionada a oxidação e ou alteração de regiões na rocha.

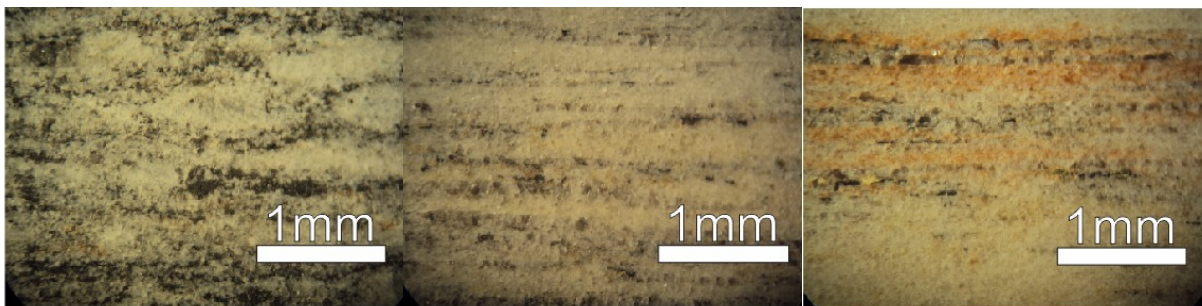


Figura 4.9: Micrografia do Material Intacto

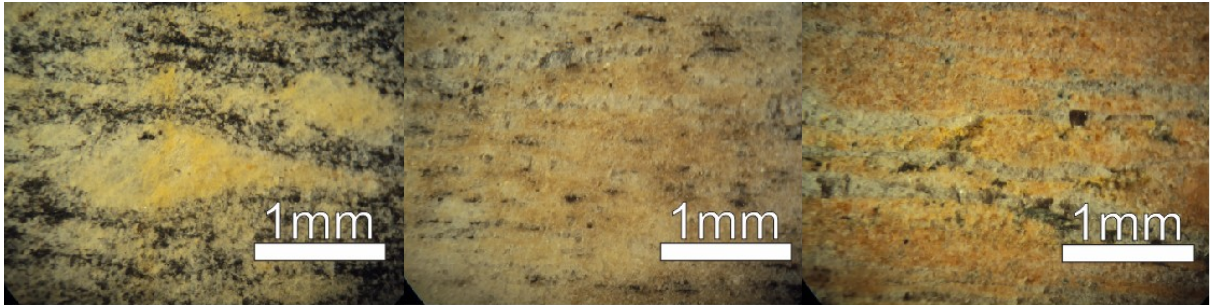


Figura 4.10: Micrografia do Material Degradado no Campo

As imagens mostram claramente a diferença entre o material intacto e o degradado em campo. Na Figura 4.2 podemos ver que há mudança na coloração e, mais nitidamente, verifica-se o destaque das microfissuras.

- **Espectrometria Dispersiva de Raios-X - EDX**

Na análise por espectrometria dispersiva de raios-X buscou-se determinar o nível de oxidação nos Gnaisses através da análise química e possibilitar a comparação com outros gnaisses estudados no Brasil e no mundo (Tabela 4.2).

Tabela 4.7: Classificação dos gnaisses mais explorados de Pádua/RJ

Element o	OP (%)	MB (%)	MR (%)
SiO ₂	61,798	68,095	67,326
Al ₂ O ₃	15,725	16,129	16,267
K ₂ O	8,634	8,876	9,189
Fe ₂ O ₃	5,215	2,464	2,829
CaO	4,771	1,949	1,940
SO ₃	1,612	1,691	1,700
TiO ₂	1,852	0,494	0,511
Sc ₂ O ₃	-	0,162	0,052
MnO	0,091	0,069	0,046
ZrO ₂	0,128	0,040	0,035
ZnO	0,030	-	0,026
SrO	0,019	0,009	0,009
Y ₂ O ₅	0,010	0,006	0,010
V ₂ O ₅	0,115	-	0,044

Rb ₂ O	-	0,016	0,016
-------------------	---	-------	-------

- Índices Físicos

A Tabela 4.3 apresenta os valores de peso específico seco e saturado, bem como porosidade e absorção aparente das partículas de ganisses estudadas.

