



**Viviane Farroco da Silva**

**O MAPEAMENTO E A AVALIAÇÃO DA DEGRADAÇÃO DE ROCHAS  
DE CANTARIA ATRAVÉS DE ANÁLISES QUÍMICAS, FÍSICAS E  
MINERALÓGICAS:**

Estudo de caso da Igreja Nossa Senhora do Outeiro da Glória

Trabalho de Conclusão de Curso

UFRJ  
Rio de Janeiro  
2008



UFRJ

**Viviane Farroco da Silva**

**O MAPEAMENTO E A AVALIAÇÃO DA DEGRADAÇÃO DE ROCHAS DE  
CANTARIA ATRAVÉS DE ANÁLISES QUÍMICAS, FÍSICAS E MINERALÓGICAS:**

Estudo de caso da Igreja Nossa Senhora do Outeiro da Glória

Trabalho de Conclusão de Curso de  
Graduação em Geologia do Instituto de  
Geociências, Universidade Federal do Rio  
de Janeiro – UFRJ, apresentado como  
requisito necessário para obtenção do grau  
de Geólogo.

Orientador:

Emílio Velloso Barroso

Rio de Janeiro

Julho de 2008

Silva, Viviane Farroco

**O mapeamento e a avaliação da degradação de rochas de cantaria através de análises químicas, físicas e mineralógicas:** estudo de caso da Igreja Nossa Senhora do Outeiro da Glória / Viviane Farroco da Silva - Rio de Janeiro: UFRJ / IGeo, 2008.

xii, 63 p. : il.; 30cm

Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Geociências, Departamento de Geologia, 2008.

Orientador : Emílio Velloso Barroso

1. Geologia. 2. Geologia de Engenharia e Ambiental – Trabalho de Conclusão de Curso. I. Emílio, Velloso Barroso. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Geociências, Departamento de Geologia. O mapeamento e a avaliação da degradação de rochas de cantaria através de análises químicas, físicas e mineralógicas – Estudo de caso da Igreja Nossa Senhora do Outeiro da Glória

Viviane Farroco da Silva

O MAPEAMENTO E A AVALIAÇÃO DA DEGRADAÇÃO DE ROCHAS DE  
CANTARIA ATRAVÉS DE ANÁLISES QUÍMICAS, FÍSICAS E MINERALÓGICAS:  
Estudo de caso da Igreja Nossa Senhora do Outeiro da Glória

Trabalho de Conclusão de Curso de  
Graduação em Geologia do Instituto de  
Geociências, Universidade Federal do Rio  
de Janeiro – UFRJ, apresentado como  
requisito necessário para obtenção do grau  
de Geólogo.

Orientador(es):

Emílio Velloso Barroso

Aprovada em:23.07.2008

Por:

---

Orientador: Emílio Velloso Barroso

---

Helena Polivanov (UFRJ)

---

Antônio Soares da Silva (UFRJ)

Aos meus pais Olivia e Celso (*in memoriam*),  
minha avó Adelina e meu irmão Celso.

## AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador e Professor Emílio, por todo o suporte dado a este trabalho e pelos preciosos ensinamentos.

Ao Geólogo Cláudio Matta pelo acompanhamento em campo.

À Mestre Geóloga Renata Alamino e aos Geólogos Leandro Victor e Vitor Hugo pela ajuda com a Absorção Atômica e a Difração de Raios-X.

Ao amigo Rodrigo Brauns pelo acompanhamento em todas as fases desse trabalho.

Aos companheiros do LEMETRO, Gilmar, Amanda, Rafael pela amizade, e incentivo, durante este tempo de convívio.

Ao CNPQ pelo auxílio recebido através de bolsa de iniciação científica.

## RESUMO

SILVA, Viviane. **O mapeamento e a avaliação da degradação de rochas de cantaria através de análises químicas, físicas e mineralógicas**. 2008. xii, 63 p. Trabalho de Conclusão de Curso – Departamento de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

Esse estudo visa avaliar os efeitos do intemperismo natural e induzido pela atmosfera urbana poluída sobre a mineralogia e a composição química de rochas de cantaria, utilizadas como revestimento em fachadas de um prédio histórico da Cidade do Rio de Janeiro, levando-as a degradação. O objeto de estudo é a Igreja do Outeiro da Glória devido a sua localização próxima ao mar, o que expõe as rochas de cantaria a um ambiente fortemente intempérico. Com o objetivo de entender a distribuição espacial das morfologias de alteração das rochas de cantaria e avaliar o seu grau de alteração, aplicou-se o cadastro de testes da matriz e realizou-se o mapeamento dessas, ensaios geomecânicos (esclerometria). Utilizou-se do Microscópio de luz transmitida para avaliação das mudanças mineralógicas, texturais e estruturais. A microscopia eletrônica de varredura com análise química pontual foi aplicada com o intuito de observar a alteração mineral, bem como a ação do intemperismo biológico, dada pela presença de biofilmes encontrados por trás de placas e plaquetas mapeadas e no interior das cavidades deixadas por esses deslocamentos. A difração de raios-X, pelo método do pó, foi utilizada para verificar a presença de minerais secundários. Para a caracterização química foram utilizados os métodos de absorção atômica e cromatografia iônica para a identificação de cátions e ânions solúveis, respectivamente. Conclui-se que esta abordagem é útil para a documentação e avaliação dos danos, servindo para orientar as ações de conservação-restauração do Patrimônio Histórico.

Palavras-chave: rochas de cantaria; patrimônio histórico; intemperismo.

## ABSTRACT

SILVA, Viviane. **The mapping and evaluation of masonry rocks decay through chemical, physical and mineralogical analysis: Our Lady of Outeiro da Glória church case study.** 2008. xii, 63 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Geologia) – Departamento de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

The scope of this study is to evaluate the effects of natural and induced weathering, product of a polluted urban atmosphere, over masonry rock's mineralogy and chemical composition used in the façades of a Rio de Janeiro's historical building, resulting in their decay. The object of study is the Outeiro da Glória church due to its location near the sea, which exposes its masonry rocks to a strong weathering environment. Aiming to understand the alteration morphologies spatial distribution in masonry rocks and evaluate its decay degree, they were mapped and geomechanics tests were made in tandem with matrix tests register. A transmitted light microscope was used to evaluate mineralogical, textural and structural changes. Electronic microscope with punctual chemical scan was used to observe mineralogical changes and biological weathering, the later produced by biofilms found behind mapped plaques and plaquettes and inside cavities left over by these loose plates. The X-ray diffraction, by dust method, was used to verify the presence of secondary minerals. Three methods were used in chemical characterization: x-ray fluorescence for total chemical analysis with loss-to-fire measures, atomic absorption and ionic chromatography to identify solute cations and anions, respectively. This approach is useful to damage evaluation and documentation, being useful in Historical Property preservation-restoring actions.

Key-words: masonry rocks; historical property; weathering.



## LISTA DE FIGURAS

|  |    |
|--|----|
| Figura 1: Pórtico de entrada da Igreja Nossa Senhora do Outeiro da Glória .....  | 14 |
| Figura 2: Localização da Igreja em relação à linha de costa, circulada em amarelo. ....  | 14 |
| Figura 3: Gnaisse leptinito, apresentado sinais de alteração. ....   | 15 |
| Figura 4: Temperatura Média da Região Metropolitana do Rio de Janeiro .....  | 20 |
| Figura 5: Precipitação Média da Região Metropolitana do Rio de Janeiro .....   | 21 |
| Figura 6: Sequência de alteração dos plagioclásios.....  | 23 |
| Figura 7: Sequência de alteração das biotitas. ....  | 23 |
| Figura 8: Sequência de alteração das granadas.....   | 24 |
| Figura 9: Evolução do microfraturamento nos estágios iniciais de alteração da rocha. ....  | 25 |
| Figura 10: Diagrama das composições químicas das rochas estudadas por Barroso (1993) e ..  | 27 |
| Figura 11: Fachadas estudadas no pórtico.....  | 36 |
| Figura 12: Esquema de identificação dos blocos nas fachadas .....  | 36 |
| Figura 13: Curva empírica de correlação com a resistência da superfície da rocha .....   | 41 |
| Figura 14: Fachadas externas digitalizadas no software Arc Gis. ....   | 46 |
| Figura 15: Fachadas internas digitalizadas no software Arc Gis.....  | 47 |
| Figura 16: (A) Fissura intergranular; (B) Granada apresentando precipitação de ferro; (C) biotita com cores anômalas de interferência nas bordas. .... | 49 |
| Figura 17: Difratoograma de raios-X.....   | 50 |
| Figura 18: Presença de biofilmes sobre quartzo em imagem de MEV. ....  | 51 |
| Figura 19: Biofilme recobrendo mineral de quartzo. Aumento de 1,2 x. ....  | 52 |
| Figure 20 : Gráficos da concentração de ânions em função da posição das fachadas.....  | 54 |
| Figure 21: Mapa de contorno do bloco 5.2 da fachada 7 .....  | 57 |
| Figura 22: Mapa de contorno do bloco 3.1 da fachada 6.....   | 58 |

## LISTA DE TABELAS

|  |    |
|--|----|
| Tabela 1: Composição modal média de gnaisses em 4 estágios de alteração .....                                | 23 |
| Tabela 2: Dados químicos de quatro estágio de alteração em Leptinito (Barroso,1993).....                     | 25 |
| Tabela 3: Composição química de gnaisses encontrados no Teatro Municipal (Silva, 2005) ..                    | 26 |
| Tabela 4: Classificação da classificação das morfologias de alteração segundo Urmeneta (1997). .....         | 29 |
| Tabela 5: Classificação das morfologias de alteração segundo Henriques et. al. (2005). .....                 | 33 |
| Tabela 6: Cadastro de testes da matriz (Modificado de Barroso, 1993) .....                                   | 37 |
| Tabela 7 : Morfologias de alteração do grupo perda de Coesão .....   | 42 |
| Tabela 8: Morfologias de alteração do grupo perda de matéria ou perda de massa .....                         | 42 |
| Tabela 9: Morfologias de alteração do grupo alterações cromáticas e depósitos .....                          | 43 |
| Tabela 10: Morfologias de alteração do grupo fissuras, fraturas e ceformações .....                          | 44 |
| Tabela 11: Percentuais de ocorrência das morfologias de alteração em cada fachada.....                       | 45 |
| Tabela 12 : Grau de alteração dos minerais utilizando o Cadastro de Testes da Matriz.....                    | 48 |
| Tabela 13: Porosidade secundária nas rochas .....  | 49 |
| Tabela 14 : Concentração dos ânions nos blocos das fachadas. Análise realizada por cromatografia iônica..... | 53 |
| Tabela 15: Concentração dos cátions nos blocos das fachadas. Análise realizada por absorção atômica. ....    | 55 |
| Tabela 16: Dados estatísticos dos ensaios de esclerometria nos blocos das fachadas.....                      | 56 |