Tabela 4.8: Índices Físicos dos Ganisses estudados em Projeto

Linotipo	Olho do Pombo	Floral Pádua Prata	Pedra Paduana Prata	Madeira Rosa	Juparanã Coral	Juparanã Salmão	Madeira Branca	Santa Cecília Ligth	Pedra Madeira
Peso seco (g/cm ³)	2,675 2,700 *	2,726	2,726	2,614	2,613	2,625	2,613	2,647	2,592
Peso saturado (g/cm ³)	2,687	-	-	2,625	-	-	2,627	-	-
Porosidade (%)	1,23 1,06 *	0,84	0,84	1,11	0,87	0,76	1,40	0,72	1,4
Absorção de água (%)	0,46 0,39 * 0,45 **	0,84	0,31	0,43 0,45 **	0,33	0,29	0,54	0,27	0,5

* (OLIVEIRA, 1998); ** (SALLES & MAIA, 2004); *** (SOLDATI, 2004)

Tabela 4.9: Comportamento dos Índices Físicos dos Ganisses estudados alterados

Índices Físicos	Peso Seco			Peso Saturado			Porosidade			Absorção			
	Tempo	OP	MR	MB	OP	MR	MB	OP	MR	MB	OP	MR	MB
Natural (dias)	Intacto	2,67 5	2,61 4	2,61 3	2,68 7	2,62 5	2,62 7	1,23	1,11	1,40	0,46	0,43	0,54
	90	2,68 3	2,61 9	2,60 2	2,69 1	2,63 0	2,61 8	0,99	1,07	1,63	0,37	0,41	0,63
	180	2,68	2,61 8	2,60 1	2,69 3	2,63 4	2,62 0	1,06	1,20	1,67	0,41	0,46	0,64
	270	2,67 8	2,61 4	2,59 5	2,69 4	2,63 7	2,61 2	1,18 %	1,30	1,73	0,43	0,50	0,66
Laboratório (dias)	12	2,67 9	2,60 2	2,60 6	2,69 0	2,61 4	2,62 0	1,08	1,14	1,39	0,40	0,44	0,53
	18	2,67 8	2,6	2,60 5	2,69 2	2,61 5	2,62 1	1,12	1,25	1,63	0,42	0,48	0,63
	34	2,67 5	2,59 9	2,60 4	2,69 3	2,61 5	2,62 8	1,13	1,27	2,68	0,43	0,49	1,03
	70	2,66 8	2,60 4	2,61 1	2,67 9	2,61 6	2,62 2	1,05	1,19	1,14	0,39	0,46	0,44

Na Tabela 4.4 nota-se que a alteração natural ou em laboratório dos ganisses provocaram mudança nas propriedades físicas das partículas. Processos de degradação fazem com que o peso seco do material diminua, e em consequência disso provoca o aumento das outras propriedades. Sendo assim, a amostra aumenta os vazios superficiais e provoca aumento da porosidade, do peso saturado e absorção de água de forma simultânea.

Os dados em negrito foram perdidos, pois o material que ficou na máquina de degradação entrou em contato com o silicone no fundo do tanque de degradação e comprometeu os resultados desta fase de 70 dias de degradação em laboratório.

4.3 Caracterização Mecânica

Este procedimento foi realizado com o intuito de formar uma base de dados para a caracterização tecnológica. A seguir os ensaios de natureza mecânica utilizados no estudo e do acompanhamento da perda de resistência nos ensaios de flexão:

- **Compressão**

Parte de caracterização tecnológica inclui análise da compressão simples. Esta base de dados pode auxiliar comparações com outros materiais extraídos de outras regiões do mundo (Tabela 4.5).

Tabela 4.10: Índices Físicos dos Ganisses estudados em Projeto

Linotipo	Olho do Pombo	Floral Pádua Prata	Pedra Paduana Prata	Madeira Rosa	Juparanã Coral	Juparanã Salmão	Madeira Branca	Santa Cecília Ligth	Pedra Madeira
Compressão Simples (MPa)	138,8 99,9 * 134,3 ***	146,6	146,6	142,1 134,3 ***	150,4	140,5	102,5	129,3	141,5

* (OLIVEIRA, 1998); *** (SOLDATI, 2004)

- Tração

Foi utilizado como procedimento de aquisição deste dado o ensaio de flexão três pontos. Possui a mesma função que o ensaio de compressão de caracterização tecnológica e base de dados. Foi realizada também uma análise do comportamento mecânico de tração com o tempo (Tabela 4.6).

Tabela 4.11: Comportamento dos Índices Físicos dos Ganisses estudados alterados

Tempo	OPN	OP	MR	MB	
Intacto	153,17	99,7	62,8	78,4	
Natural (dias)	90	152,31	97,6	62,4	73,9
	180	151,36	90,9	57,4	62,5
	270	150,23	70,4	55,0	50,1
Laboratório (dias)	12	141,86	85,0	62,5	63,6
	18	138,05	77,5	61,6	51,3
	34	132,55	66,2	59,2	45,5
	70	124,72	64,3	57,9	40,4

4.4 Caracterização de Durabilidade

A análise do comportamento a longo prazo só é realizada com comparação do material intacto com o material da degradação natural no campo e da degradação em laboratório por lixiviação contínua.

4.4.1.1 Degradação no Campo

A alteração natural da amostra no campo está sendo feita através da exposição das rochas às condições naturais de alteração. Para isto, utilizam-se suportes de amostras localizados no telhado do edifício E1 na UENF (Figura 3.4). As amostras

foram instaladas no suporte com inclinação igual à 21°48' em relação à horizontal, que corresponde à latitude local. Este procedimento assegura uma maior incidência e conseqüentemente maior absorção da radiação solar.

4.4.1.2 Degradação no Laboratório

A alteração da amostra de laboratório está sendo feita através da exposição das rochas às condições similares as naturais, porém com maior intensidade. Para isto, utilizou-se o Equipamento de Degradação Universal da UENF de grandes volumes no Laboratório 10 do LECIV capaz de suportar a quantidade de amostras calculadas para o programa experimental (Figura 3.5). O ensaio de degradação, lixiviação contínua, simula a condição de alteração provocada pelo processo de carreamento dos elementos constituintes dos materiais.

5. CONCLUSÕES

5.1 Quanto ao Equipamento de Degradação

A utilização do equipamento de degradação de grandes dimensões capaz de submeter amostras de grandes volumes a diferentes mecanismos de degradação concomitantemente mostrou-se satisfatória não só neste trabalho com estudos em rochas, como de materiais cerâmicos de XAVIER (2001) e geotêxteis de SALLES (2006) e de CUNHA PINTO (2006).

Verificou-se que os gnaisses submetidos à degradação no equipamento implementado sofreram influência dos mecanismos de degradação mobilizados no processo de degradação.

5.2 Quanto ao Equipamento de Desgaste

A implementação de um equipamento de desgaste com variação da rotação do equipamento proporcionando diferentes energias de desgaste também mostrou-se satisfatória ampliando e diversificando as formas de estudar a durabilidade de materiais geotécnicos através da perda de massa.

5.3 Quanto a Metodologia Utilizada

A metodologia utilizada para avaliar a degradação no campo e no laboratório mostrou-se eficiente para a obtenção dos parâmetros dos geotêxteis estudados. Ressalta-se que é uma metodologia introduzida ao meio acadêmico por MAIA (2001) e através deste tornou-se um processo consagrado e apresentado em dissertações, artigos e teses, como nos trabalhos de, XAVIER (2001), (SALLES & MAIA, 2004), SALLES (2006) e CUNHA PINTO (2006).

5.4 Quanto a Caracterização Física

A análise por microscopia ótica mostrou que a estrutura física dos gnaisses estudados é afetada mesmo nos baixos níveis de degradação. A superfície do material apresentou suas microfissuras preenchidas.

A análise por espectrometria dispersiva de raios-X mostrou os principais elementos constituintes de cada gnaisse e auxilia bem a caracterização tecnológica.

O comportamento dos índices físicos foram compatíveis e auxiliam na correlação com a perda de massa das partículas no ensaio do *slake durability*.

5.5 Quanto a Caracterização Mecânica

Os resultados de compressão simples estão próximos ao da literatura e confirmaram mais uma vez que são os mesmo gnaisses. E de modo geral, ocorre a redução da resistência a tração com a degradação, tanto no campo quanto no laboratório por lixiviação contínua nos gnaisses.