## SUMÁRIO

|   |      |
|---|------|
| AGRADECIMENTOS .....  | VI   |
| RESUMO.....   | VII  |
| ABSTRACT .....  | VIII |
| LISTA DE FIGURAS.....   | IX   |
| LISTA DE TABELAS .....  | X    |
| SUMÁRIO.....  | XI   |
| 1. INTRODUÇÃO .....   | 13   |
| 1.1. Enunciação do Tema .....                                     | 13   |
| 1.2 Objeto de Estudo.....   | 14   |
| 1.3 Objetivos e Justificativas.....                               | 15   |
| 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA / ASPECTOS CONCEITUAIS ESPECÍFICOS ..... | 16   |
| 2.1. Intemperismo .....   | 16   |
| 2.2. Efeitos da poluição .....                                    | 20   |
| 2.3. Intemperismo de gnaisses .....                               | 22   |
| 2.4 Morfologias de Alteração .....                                | 27   |
| 3 METODOLOGIA.....  | 35   |
| 3.1. Mapeamento das formas de alteração.....                      | 35   |
| 3.2. Cadastro de testes da matriz .....                           | 36   |
| 3.3. Microscopia por luz transmitida.....                         | 37   |
| 3.4. Difração de raios-X (DRX) .....                              | 38   |
| 3.5. Microscopia eletrônica de varredura (MEV) .....              | 38   |
| 3.6.Cromatografia iônica e absorção atômica.....                  | 39   |

|  |           |
|--|-----------|
| 3.7. Avaliação geomecânica.....                    | 40        |
| <b>4. RESULTADOS .....</b>                         | <b>42</b> |
| 4.1. Mapeamento das formas de alteração.....       | 42        |
| 4.2 Cadastro de testes da matriz .....             | 48        |
| 4.3 Análises Químicas e Mineralógicas .....        | 48        |
| 4.3.1 Petrografia por luz transmitida .....        | 48        |
| 3.2 Difração de Raios-X.....                       | 50        |
| 4.3.3 Microscopia Eletrônica de Varredura.....     | 50        |
| 4.3.4 Cromatografia Iônica e Absorção Atômica..... | 52        |
| 4.4. Avaliação geomecânica.....                    | 55        |
| <b>5 CONCLUSÕES .....</b>                          | <b>58</b> |
| <b>6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>         | <b>61</b> |

## 1. INTRODUÇÃO

### 1.1. Enunciação do Tema

Devido a sua grande utilidade e uso pela sociedade e por apresentar as mais variadas aplicabilidades, diversidade de padrões cromáticos e estruturais, as rochas são até hoje utilizadas como elementos ornamentais, podendo ser encontradas como peças decorativas, como elementos estruturais (colunas e pilares) e como rochas de cantaria, revestindo paredes e fachadas ou até mesmo como pisos, nos interiores e exteriores de edificações.

As características estéticas e a importância comercial atribuída às rochas ao longo da história da humanidade, associadas ao comprometimento da sua resistência e durabilidade no momento presente, tem levado pesquisadores em diversas partes do mundo a aplicarem recursos em pesquisas e a investigarem a alterabilidade de rochas, visando à preservação e à conservação das mesmas nas fachadas, paredes e pisos, nos interiores e exteriores, das edificações.

Dentre os estudos voltados para a conservação e manutenção adequada de rochas em edificações históricas, destacam-se na Europa o mármore, o arenito, o granito e as rochas basálticas. No Brasil esse tipo de estudo ainda é pouco divulgado, podendo-se citar principalmente a “*pedra-sabão*” das obras do Aleijadinho em Minas Gerais (Silva & Roeser, 2005).

Nas últimas décadas o interesse pela preservação e/ou conservação do patrimônio tem aumentado, o que pode ser justificado pelo fato de que patrimônio bem preservado é fonte de recursos através do turismo (Pillotto & Barroso, 2006). Além do que, compreender os

mecanismos que levam a alteração das rochas é relevante para a proposição de medidas de conservação e restauração.

## 1.2 Objeto de Estudo

O objeto de estudo deste trabalho é a Igreja de Nossa Senhora do Outeiro da Glória (figura 1), localizada no centro da cidade do Rio de Janeiro (figura 2), Brasil.



Figura 1: Pórtico de entrada da Igreja Nossa Senhora do Outeiro da Glória



Figura 2: Localização da Igreja em relação à linha de costa, circulado em amarelo.  
Fonte: <http://maps.google.com.br>

A igreja foi projetada pelo Tenente-Coronel José Cardoso Ramalho e inaugurada em 1739. Foi tombada em 1938 pelo Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional (IPHAN).

As rochas utilizadas como cantaria no Outeiro da Glória são gnaisses oriundos da própria cidade, conhecidos localmente como leptinitos (figura 3). É um gnaisse de composição quartzo-feldspática, leucocrático, com granulação fina e de coloração amarelada a cinza claro. Apresenta granada, biotita, zircão, magnetita e ilmenita em menores proporções. A foliação observada, macro e microscopicamente, é dada pela orientação dos grãos de biotita e pelo estiramento dos grãos de quartzo.



**Figura 3: Gnaisse leptinito, apresentado sinais de alteração.**  
**Fonte: Barroso, (2006).**

### **1.3 Objetivos e Justificativas**

A preservação das rochas de cantaria é uma necessidade absoluta para as construções históricas e tombadas, uma vez que atualmente torna-se cada vez mais difícil a eventual substituição de peças. Na Cidade do Rio de Janeiro, essa preocupação é de grande relevância uma vez que nas áreas de ocorrência do Gnaisse (Leptinito) na cidade, não mais se encontram pedreiras em produção. Atualmente, essas áreas são urbanizadas ou de proteção ambiental, portanto, não mais é permitido a exploração da rocha.

Isto se deve ao fato de que a área de ocorrência desses gnaisses na cidade, principalmente do Leptinito, estar completamente urbanizada ou protegida por leis ambientais.

O Outeiro da Glória é um monumento datado do século XVIII, sendo, portanto um bem arquitetônico e uma herança cultural de grande importância para a sociedade brasileira. Os processos de degradação ocorridos ao longo de todo esse tempo causam modificações estéticas e podem trazer conseqüências funcionais e estruturais, com prejuízos para o bem tombado.

O objetivo deste trabalho é identificar, mapear e entender a distribuição espacial das morfologias de alteração das rochas de cantaria, além de avaliar o seu grau de alteração através de análises mineralógicas, químicas, petrofísicas e geomecânicas.

A justificativa pela escolha da Igreja Nossa Senhora do Outeiro da Glória deve-se ao fato da construção ser um bem tombado pelo IPHAN, além de ser localizada próximo ao mar, o que deixa as rochas de cantaria expostas a um ambiente fortemente intempérico.

## **2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA / ASPECTOS CONCEITUAIS ESPECÍFICOS**

### **2.1. Intemperismo**

O intemperismo é o conjunto de processos naturais que causam a alteração das rochas, quando estas estão submetidas a condições diferentes daquelas na qual foi formada. Pode ser classificado como intemperismo físico, químico ou biológico de acordo com o mecanismo predominante.

O intemperismo físico resulta na desintegração física e degradação mecânica das rochas, promovendo um aumento da superfície específica das partículas minerais, sem modificações na



sua estrutura cristalina. Segundo Salomão & Antunes (1998), o intemperismo físico pode ocorrer devido:

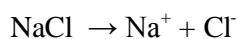
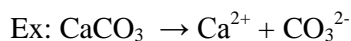
- A submissão das rochas a ciclos de aquecimento e resfriamento, associadas às diferenças de coeficiente de expansão dos minerais. Mecanismos de fadiga térmica são prováveis atores na degradação de rochas de cantaria.
- Ao congelamento da água nos poros e fraturas, levando a um aumento de volume desta, gerando novas fraturas e fissuras e/ou a propagação das já existentes;
- A presença de raízes de vegetais preenchendo poros e fraturas, exercendo força sobre esses e levando então à desagregação.
- A cristalização de sais levando a expansão desses e gerando um aumento na extensão de fissuras e a fragmentação da rocha. Esse tipo de intemperismo é relevante na degradação de rochas em ambientes costeiros.

De acordo com Toledo *et al.* (2003) o principal agente do intemperismo químico é a água da chuva, que infiltra e percola as rochas levando a reações químicas como:

- Hidratação: Ocorre devido à atração entre os dipolos das moléculas de água e das cargas elétricas não neutralizadas da superfície do grão. As moléculas de água entram na estrutura mineral, modificando-a e formando, portanto, um novo mineral.

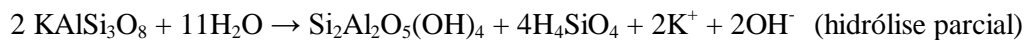
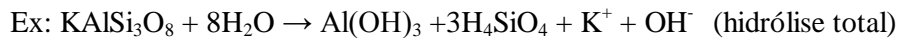


- Dissolução: Consiste na solubilização completa.

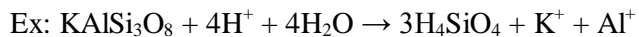


- Hidrólise: Ocorre quando o íon  $\text{H}^+$  entra nas estruturas minerais deslocando os cátions alcalinos e alcalinos terrosos, que são liberados para a solução além da Si e Al que vão para a fase líquida. Tomando-se como exemplo os feldspatos, na hidrólise total, 100% da sílica e do potássio são eliminados, já na hidrólise parcial, parte da sílica permanece e o potássio pode ser

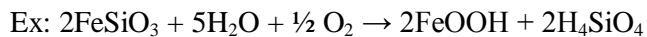
total ou parcialmente eliminado. Na hidrólise parcial quando são originados argilominerais em que a relação de átomos Si:Al é 1:1, chama-se monossilificação e quando forma-se argilominerais em que a relação de átomos Si:Al é 2:1 o processo é chamado de bissialitização.



- Acidólise: Em ambientes frios, onde a decomposição da matéria orgânica não é total, formando ácidos orgânicos que diminuem o pH da água, sendo capazes de complexar o Fe e Al, colocando-os em solução. A acidólise total ocorre quando  $\text{pH} < 3$ , fazendo com que todos os elementos entrem em solução. A acidólise parcial ocorre quando as soluções de ataque apresentam pH entre 3 e 5, levando a um remoção somente parcial do alumínio.



- Oxidação: Mudança do estado de oxidação do elemento, precipitando novo mineral.



O intemperismo biológico representa o intemperismo causado pela atuação de organismos vivos, e em rochas de cantaria se manifesta quando as raízes das plantas penetram nas fraturas das rochas em busca de água e sais minerais. Quando estes movimentos criam forças maiores que a resistência da rocha, esta rompe. Outra forma de manifestação ocorre pela presença de líquens que colaboram para a ocorrência de intemperismo químico.

O Outeiro da Glória está posicionado nas proximidades do mar, e em função da sua localização geográfica, apresenta uma grande concentração de umidade no ar atmosférico. Apresenta elevado índice pluviométrico com as chuvas concentradas, principalmente nos períodos de abril a dezembro. Segundo dados do INMET, as temperaturas médias mensais máximas ocorrem no mês de fevereiro (30,2°C) e as médias mensais mínimas nos meses de junho e julho (18,5°C). A proximidade com a linha de costa também faz com que as rochas que

revestem a igreja estejam submetidas a intemperismo causado devido a ação de névoas salinas, o que pode levar a cristalização de sais nos poros e fraturas. Essas condições fazem com que o intemperismo predominante sob as rochas de cantaria da Igreja Nossa Senhora do Outeiro da Glória seja o físico.

Dokuchaev (1887), indica cinco fatores de controle de intemperismo, são apresentados neste trabalho apenas aqueles que têm relação direta com o tema de estudo:

- **Material parental:** A alteração intempérica das rochas depende da natureza dos minerais constituintes, de sua textura e estrutura. A alteração mineral segue a série de Goldich, que representa a seqüência normal de estabilidade dos minerais frente ao intemperismo. A textura da rocha original influencia o intemperismo à medida que permite o maior ou menor grau de percolação água, assim como a presença de descontinuidades, juntas e diáclases ( no campo) e fissuras (no ambiente construído).
- **Clima:** Fator que isoladamente mais influencia no intemperismo, já que os dois mais importantes parâmetros climáticos (precipitação e temperatura) regulam a natureza e a velocidade das reações químicas. Quanto maior a disponibilidade de água e mais freqüente a renovação desta, mais completas são as reações intempéricas. A temperatura age acelerando as reações químicas e aumentando a evaporação, diminuindo então a quantidade de água disponível para a lixiviação de produtos solúveis.
- **Ação Biológica:** Participa do intemperismo através das moléculas orgânicas que são capazes de complexar cátions dos minerais, colocando-os em solução.
- **Tempo:** O tempo necessário para intemperizar determinada rocha depende dos outros fatores que controlam o intemperismo. Em condições de intemperismo pouco agressivas, é necessário um tempo mais longo de exposição às intempéries.

## 2.2. Efeitos da poluição

De acordo com o Relatório Anual de Qualidade de Ar da Feema (2006), a região Metropolitana do Rio de Janeiro possui uma grande concentração de fontes de emissão de poluentes atmosféricos apresentando níveis de comprometimento da qualidade do ar.

No período de maio a setembro, devido à atuação dos sistemas de alta pressão que dominam a região, ocorrem com frequência situações de estagnação atmosférica e elevados índices de poluição. Além desses fatores, deve ser considerado ainda que a região está sujeita às características do clima tropical, com intensa radiação solar e temperaturas elevadas, favorecendo os processos fotoquímicos e outras reações na atmosfera, com geração de poluentes secundários. Conforme dados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2008), a temperatura média no Rio de Janeiro, de 1961 a 1990 é de 23,7° (figura 4) e a média de precipitação é de 1172,9 mm (figura 5).

Fatores meteorológicos como ventos, chuvas e instabilidade do ar atuam de forma efetiva na qualidade do ar. É importante ressaltar que a qualidade do ar pode mudar em função das condições meteorológicas, pois estas determinarão uma maior ou menor diluição dos poluentes, mesmo sendo mantidas as emissões.

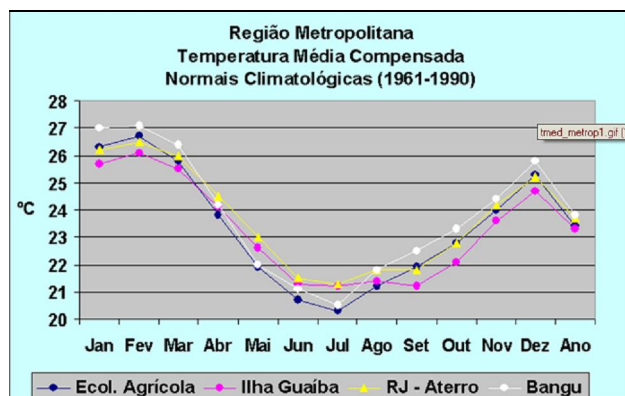
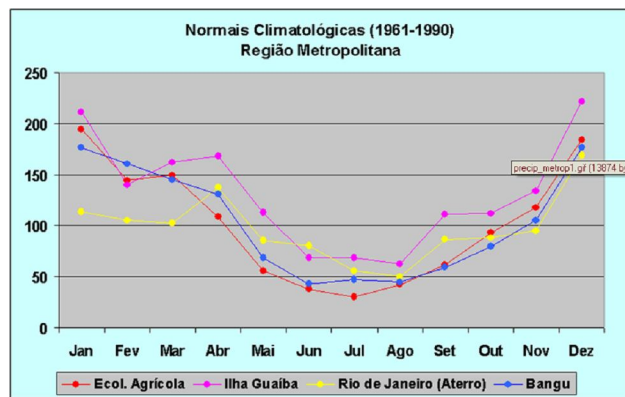


Figura 4: Temperatura Média da Região Metropolitana do Rio de Janeiro  
Fonte: INMET, 2008.



**Figura 5: Precipitação Média da Região Metropolitana do Rio de Janeiro**  
**Fonte: INMET, 2008.**

A direção e velocidade dos ventos, por exemplo, propiciam o transporte e a dispersão dos poluentes atmosféricos, determinam sua trajetória e alcances possíveis. Em situações de calmaria ocorre a estagnação do ar, proporcionando um aumento nas concentrações de poluentes (FEEMA, 2006). A precipitação é outro fator que atua com muita eficiência na remoção dos poluentes do ar, em maior ou menor grau, dependendo da sua intensidade. Em relação às temperaturas, deve ser ressaltado que, geralmente, altas temperaturas são associadas a movimentos verticais (convecção) o que favorece o arraste dos poluentes para os mais altos níveis da atmosfera, enquanto menores temperaturas permitem a manutenção dos poluentes mais próximos à superfície.

Baptista Neto *et al.* (2006) estudando os granitos da fachada da Igreja da Ordem Terceira de Nossa Senhora de Monte do Carmo, localizada no centro da cidade do Rio de Janeiro, observou a presença de crostas negras de gipsita sobre toda a fachada, principalmente nas áreas abrigadas da chuva. Os dados de análises químicas do autor demonstraram influência de aerossóis marinhos, argamassas e dos poluentes atmosféricos na deteriorização e formação de crostas no granito. As crostas negras se desenvolveram sob toda a fachada do prédio, em um ambiente subtropical úmido (*sic*), embora o clima seja tropical e conforme o autor é testemunha da eficácia dos altos níveis de poluição local, especialmente da deposição de

particulados, e de reduzida lavagem pela chuva em um micro-ambiente protegido, impedindo a tendência da gipsita ser lavada das fachadas dos prédios históricos.

A interação existente entre a atmosfera e o material pétreo geralmente pode causar danos sobre a superfície da rocha, que podem se observados macroscopicamente, tais como a formação de crostas a partir da deposição de material particulado e a alteração cromática resultante da deposição deste material por via úmida, ou seja, através da reação química dos compostos gasosos presentes na atmosfera durante o processo de precipitação pluviométrica (Silva, 2007).

### **2.3. Intemperismo de gnaisses**

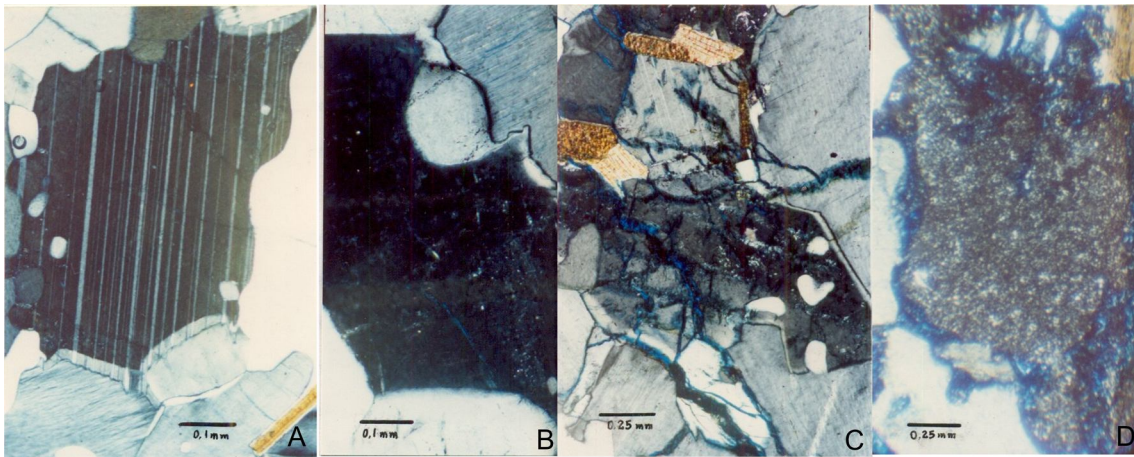
Barroso (1993) estudou os aspectos físicos, químicos e mineralógicos de um perfil de intemperismo em leptinito com quatro graus de alteração em rocha.