5.6 Quanto a Caracterização de Durabilidade

Esta pesquisa mostrou que não existe uma relação linear e única que correlaciona os tempos de degradação no campo e no laboratório. Observa-se que as relações dependem do procedimento de degradação no laboratório e das características do material.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas (1979). Determinação da Resistência ao Choque. Designação da norma: ABNT - MB 964/79.
- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas (1984). Agregados: Determinação da Abrasão Los Angeles. Designação da norma: ABNT - NBR 6465/84.
- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas (1992a). Materiais Inorgânicos – Determinação do Desgaste por Abrasão. Designação da norma: ABNT - NBR 12042/92.
- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas (1992b). Rochas para Revestimento – Determinação da Resistência ao Impacto do Corpo Duro. Designação da norma: ABNT - NBR 12764/92.
- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas (1992c). Rocha para revestimento - Análise Petrográfica. Designação da norma: ABNT - NBR 12768/92.
- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas (1992d). 2p. NBR 12766. Rochas para revestimento: Determinação da massa específica aparente, porosidade aparente e absorção d'água aparente. Rio de Janeiro.
- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas (1992e). 3p. NBR 12763. Rochas para revestimento: Determinação da resistência a flexão. Rio de Janeiro.
- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas (1997). Placas Cerâmicas para Revestimento. Especificação e Métodos de Ensaio. Anexo H: Determinação da Resistência ao Ataque Químico. Designação da norma: ABNT - NBR 13818/97.
- AGUSTAWIJAYA, D. S. (2003). Modelled Mechanisms in The Slake-Durability Test For Soft Rocks. Lecturer, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering - Mataram Univerisity. DIMENSI TEKNIK SIPIL VOL 5, NO. 2: 87 – 92

- ASTM - American Society for Testing Materials (1963). Soundness of Aggregates by Use of Sodium Sulphate or Magnesium Sulphate. Test Designation: C 88-63.
- ASTM - American Society for Testing Materials (1987). Slake Durability of Shales and Similar Weak Rocks. Repealed 1992. Test Designation: D 4644/87.
- AYAKWAH, G. F. et al (2009a). Effect of Weathering And Alteration on Point Load and Slake Durability Indices and The Characterization of The Debris Flow at The Questa Mine, Taos County, New Mexico. Dissertação de Mestrado. New Mexico Institute of Mining and Technology. Department of Mineral Engineering. Socorro, New Mexico. May, 216p.
- AYAKWAH, G. F. et al (2009b). Effect of Weathering And Alteration on Point Load and Slake Durability Indices of Questa Mine Materials, New Mexico. SME Annual Meeting. Denver, CO. 50p.
- BARROSO, E. V.; CORREA, B. R. N.; OLIVEIRA, L. S.; SILVA, L. C. T. (2005). Avaliação da Alteração das Rochas de Cantaria em Prédios Históricos: O Exemplo do Teatro Municipal do Rio de Janeiro. I Congresso Internacional de Rochas Ornamentais, Guarapari-ES, 7p.
- BECERRA, J. E. B.; COSTA, A. G. (2005). Avaliação do Grau de Oxidabilidade de Rochas Graníticas com Aplicação Ornamental. I Congresso Internacional de Rochas Ornamentais, Guarapari-ES, 7 p.
- CILEK, V. *et al.* (2011) Practice Rock Arch (Bohemian Switzerland National Park, Czech Republic) deterioration due to natural and anthropogenic weathering. *Environ Earth Sci*, Special Issue.
- COSTA, A. P. L. et AL. (2010). Rochas Ornamentais: Alterabilidade dos Gnaisses Enderbíticos no Ensaio de Lixiviação Contínua Através do Extrator Soxhlet. *Holos*, Ano, 26, Vol. 3 – 10p.