Mineralogicamente, a rocha apresentou como minerais maiores quartzo, microclina, plagioclásio (figura 6), biotita (figura 7) e granada (figura 8), com algumas diferenças percentuais devido a heterogeneidade da rocha. Como mineral menor encontrou-se mica branca. Com o aumento do grau de intemperismo, a quantidade de poros e microfissuras aumentaram, assim como a quantidade de argila e restos finos de grão, enquanto os feldspatos diminuíram drasticamente (tabela 1). O plagioclásio e a biotita são os primeiros minerais a se intemperizarem, este último podendo ser o responsável pelo manchamento castanho que a rocha apresenta ao longo da foliação devido a percolação de ferro. As granadas, apesar de presentes em pouca quantidade, é o mineral que se altera com mais facilidade.

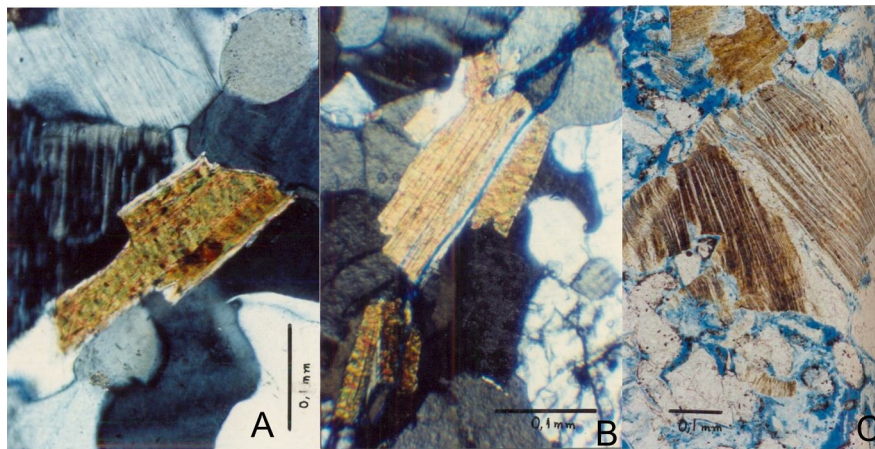
**Tabela 1: Composição modal média de gnaisses em 4 estágios de alteração: I – Rocha sã , II- Levemente intemperizada, III- Moderadamente intemperizada, IV- Altamente intemperizada.**

**Fonte: Barroso (1993)**

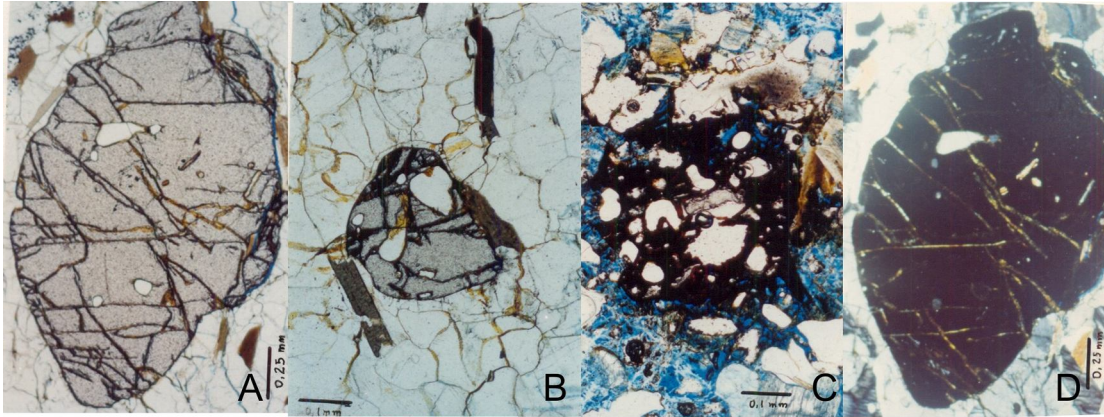
| Minerais (%)          | Estágios de alteração |      |      |      |
|-----------------------|-----------------------|------|------|------|
|                       | I                     | II   | III  | IV   |
| Quartzo               | 46                    | 44,7 | 44,4 | 40   |
| Microclina            | 34,3                  | 36,6 | 30,8 | 22   |
| Oligoclásio           | 12,6                  | 11,4 | 11,4 | 2,3  |
| Biotita               | 6,3                   | 2,9  | 3,8  | 4,8  |
| Granada               | 0,4                   | 1    | 1,4  | -    |
| Mica Branca           | 0,4                   | 0,5  | 0,6  | 0,8  |
| Carbonatos            | -                     | -    | 0,1  | 0,5  |
| Gel                   | -                     | -    | -    | 10   |
| Poros e microfissuras | -                     | 2,9  | 7,5  | 19,6 |



**Figura 6: Seqüência de alteração dos plagioclásios: (A) - Estágio I, (B) - Estágio II, (C) - Estágio III, (D) – Estágio IV. Fonte: Barroso (1993)**



**Figura 7: Seqüência de alteração das biotitas: (A) – Estágio I ; (B) – Estágio III, (C) - Estágio IV. Fonte IV: Barroso (1993)**

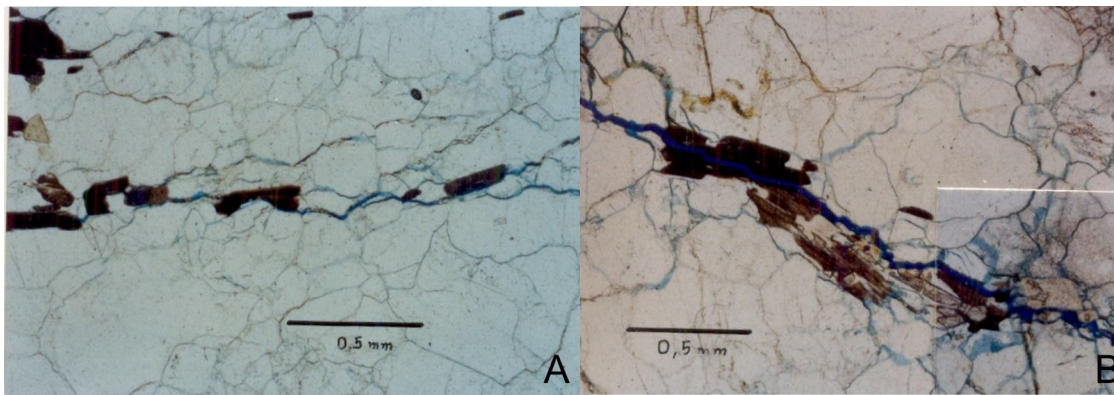


**Figura 8: Sequência de alteração das granadas. (A) – Estágio I, (B) - Estágio II, (C)- Estágio III, (D)- Estágio III. Fonte: Barroso (1993)**

Barroso (1993) também realizou ensaios de difração de raios-X através de lâmina montada com o pó da moagem da rocha, tendo como objetivo a investigação das alterações observadas em lâmina delgada. Como resultado ele confirmou a presença dos minerais primários encontrados e suspeitou da presença de ilita. O autor realizou também difratometria do material da fração argila, concentrada e separada do pó da rocha via sedimentação e pipetagem, com as lâminas preparadas pelo método do esfregão. Observou os mesmos minerais encontrados anteriormente, bem como a presença do mineral secundário caulinita. Concluiu então que há neoformação de minerais em todos os níveis estudados, porém, em percentuais pequenos em relação à rocha.

Também foi realizada a análise da evolução micro-estrutural da rocha por Barroso (1993), onde este percebeu que com o aumento do grau de intemperismo surgem fissuras intergranulares (no contato entre os grãos), as quais inicialmente se propagam preferencialmente paralelas à foliação metamórfica (figura 9.a) e, em estágios mais avançados de intemperismo, se propagam em direções oblíquas à foliação (figura 9.b).





**Figura 9: Evolução do microfraturamento nos estágios iniciais de alteração da rocha.**  
**Fonte: Barroso (1993)**

As composições químicas apresentadas na tabela 2 são referentes aos gnaisses quartzo-feldspáticos (leptinitos), em quatro estágios de alteração (I – rocha sã a IV – rocha muito alterada), estudados por Barroso (1993).

**Tabela 2: Dados químicos de quatro estágio de alteração em Leptinito (Barroso,1993).**

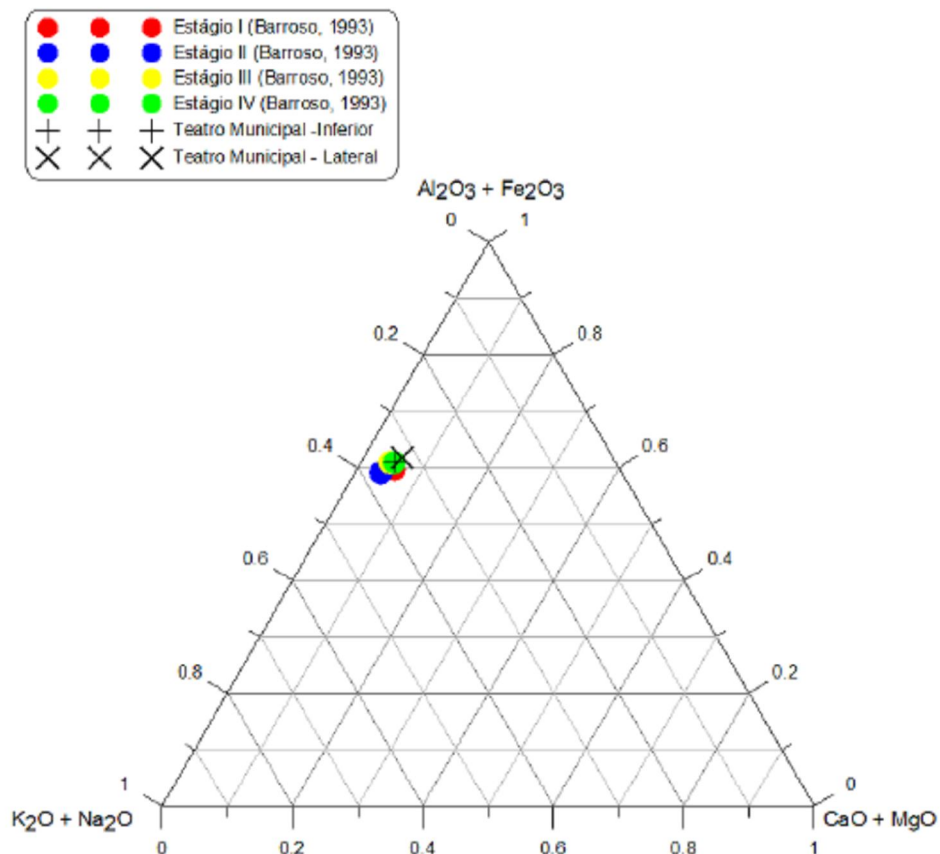
| ÓXIDOS (%)                     | Estágios de Alteração |        |        |        |
|--------------------------------|-----------------------|--------|--------|--------|
|                                | I                     | II     | III    | IV     |
| SiO <sub>2</sub>               | 74,60                 | 74,50  | 74,00  | 73,40  |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 13,60                 | 13,80  | 14,20  | 14,20  |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 0,40                  | 0,29   | 0,40   | 0,89   |
| FeO                            | 0,99                  | 1,00   | 0,99   | 1,00   |
| CaO                            | 1,20                  | 0,87   | 0,95   | 1,10   |
| MgO                            | 0,13                  | 0,10   | 0,10   | 0,17   |
| Na <sub>2</sub> O              | 3,20                  | 3,00   | 3,10   | 3,00   |
| K <sub>2</sub> O               | 4,90                  | 5,80   | 5,20   | 5,40   |
| MnO                            | 0,04                  | 0,05   | 0,04   | 0,05   |
| TiO <sub>2</sub>               | 0,18                  | 0,10   | 0,14   | 0,20   |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>  | 0,09                  | 0,09   | 0,09   | 0,10   |
| Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 0,003                 | 0,003  | 0,003  | 0,003  |
| NiO                            | 0,003                 | 0,003  | 0,003  | 0,003  |
| F                              | 0,037                 | 0,038  | 0,022  | 0,043  |
| P.F.                           | 0,60                  | 0,52   | 0,93   | 0,56   |
| TOTAL                          | 99,97                 | 100,06 | 100,06 | 100,11 |

Silva (2005), realizou a análise química total (tabela 3) com o objetivo de tentar esclarecer o processo de intemperismo químico, bem como acessar a intensidade de alteração da matriz dos gnaisses, tomando como base dados já disponíveis na literatura.

**Tabela 3: Composição química de gnaisses encontrados no Teatro Municipal (Silva, 2005)**

| ÓXIDOS (%)                     | TEATRO MUNICIPAL<br>(Face Av. Rio Branco) |                                     |
|--------------------------------|---|-------------------------------------|
|                                | Primeira Lateral<br>(Placa Inferior)      | Segunda Lateral<br>(Placa Superior) |
| SiO <sub>2</sub>               | 74,12                                     | 73,12                               |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 13,29                                     | 13,92                               |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 1,76                                      | 1,13                                |
| CaO                            | 1,12                                      | 1,08                                |
| MgO                            | 0,31                                      | 0,23                                |
| Na <sub>2</sub> O              | 2,99                                      | 3,22                                |
| K <sub>2</sub> O               | 4,88                                      | 5,07                                |
| MnO                            | 0,06                                      | 0,03                                |
| TiO <sub>2</sub>               | 0,16                                      | 0,13                                |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>  | 0,19                                      | 0,16                                |
| TOTAL                          | 98,88                                     | 98,09                               |

Silva, (2005) avaliou os eventuais processos geoquímicos de lixiviação dos álcalis e concentração do ferro e alumínio através de um diagrama triangular (figura 10). Nele foram locados pontos referentes às rochas do Teatro Municipal e de Barroso (1993), conforme legenda. O autor notou que não há diferenças perceptíveis entre as amostras e, além disso, também não é possível distinguir qualquer trajetória que confirme o enriquecimento relativo de ferro e alumínio e empobrecimento dos álcalis e de magnésio e cálcio.



**Figura 10: Diagrama das composições químicas das rochas estudadas por Barroso (1993) e Silva (2005). Fonte: Silva (2005).**

## 2.4 Morfologias de Alteração

As morfologias de alteração representam a manifestação visível do resultado conjunto dos processos de intemperismo e também de ações antrópicas. São denominadas por alguns autores como patologias da rocha no ambiente construído.

A identificação das morfologias e o seu mapeamento nas construções são importantes passos metodológicos em estudos de conservação do patrimônio arquitetônico. Podem indicar os processos mais relevantes que conduzem à degradação das rochas, bem como as fachadas, elementos arquitetônicos e regiões da construção em estado mais crítico (Silva, 2007).

Existem algumas classificações na literatura estrangeira, baseadas principalmente em arenitos e calcários, das quais se destacam as classificações de Urmeneta (1997), Fitzner & Henrichs (2004) e Henriques *et al.* (2005).

Urmeneta (1997) propôs a classificação apresentada na tabela 4, desenvolvida em seu estudo na cidade de Zamora (Espanha) onde predominam arenitos e conglomerados nas construções medievais. O sistema proposto por Fitzner & Henrichs (2004), embora não seja específico para qualquer tipo de rocha, devido ao seu grau de detalhamento e complexibilidade, torna-se de difícil aplicação. Já a classificação proposta por Henriques *et al.* (2005), baseada em 28 formas e mais simples, foi considerada mais adequada aos propósitos de trabalhos deste tipo (tabela5).

Tabela 4: Classificação da classificação das morfologias de alteração segundo Urmeneta (1997).

| Denominação Primária    | Denominação Secundária | Definição  | Características (efeitos)   | Causas (origem-ambiente e clima)   | Observação   |
|-------------------------|------------------------|--|---|--|--|
| Manchamento superficial | Pátinas                | As pátinas são modificações superficiais que não implicam necessariamente no processo de degradação ou deterioração. | Capas ou películas delgadas e superficiais.   | Quanto à origem as pátinas são constituídas fundamentalmente por oxalatos cálcicos hidratados. | Oxalatos → materiais orgânicos (se formam a partir de substâncias orgânicas).  |
|                         | Crostas                | O desenvolvimento intenso de pátinas pode ser chamado de crostas.  | Quando seu aspecto e efeito destrutivo são mais agressivos.   |  |  |
| Alterações Cromáticas   | Pátina Laranja         | Constitui uma modificação cromática que recobre a superfície dos monumentos  | Apresenta aspecto de uma película ou pintura. Encontra-se amplamente disseminada chegando a revestir quase por completo e de forma homogênea alguns monumentos. | Encontra-se diretamente ligada as rochas e se desprende dela por diferentes mecanismos.        | Espessura variável podendo alcançar até 0,4 mm. Apresenta aparência de uma pasta que recobre homoganeamente tanto os clastos como o cimento da rocha-matriz.<br><br>(oxalatos de cálcio, líquens crustáceos e material particulado). |

| Denominação Primária  | Denominação Secundária | Definição   | Características (efeitos)  | Causas (origem-ambiente e clima)  | Observação   |
|-----------------------|------------------------|---|--|---|--|
|                       | Pátina Negra           | É uma alteração cromática superficial da rocha que proporciona uma cor escura ou negra. | Desenvolve-se sob o aspecto de manchas sobre os muros dos edifícios.   | Locais onde há presença de umidade e sombra.                              | As manchas apresentam poucos metros quadrados.<br>Presença de líquens, algas verdes e material particulado. (caulinita e esmectitas e calcita)   |
| Alterações Cromáticas | Pátina Artificial      | Tratamentos aplicados para a proteção dos monumentos.                                   | Transformação do tempo dos produtos aplicados por diversos mecanismos biológicos e não biológicos, que podem gerar minerais estáveis | Biodemolição (biodestruição) de proteínas complexas como a fosfoproteína. | “pátina laranja” da cidade de Zamora, segundo hipóteses levantadas por alguns autores podem ser de origem artificial.<br><br>A natureza silícica da rocha com uma pequena percentagem em cálcio ( $\text{CaO} < 0,17\%$ ) e também proveniente dos produtos empregados para a proteção do monumento. |

| Denominação.<br>Primária       | Denominação<br>Secundária | Definição  | Características<br>(efeitos)                | Causas (origem-ambiente e<br>clima)                               | Observação   |
|--------------------------------|---------------------------|--|---|---|--|
| Eliminação ou perda de matéria | Erosão                    | Perda gradual de matéria por um processo mecânico.     | Redução ou rebaixamento do relevo           | Na maior parte das vezes, promovida pela ação do vento e da chuva | Arredondamento das formas.                                 |
|                                | Desagregação              | Enfraquecimento das qualidades de resistência da rocha | Falta de coesão superficial                 | Alteração do mineral<br>Dilatação térmica                         | Perda de parte da rocha geralmente acompanhando a foliação |
|                                | Arenização                | Estado avançado de perda de coesão interna.            | Queda de material rochoso de “grão a grão”. | Desagregação granular   | Perda gradual do material pétreo                           |

| Denominação Primária           | Denominação Secundária | Definição  | Características (efeitos)   | Causas (origem-ambiente e clima)                          | Observação   |
|--------------------------------|------------------------|--|---|---|--|
| Eliminação ou perda de matéria | Descimentação          | Redução ou perda de cimento ou matriz de um material rochoso   | Processo de dissolução  | Desagregação granular.                                    | Perda gradual do material pétreo   |
|                                | Rupturas               | As rupturas ocorrem perpendicularmente à superfície da rocha.  | Descontinuidade macroscópica planar de origens e tamanhos variáveis   | Dilatação térmica causada pela insolação                  | São subdividas em dois subgrupos: fissuras, e em fendas, que são fraturas e ou fissuras abertas. |
|                                | Disjunções             | São formas de alteração presentes em uma rocha que implicam na separação de partes paralelas à superfície da rocha | Descamação, levantamento e separação de fragmentos da rocha, paralelamente à superfície da mesma; e deslocamentos, semelhantes à descamação, contudo com lâminas de rocha extensas, de vários milímetros de espessura e geralmente rígidas. | Dilatação térmica causada pela insolação e erosão eólica. | Disjunções. São subdividas em dois subgrupos: descamação e deslocamento.                         |