- COUTINHO, D. S. da S. F. (2009). Revestimentos Biológicos em Pedras Graníticas do Património Construído: Ocorrência, Limpeza e Prevenção. Dissertação de Mestrado. Universidade do Minho, Escola de Engenharia. 114p.
- CUNHA PINTO, V. (2006). Estudo da Degradação de Geotêxteis Tecidos. Dissertação de Mestrado. Laboratório de Engenharia Civil, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, RJ, 133p.
- DHAKAL, G.; YONEDA, T.; KATO, M.; KANEKO, K. (2002). Slake Durability and Mineralogical Properties of Some Pyroclastic and Sedimentary Rocks. *Engineering Geology*, vol. 65, p. 31-45.
- EN - Europäische Norm (1996). Tests for Mechanical and Physical Properties of Aggregates. Part 1: Determination of the Resistance to Wear (Micro-Deval). Bruxelles, Test Designation: EN 1097-1.
- FILHO, J. B. e TANAKA, M. D. (2002). Considerações Geológicas e Sobre o Parque Produtor de Rochas Ornamentais no Município de Santo Antônio de Pádua – RJ. *Anuário do Instituto de Geociências – UFRJ*. Vol 25: 68-84
- FRASCÁ, M. H. B. de O. (2003). Estudos experimentais de alteração acelerada em rochas graníticas para revestimento. 2003. Tese (Doutorado) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 281p.
- FUENKAJORN, K. (2010). Experimental assessment of long-term durability of some weak rocks. Original paper.
- FUENKAJORN, K; SRI-IN T. (2007). Slake durability index and strength testing of some rocks in Thailand. Geomechanics Research Unit, Suranaree University of Technology, Thailand. 15p.
- GARCIA, D. B. (2002). Modelización y estimación de La durabilidad de materiales pétreos porosos frente a la cristalización de Sales. Tese de doutorado. Departamento de Ciencias de la Tierra y del Medio Ambiente, Fac. de Ciencias. Universidad de Alicante, 291p.

- ISRM - International Society For Rock Mechanics. (1981). Rock Characterization Testing And Monitoring - ISRM Suggested Methods. Oxford, pp.1-212.
- KOPPE, J. C.; ZINGANO, A. C.; COSTA, J. F. C. L. (2005). Alterabilidade de Rochas Ornamentais, a Importância das Propriedades Tecnológicas na Seleção de Revestimentos Externos. I Congresso Internacional de Rochas Ornamentais, Guarapari-ES, 5 p.
- LASHKARIPOUR, G. R. e BOOMERI, M. (2002). The Role of Mineralogy on Durability of Weak Rocks. Pakistan Journal of Applied Sciences 2(6): 698-701.
- LATHAM, J. P *et al.* (2006) Rock quality, durability and service life prediction of armourstone. Science Director. Engineering Geology. 87: 122–140.
- LIMA, A. L. C. (2009). Influência da Presença de Sulfetos na Implantação da Uhe Irapé. Vale Do Jequitinhonha - Minas Gerais. Mestrado Profissional em Engenharia Geotécnica da UFOP. Ouro Preto – MG, 206p.
- LIMA, M. A. B. (2006). Estudo do Comportamento dos Gnaisses Casablanca, Juparaná Delicato e Giallo Falésia (Ceará-Brasil) em Atmosfera Salina. Tese de Doutorado. Curso de Pós-Graduação em Geociências. Rio Claro, SP. 182p.
- MAIA, P.C.A. (2001). Avaliação do Comportamento Geomecânico e de Alterabilidade de Enrocamentos. Tese de doutorado, Departamento de Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro - PUC-Rio, 351p.
- MATOS, L. F. S. e ROCHA, J. C. (2005). Caracterização da Alterabilidade do Mármore Camboriú-SC. I Congresso Internacional de Rochas, Guarapari-ES, 5 p.
- MATTOS, I. C; ARTUR, A. C. e NOGUEIRA NETO, J. A. (2005). Influência da Mineralogia e Textura na Alterabilidade de Granitos Ornamentais do Stock Serra do Barriga, Sobral/CE. I Congresso Internacional de Rochas Ornamentais, Guarapari-ES, 5 p.