**Tabela 5: Classificação das morfologias de alteração segundo Henriques et. al. (2005).**

| <b>Forma de alteração</b> | <b>Definição</b>   |
|---------------------------|--|
| Alteração Cromática       | Variação de um ou mais parâmetros definidores de cor. Pode apresentar-se com aspectos diversos e atingir zonas amplas ou localizadas.  |
| Alveolização              | Degradação manifestada sob a forma de múltiplas cavidades de dimensões variáveis (alvéolos), com área de abertura para o exterior de dimensão sub-centimétrica.                                  |
| Bolha                     | Elevações superficiais e localizadas do material, assumindo formas e consistências variáveis.  |
| Colonização Biológica     | Estrato superficial geralmente fino, de natureza biológica e coloração diversa, do tipo das algas e líquens.   |
| Concreção                 | Depósito compacto à superfície do material de extensão limitada com desenvolvimento preferencial não paralelo a essa superfície. Pode assumir as formas do tipo estalagmítico ou estalagmítico.  |
| Crosta                    | Parte mais exterior do material modificada por deposição de substâncias exógenas ou de produtos de tratamento. Apresenta espessura variável e características distintas das do interior.         |
| Deformação                | Termo genérico que se aplica a qualquer transformação traduzida pela variação da distância entre pontos do corpo considerado.  |
| Depósito Superficial      | Camada resultante da acumulação de materiais estranhos na superfície, geralmente pouco aderente e de fraca coesão.   |
| Desagregação granular     | Perda de coesão que se traduz pelo fácil destaque de partículas de dimensão areia, mesmo com esforços mecânicos de fraca intensidade.  |
| Eflorescência             | Formação de agregados cristalinos, geralmente de fraca coesão e de cor clara. Se a formação ocorrer abaixo da superfície, provocando bolhas ou destaques, designa-se cripto fluorescência.       |
| Empolamento               | Existência de camada superficial não aderente ao substrato; em geral antecede a queda do material  |
| Erosão                    | Termo genérico caracterizado pela perda de massa da superfície do material. Frequentemente assume uma morfologia contrastante com as zonas vizinhas, designando-se então por erosão diferencial. |
| Escamação ou Descamação   | Destaque total ou parcial de escamas (fragmentos achatados com extensão reduzida e espessura inferior a 0,5 cm).   |
| Esfoliação                | Divisão múltipla em lâminas finas paralelas entre si.  |
| Fissura                   | Caso particular de fratura em que pelo menos uma das extremidades não atinja o contorno do objeto em questão.  |
| Fratura                   | Superfície de ruptura que divide o objeto em partes distintas podendo implicar o afastamento recíproco das partes fraturadas.  |
| Incrustação               | Depósito estratiforme, compacto e em geral aderente ao substrato, composto por substâncias inorgânicas ou de natureza biológica.   |
| Junta aberta              | Zona de descontinuidade entre dois elementos com perda do material de refechamento utilizado.  |
| Lacuna                    | Ausência de material resultante de queda ou perda.   |
| Lascagem                  | Destaque de fragmentos de extensão lateral reduzida e espessura centimétrica, subparalelos à superfície.   |
| Mancha                    | Alteração Cromática numa zona circunscrita e contrastante com as zonas vizinhas  |

|                       |  |
|-----------------------|--|
| Pátina                | Alteração do aspecto visual por modificações incipientes da superfície, mas sem degradação perceptível.                          |
| Película              | Depósito superficial de pequena espessura e grande continuidade lateral, cuja interface com o substrato é claramente marcada.    |
| Picadura ou picamento | Degradação que se manifesta através da formação de cavidades tendencialmente esféricas ou cilíndricas com dimensões milimétricas |
| Placa                 | Destaque de fragmentos achatados paralelo à superfície, com grande extensão lateral e espessura superior a meio centímetro.      |
| Plaqueta              | Destaque de fragmentos achatados paralelo à superfície, com grande extensão lateral e espessura inferior a meio centímetro.      |
| Pulverização          | Perda de coesão da superfície que conduz ao desprendimento de material sob a forma de pó ou grânulos.                            |
| Vegetação             | Presença de manifestações biológicas do tipo dos musgos e plantas de ordem superior.   |

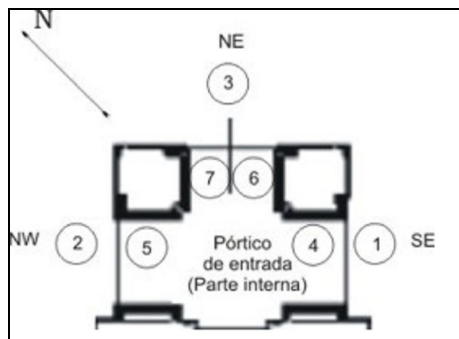
### 3 METODOLOGIA

#### 3.1. Mapeamento das formas de alteração

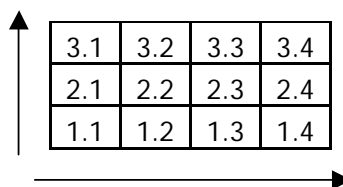
Para suportar o mapeamento das formas de alteração foi elaborado por Farroco *et al.* (2007) um sistema de classificação das morfologias de alteração, para qual foram levados em consideração os trabalhos de Urmeneta (1997), Fitzner & Henrichs (2004) e Henriques *et al.* (2005) e as observações feitas em campo. Vale ressaltar que a grande experiência dos autores citados, todos europeus, está relacionada com as formas de alteração encontradas em rochas sedimentares, principalmente, em arenitos e calcários, enquanto o objeto de estudo escolhido para esse trabalho é um monumento cuja rocha de cantaria é um gnaisse, uma rocha cujos problemas são ainda pouco abordados na literatura. Portanto a classificação proposta, embora apresente semelhanças com aquela proposta por Henriques *et al.* (2005), tem como objetivo principal a aplicabilidade para todos os tipos de rochas utilizadas como cantaria.

Para mapeamento dessas morfologias foram realizadas diversas idas a Igreja da Glória, e para a realização desta tarefa foram utilizados como instrumento fotografias das fachadas e colunas, acetato, caneta de retroprojeter, fita métrica, bússola, canivete, giz e paquímetro. As fachadas podem ser identificadas seguindo o esquema da figura 11 e os blocos de cada fachada foram identificados com números, da seguinte forma: o primeiro corresponde a sua fileira, crescente de baixo para cima, e o segundo a sua coluna, sempre aumentando da esquerda para a direita (figura 12).

O processamento dos dados obtidos no campo foi realizado no software Arc Gis, onde as patologias foram digitalizadas sobre imagens das fachadas e posteriormente analisadas.



**Figura 11:** Fachadas estudadas na área externa ao pórtico: 1- voltada para a Marina da Glória (SE); 2 – voltada para o Catete (NW) e 3 – fachada frontal (NE). Fachadas na área interna ao pórtico: 4 e 5 – voltadas para a porta da Igreja (SW); 6 – fachada voltada para o Catete (NW) e 7 – fachada voltada para a Marina da Glória.



**Figura 12:** Esquema de identificação dos blocos nas fachadas

### 3.2. Cadastro de testes da matriz

O cadastro de testes da matriz (tabela 6) para a descrição da alteração das rochas, modificado de Barroso (1993), tem como função auxiliar na descrição e classificação de rochas, encontradas nos mais variados estágios de alteração.

O cadastro de teste da matriz mostra que a partir de uma descrição sucinta do tipo litológico é possível realizar uma verificação quantitativa do grau de intemperismo. Atribuem-se valores, a cada mineral constituinte da rocha e observável a olho nu, que se apresentam crescentes com o aumento do grau de intemperismo físico-químico.

**Tabela 6: Cadastro de testes da matriz (Modificado de Barroso, 1993)**

| <b>CADASTRO DE TESES DA MATRIZ</b>   |  |
|--|--|
| <b>A - Breve descrição da rocha</b>  |  |
| <b>B - Caracterização da alteração Química (por mineral)</b>                 |  |
|  | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. inalterado</li> <li>2. sem brilho ou reduzido</li> <li>3. descolorido ou cor alterada</li> <li>4. argilização na superfície</li> <li>5. totalmente argilizado</li> <li>6. oxidado</li> </ol> |
| <b>C - Caracterização da Desagregação Física</b>                             |  |
| <b>C, a. Risco do canivete e da unha (por mineral)</b>                       |  |
|  | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. nenhum arranhão</li> <li>2. arranhado com dificuldade pelo canivete</li> <li>3. arranhado facilmente pelo canivete</li> <li>4. arranhado pela unha</li> </ol>                                |
| <b>C, d. Facilidade de ser arrancado do arcaçouço da rocha (por mineral)</b> |  |
|  | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. não pode ser arrancado</li> <li>2. arrancado com dificuldade pelo canivete</li> <li>3. facilmente arrancados pelo canivete</li> </ol>  |

### 3.3. Microscopia por luz transmitida

A microscopia por luz transmitida foi utilizada para avaliação das condições mineralógicas, texturais e estruturais da rocha, verificando desta forma o seu grau de degradação.

Através da impregnação da lâmina com corante Azul de Ceres GN estimou-se a porosidade secundária (microfissuras) da rocha estudada utilizando-se da técnica de contagem de pontos em lâmina delgada. Realizou-se também a análise mineralógica da rocha para identificar os seus minerais constituintes assim como qualquer alteração dos mesmos, tanto química quanto física.

### **3.4. Difração de raios-X (DRX)**

Para caracterização e qualificação dos argilominerais presentes no gnaiss estudado foi utilizado o método de difração de raios-X. A difração de raios-X foi executada no aparelho Rigaku-Termoflex, com contador proporcional, cpu de 5K, "varredura" de 4, velocidade do papel de 40mm/min e t.c. de 1.

Na etapa de preparação as amostras de rocha foram pulverizadas em moinho e parte desta foi colocada em proveta com água destilada. Após cerca de 10 minutos foi retirada uma fração da solução e gotejada na lâmina, para que esta fosse lida no aparelho assim que seca.

### **3.5. Microscopia eletrônica de varredura (MEV)**

Na Microscopia eletrônica de varredura a amostra é bombardeada por um feixe de elétrons podendo-se realizar análises qualitativas e quantitativas. A análise qualitativa é feita através da identificação das linhas do espectro característico de raios-X dos elementos emissores, já a análise quantitativa é realizada através da comparação da intensidade da radiação com a radiação emanada de uma substância de composição química conhecida tomada como padrão.

Para a preparação da amostra, íons de argônio, bombardeiam uma chapa de ouro em ambiente submetido a vácuo, fazendo com que partículas de ouro se depositem sobre a amostra. Devido a amostra ter formato irregular utilizou-se de uma cola feita com prata para melhorar a transmissão.