- MEDINA, H. V. de, PEITER, C. C. e DEUS, L. A. B. (2003). Montagem de um Sistema de Informações Geográficas Para a Gestão de Áreas de Produção de Rochas Ornamentais – Noroeste do Estado do RJ. Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ. 13p.
- MESQUITA, M. P. S; ARTUR, A. C. (2005). O Granito Branco Ceará e sua Resistência ao Ataque de Substâncias Químicas Agressivas – I Congresso Internacional de Rochas Ornamentais, Guarapari-ES, 5 p.
- NUNOO, S. et al (2009b). The Effect of Weathering on Particle Shape of Questa Material. SME Annual Meeting. Denver, CO. 15p.
- OLIVEIRA, M. A. (1998). Avaliação Técnico-econômica da Extração de Rocha Ornamental no Município de Santo Antônio de Pádua - RJ. Dissertação de Mestrado em Geologia. Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ. 170p.
- PEITER, C. C. (2010). Situação e Perspectivas da Produção de Rochas Ornamentais no Noroeste do Estado do Rio de Janeiro. Centro de Tecnologia Mineral – Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 5p.
- PEITER, C. C., VIDAL, F. W. H. e CASTRO, N. F. (2010) Arranjos Produtivos Locais de Base Mineral: APLs - Atuação do CETEM. Apresentação do Workshop Recursos Minerais e Sociedade, 48p.
- PETERNEL, R. e MANSUR, K. (2007). Ponto de Interesse Geológico: Rochas Miloníticas de Santo Antônio de Pádua. Painel inaugurado em outubro de 2007, durante a Semana Nacional de Ciência e Tecnologia 2007.
- PHILIPP, R. P.; BENEDETTI, V. D. (2005). Análise e Avaliação dos Problemas na Cúpula da Catedral Metropolitana de Porto Alegre, RS: Problemas de Execução do Projeto e/ou Material Inadequado? I Congresso Internacional de Rochas Ornamentais, Guarapari-ES, 6 p.

- PLANO DIRETOR DE SANTO ANTÔNIO DE PÁDUA – RJ (2007) Prefeitura Municipal de Santo Antônio de Pádua - Gabinete do Prefeito. LEI Nº 3.147, de 09 de agosto de 2007. 53p.
- PMSAP – Prefeitura Municipal de Santo Antônio de Pádua. (2010). História da Cidade: Informações Gerais sobre o Município de Santo Antônio de Pádua / RJ. Disponível em: <<http://www.santoantoniodepadua.rj.gov.br>>. Acesso em novembro de 2010.
- RENNER, L. C.; PULZ, G. M. (2005). Comparação e Interpretação dos Ensaios Tecnológicos dos Granitóides Jaguari e Santa Rita, Porção Sudoeste do Escudo-Subriograndense. I Congresso Internacional de Rochas, Guarapari-ES, 5p.
- RIBEIRO, R. C. da C. *et all* (2008) Estudo de Alterabilidade de Rochas Silicáticas para Aplicação Ornamental. Centro de Tecnologia Mineral – Rio de Janeiro: CETEM/MCT. 48p.
- SALLES, R. O; MAIA, P. C. A. (2004). Avaliação Experimental da Alterabilidade de Rochas Ornamentais do Norte do Estado do Rio de Janeiro. I Simpósio Brasileiro de Jovens Geotécnicos, São Carlos-SP, ABMS, 6p.
- SEBRAE (2008). Histórias de Sucesso : Pedras e Rochas Ornamentais / Coordenadora Nacional do Projeto Casos de Sucesso, Renata Barbosa de Araújo Duarte.– Brasília: Sebrae, 56 p.
- SILVA, M. E. (2007). Avaliação Da Susceptibilidade De Rochas Ornamentais E De Revestimentos À Deterioração – Um Enfoque a Partir do Estudo em Monumentos do Barroco Mineiro. Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geologia Econômica e Aplicada do Instituto de Geociências– Belo Horizonte – MG. Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG, 128p.
- SILVA, M. E.; COSTA, A. G. (2005). Alterabilidade em Esteatitos – Resistência ao Ataque Químico– I Congresso Internacional de Rochas Ornamentais, Guarapari-ES, 5 p.

- SWAIN, C. (2010). Determination of Rock Strength from Slake Durability Tests, Protodyakonov Impact Tests and Los Angeles Abrasion Resistance Tests. Bacharel em Engenheiro de minas Department of Mining Engineering. 45p.
- TCE/RJ - Tribunal de Contas do Estado do Rio de Janeiro. (2009). Relatório das Contas de Gestão - Exercício 2008. Disponível em: <www.tce.rj.gov.br>. Acesso em novembro de 2010. 157p.
- TORQUATO, M. F. B.; FIGUEIREDO, C.; FIGUEIREDO, P.; TORQUATO, J. R.; BARROS, L. A. A.; MACHAQUEIRO, P. (2005). Análise de Imagem Aplicada ao Granito Meruoca Clássico, Mediante Envelhecimento Artificial em Câmara Saturada com SO₂ – I Congresso Internacional de Rochas Ornamentais, Guarapari-ES, 7 p.
- , S. (2010) Correlation between slake durability and rock properties for some carbonate rocks. . Original paper.