### 3.6. Cromatografia iônica e absorção atômica

O processo cromatográfico consiste na partição dos componentes de uma mistura entre a fase móvel e a fase estacionária. Na cromatografia líquida a fase estacionária é constituída de partículas sólidas empacotadas em uma coluna, a qual é atravessada pela fase móvel. As forças físicas e químicas que atuam entre os solutos e as 2 fases são responsáveis pela retenção dos solutos sobre a coluna cromatográfica. A diferença de magnitude dessas forças determina a resolução e, portanto, a separação dos solutos individuais.

As forças elementares que agem sobre as moléculas são de cinco tipos: Forças de Van der Waals; interações de dipolo induzido; ligações de hidrogênio; interações dielétricas e interações eletrostáticas e coulumbianas. As variáveis que afetam essas forças intermoleculares irão influenciar o grau de separação obtido pela passagem através dessa coluna cromatográfica.

Para calibração do Cromatógrafo Iônico (DX-100 Ion Chromatograph - DIONEX), injetou-se 4 padrões que continham todos os ânions a serem analisados.

A preparação da amostra (modificado de Baptista-Neto *et. al*, 2006) se iniciou com moagem da amostra, da qual coletou-se 0,5g que foi misturada com 5mL de água tridestilada. A amostra foi agitada durante 2hs e posteriormente filtrada com membrana de acetato de celulose 0,45mm (SARTORIUS) com a ajuda de bomba a vácuo, em seguida filtrou-se a amostra com membrana de acetato de celulose 0,22mm (TPP);

Os ânions são identificados de acordo com o tempo de saída de cada pico e as concentrações estão relacionadas a área de cada pico.

O método absorção atômica se baseia na propriedade de emissão espectral, que é uma propriedade do átomo, sendo utilizada para identificar os elementos constituintes da solução analisada.

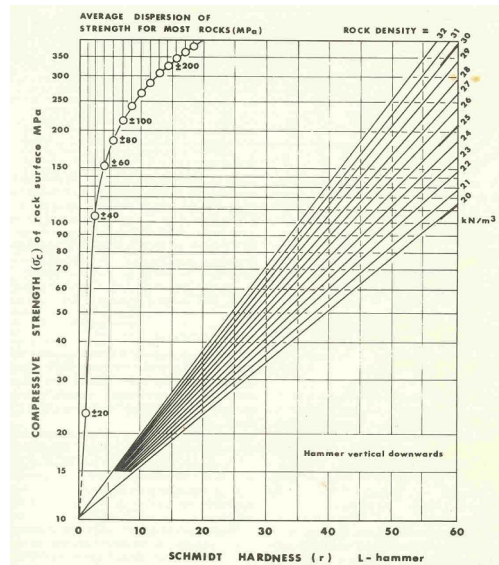
Um feixe de luz excita o átomo, afastando os elétrons do núcleo, o elétron então volta ao seu estado inicial, pois o átomo é instável. Esse retorno ao estado estável do átomo libera a energia absorvida no processo de instabilização, energia esta que se dá sob forma de radiação eletromagnética (linha espectral). Para a calibração do equipamento prepararam-se 3 padrões para cada cátion estudado, construindo-se então curvas que relacionem as concentrações com os valores de absorvância. Para que o padrão seja aceito é necessário que a curva tenha  $R^2$  superior a 0,99.

A preparação da amostra para absorção atômica (Modificado de Baptista-Neto et al, 2006) se iniciou com a moagem das amostras; seguida de adição de 2 g de amostra moída em 10mL de água deionizada. Essa amostra foi agitada durante 2hs e posteriormente centrifugada durante 5 minutos a 10.000 rpm. Ocorre então a diluição de 5mL do sobrenadante em um balão de 50mL. A amostra, de concentração desconhecida, é absorvida pelo aparelho e a absorvância lida é interpolada na curva de calibração, encontrando-se a sua concentração.

### **3.7. Avaliação geomecânica**

Para a avaliação geomecânica o método escolhido e utilizado em campo foi o Martelo de Schmidt, que consiste na aplicação de impacto sobre a superfície da rocha e a posterior medida do índice de reflexão de uma haste metálica impulsionada por uma mola. O índice de reflexão, também chamado de índice de esclerometria, mede a dureza superficial da superfície sob teste e pode ser relacionado por meio de uma curva empírica de correlação com a resistência da superfície da rocha (ISRM, 1981) (figura 13).





**Figura 13: Curva empírica de correlação com a resistência da superfície da rocha**

Trata-se, portanto, de um ensaio que avalia a dureza superficial da rocha e a relaciona com sua resistência à compressão (Medeiros & Helene, 2007). Os dados obtidos com o Martelo de Schmidt devem ser entendidos como índices de esclerometria, uma vez que não foram realizadas correlações com a resistência à compressão simples para os gnaisses presentes na cantaria de Igreja da Glória.

Em cada bloco estudado fez-se uma malha quadrada regular de amostragem com 5 cm de espaçamento. Em cada nó destas malhas foi realizado um teste com o Martelo de Schmidt. Foram elaborados mapas de contorno com o “software” SURPHER, usando a técnica da krigagem para interpolação dos dados, que serviram para avaliar o quão degradado, do ponto de vista mecânico, se encontravam os blocos dos gnaisses.

## 4. RESULTADOS

### 4.1. Mapeamento das formas de alteração

A observação das morfologias presentes nas rochas do objeto de estudo e a revisão da bibliografia realizada permitiu a proposição de um sistema de classificação (tabelas 7, 8, 9 e 10) das formas de alteração organizado em 4 grupos principais e separados pela suas formas de atuação.

**Tabela 7 : Grupo 1 - Perda de Coesão**

|                              |   |
|------------------------------|---|
| <b>Desagregação Granular</b> | Perda de coesão do material constituinte da rocha, liberando partículas de tamanho maior ou igual a areia |
| <b>Pulverização</b>          | Perda de coesão da superfície que conduz ao desprendimento do material sob a forma de pó.                 |

**Tabela 8: Grupo 2- Perda de matéria ou Perda de Massa**

|   |                    |  |
|---|--------------------|--|
| <b>Paralela a superfície:</b><br>Fragmentos achatados paralelos a superfície, com espessura e extensões laterais variáveis. | Folhas Individuais | Escama: extensão lateral sub-centimétrica e espessura menor que 0,5cm  |
|   |                    | Plaqueta: extensão lateral centimétrica e espessura menor que 0,5cm  |
|   |                    | Lasca: extensão lateral sub-centimétrica e espessura maior que 0,5cm   |
|   | Folhas Múltiplas   | Placa: extensão lateral centimétrica e espessura maior que 0,5cm   |
|   |                    | Esfoliação   |
| <b>Formação de Cavidades</b>  | Alveolização       | Múltiplas cavidades de dimensões e geometria variadas, com área de abertura para o exterior de dimensão sub-centimétricas. |
| <b>Remoção Mecânica</b>   | Antropogênica      | Retirada de material rochoso de formas, dimensões e causas variadas, por ação do homem.                                    |
|   | Vegetação          | Perda evidente de material pela ação de raízes de vegetais superiores.   |

|  |         |  |
|--|---------|--|
|  | Erosão  | Caracterizada pela remoção de material da superfície ou das bordas dos elementos pétreos, excetuando-se aquelas que são paralelas a superfície, e que resultam em novas superfícies de forma irregular e bordas com tendências arredondadas. |
| <b>Lacuna</b>  |         | Perda de massa em um só evento (queda), não necessariamente relacionada a estruturas do corpo rochoso.   |
| <b>Perda de Argamassa:</b><br>Remoção dos elementos de rejunte, por causas diversas. | Parcial | Ainda se verifica argamassa nas juntas.  |
|  | Total   | A junta se apresenta aberta, podendo ter efeitos estruturais.  |

**Tabela 9: Grupo 3 - Alterações Cromáticas e Depósitos**

|                            |                       |   |
|----------------------------|-----------------------|---|
| <b>Ação de Organismos</b>  | Colonização Biológica | Microorganismos formando estratos superficiais e/ou subsuperficiais.  |
| <b>Eflorescência</b>       |                       | Agregados cristalinos na superfície, de fraca coesão e cor clara.   |
| <b>Alteração Cromática</b> | Pátinas               | Mudança de um ou mais parâmetros da cor, em uma área ampla.   |
|                            | Mancha                | Mudança de um ou mais parâmetros da cor, mas em área restrita e contrastante com as cores da vizinhança.  |
| <b>Depósitos</b>           | Película              | Depósito superficial de pequena espessura e grande continuidade lateral, cuja interface com o substrato é claramente marcada.   |
|                            | Incrustação           | Depósito estratiforme, compacto, em geral aderente ao substrato e composto por substâncias orgânicas  |
|                            | Crosta                | Parte mais exterior do material modificada por deposição de substâncias exógenas ou produtos de tratamento. Apresenta espessura variável e características distintas das encontradas no interior. |
|                            | Depósito Superficial  | Resultante da acumulação de materiais estranhos na superfície, em geral pouco aderente e de fraca coesão.   |
|                            | Tintas                | Pixação   |

**Tabela 10: Grupo 4 - Fissuras, Fraturas e Deformações**

|                     |  |
|---------------------|--|
| <b>Deformação</b>   | Alteração da forma original do corpo considerado, geralmente assumindo formas côncavas ou convexas.  |
| <b>Fratura</b>      | Descontinuidade de superfícies do corpo rochoso gerando abertura milimétrica entre as partes fraturadas, sendo esta abertura persistente ou não. Não apresenta relação com a estrutura da rocha. |
| <b>Fissura</b>      | Descontinuidade de superfícies do corpo rochoso sem abertura das partes em questão. Pode ser persistente ou não. Não apresenta relação com a estrutura da rocha.                                 |
| <b>Descolamento</b> | Desprendimento de camadas nos planos de foliações e acamamento sedimentares.   |

A identificação sistemática e a cartografia dessas morfologias podem ser consideradas uma forma de investigação não destrutiva e muito útil para auxiliar na quantificação do dano das fachadas.

Com relação às morfologias de alteração observadas, as mais graves no monumento pertencem ao grupo II, que corresponde à perda de massa ou material, sendo as mais atuantes Erosão (24,5%) e Plaqueta (6,9%). Vale ressaltar que a morfologia Perda de Argamassa está presente na maioria dos contatos entre os blocos.

Outras morfologias identificadas nas superfícies das rochas são as pertencentes ao grupo III, que corresponde às alterações cromáticas e depósitos superficiais. É visível a presença de películas (25,7%) e manchas (13,7%). Estas morfologias encontram-se distribuídas por toda a parte superior e também na base da edificação, com maior incidência nas áreas internas do pórtico de entrada. Na parte interna há um provável acúmulo de água durante os períodos de precipitação e onde a evaporação é mais lenta devido a menor incidência dos raios solares.

Durante o mapeamento de campo foram encontradas nas fachadas morfologias que correspondem à presença de desagregação granular, escama, alveolização, vegetação superior, colonização biológica, depósito superficial e tinta. Vale ressaltar que embora identificadas,

essas feições não aparecem no mapeamento por terem área muito pequena ou por não serem visíveis nas imagens usadas como base para o mapeamento das fachadas. Neste último caso, as colonizações foram vistas com frequência sob as plaquetas.

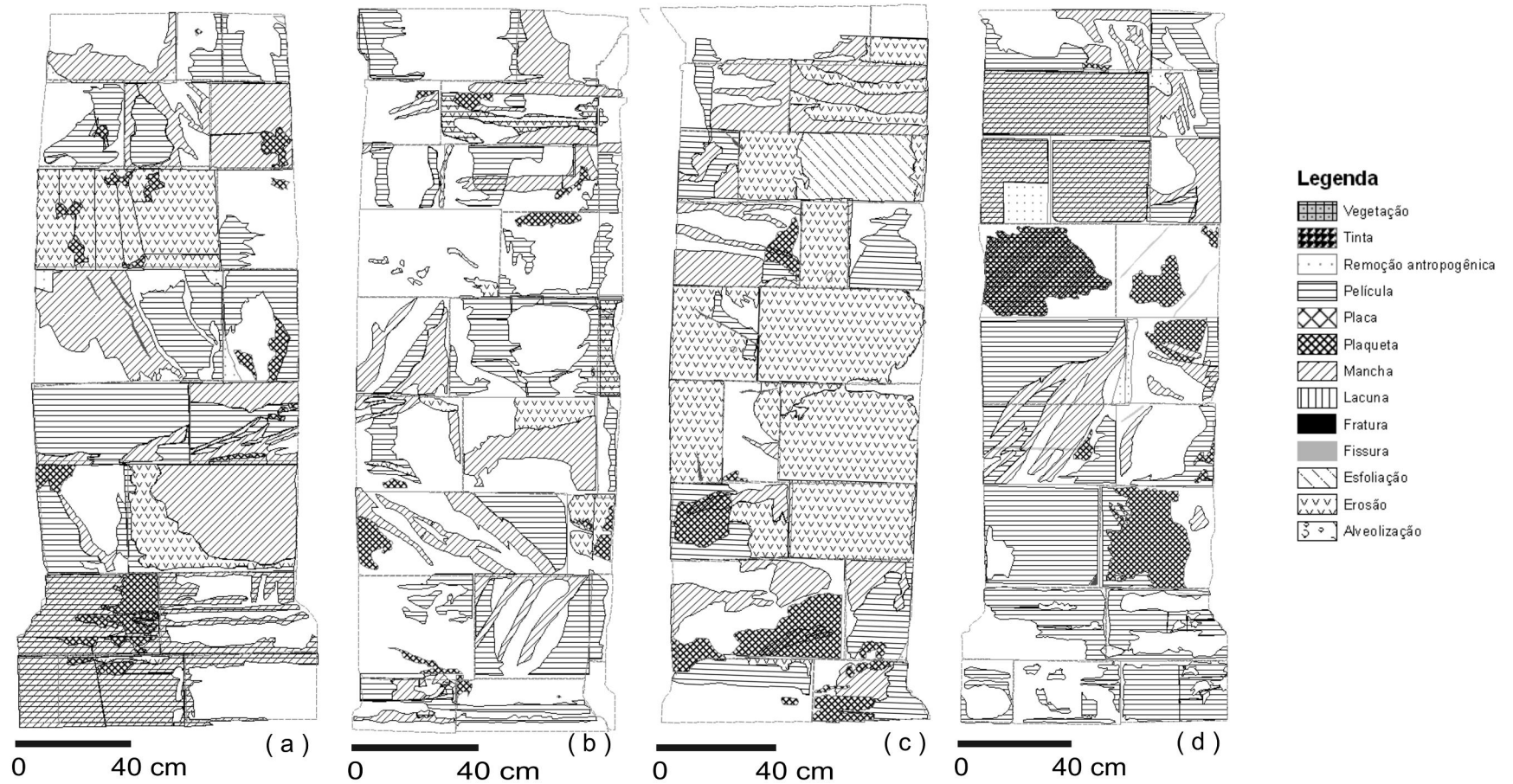
Na tabela 11 estão listados os percentuais de ocorrência (frequência absoluta) de cada patologia. Vale ressaltar que a soma dos percentuais de ocorrência das morfologias de alteração em cada uma das fachadas estudadas não totaliza 100%. Isto se deve ao fato de poder haver sobreposição de morfologias de alteração. O resultado do mapeamento pode ser visto nas figuras 14 e 15.

**Tabela 11: Percentuais de ocorrência das morfologias de alteração em cada fachada**

| Grupo | PATOLOGIAS            | ALTERAÇÃO DAS FACHADAS (%) |      |      |      |      |      |       |
|-------|-----------------------|----------------------------|------|------|------|------|------|-------|
|       |                       | 1                          | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7     |
| 2     | ALVEOLIZAÇÃO          | 0,0                        | 0,0  | 0,1  | 0,0  | 0,0  | 0,0  | 0,0   |
|       | EROSAO                | 8,2                        | 5,0  | 7,5  | 5,3  | 5,3  | 40,2 | 100,0 |
|       | ESFOLIAÇÃO            | 0,3                        | 0,2  | 0,8  | 0,0  | 0,0  | 4,6  | 0,0   |
|       | LACUNA                | 0,3                        | 0,5  | 0,4  | 0,0  | 0,0  | 0,0  | 0,0   |
|       | PLACA                 | 0,7                        | 0,5  | 0,8  | 0,0  | 0,0  | 0,0  | 0,0   |
|       | PLAQUETA              | 6,4                        | 3,9  | 2,9  | 1,9  | 2,2  | 20,3 | 10,8  |
|       | REMOÇÃO ANTROPOGÊNICA | 0,4                        | 0,8  | 1,0  | 0,4  | 0,0  | 0,1  | 2,1   |
|       | VEGETAÇÃO             | 0,0                        | 0,0  | 0,1  | 0,0  | 0,0  | 0,0  | 0,0   |
| 3     | COLONIZAÇÃO BIOLÓGICA | 0,3                        | 0,0  | 0,0  | 0,0  | 0,0  | 0,0  | 0,0   |
|       | DEPÓSITO SUPERFICIAL  | 0,0                        | 0,7  | 0,0  | 0,0  | 0,0  | 0,0  | 0,0   |
|       | MANCHA                | 3,6                        | 5,5  | 7,2  | 15,5 | 14,9 | 22,1 | 27,2  |
|       | PELÍCULA              | 24,4                       | 27,4 | 15,7 | 15,5 | 22,3 | 27,0 | 47,4  |
|       | TINTA                 | 0,1                        | 0,1  | 0,1  | 0,0  | 0,0  | 0,0  | 0,0   |
| 4     | DESCOLAMENTO          | 0,2                        | 0,2  | 0,0  | 0,0  | 0,0  | 0,0  | 0,3   |
|       | FISSURA               | 0,2                        | 0,2  | 0,3  | 0,0  | 0,0  | 0,1  | 0,0   |
|       | FRATURA               | 0,0                        | 0,1  | 0,1  | 0,0  | 0,0  | 0,0  | 0,0   |



**Figura 14: Fachadas digitalizadas no software Arc Gis. (a) Fachada 3 – fachada frontal (NE). (b) Fachada 2 – voltada para o Catete (NW). (c) Fachada 1- voltada para a Marina da Glória (SE).**



**Figura 15: Fachadas digitalizadas no software Arc Gis. (a) Fachada 4 — voltada para a porta da Igreja (SW). (b) Fachada 5 — voltada para a porta da Igreja (SW). (c) Fachada 6- voltada para o Catete (NW). (d) 7 – voltada para a Marina da Glória (SE).**

## 4.2 Cadastro de testes da matriz

A seguir são apresentados os resultados do Cadastro de Testes da Matriz realizados para as rochas gnáissicas das fachadas da Igreja do Outeiro da Glória. Na tabela 12 os dados representam as médias calculadas para ensaios em cada fachada e de modo a se verificar uma eventual influência da orientação geográfica das fachadas no estado de degradação das mesmas, além de mostrar quais minerais estão mais alterados e dessa forma servir como guia para avaliação da alteração. Como podemos observar as fachadas que se encontram, de modo geral, mais alteradas são as internas e os minerais responsáveis por essa alteração são as granadas e biotitas.

**Tabela 12 : Grau de alteração dos minerais utilizando o Cadastro de Testes da Matriz**

| Minerais                      | Fachada |      |      |      |      |      |      | Total |
|-------------------------------|---------|------|------|------|------|------|------|-------|
|                               | 1       | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    |       |
| Biotita                       | 8,0     | 6,7  | 6,5  | 8,0  | 8,0  | 7,0  | 8,0  | 52,2  |
| Granada                       | 9,0     | 9,7  | 8,5  | 9,0  | 7,0  | 10,0 | 11,0 | 64,2  |
| Plagioclásios<br>+ feldspatos | 5,3     | 6,3  | 6,5  | 6,5  | 3,5  | 6,0  | 6,5  | 40,6  |
| Quartzo                       | 4,3     | 6,0  | 5,0  | 5,0  | 4,5  | 5,0  | 5,0  | 34,8  |
| Total                         | 26,6    | 28,7 | 26,5 | 28,5 | 23,0 | 28,0 | 30,5 | -     |

## 4.3 Análises Químicas e Mineralógicas

### 4.3.1 Petrografia por luz transmitida

A análise de lâminas delgadas em microscópio de luz transmitida nos permitiu observar a presença de intemperismo químico e físico. O intemperismo físico é mais atuante na rocha, o que é evidenciado pela presença de microfissuras intergranulares (Figura 16.a) nas lâminas analisadas. Os dados de porosidade podem ser observados na tabela 13. É importante ressaltar

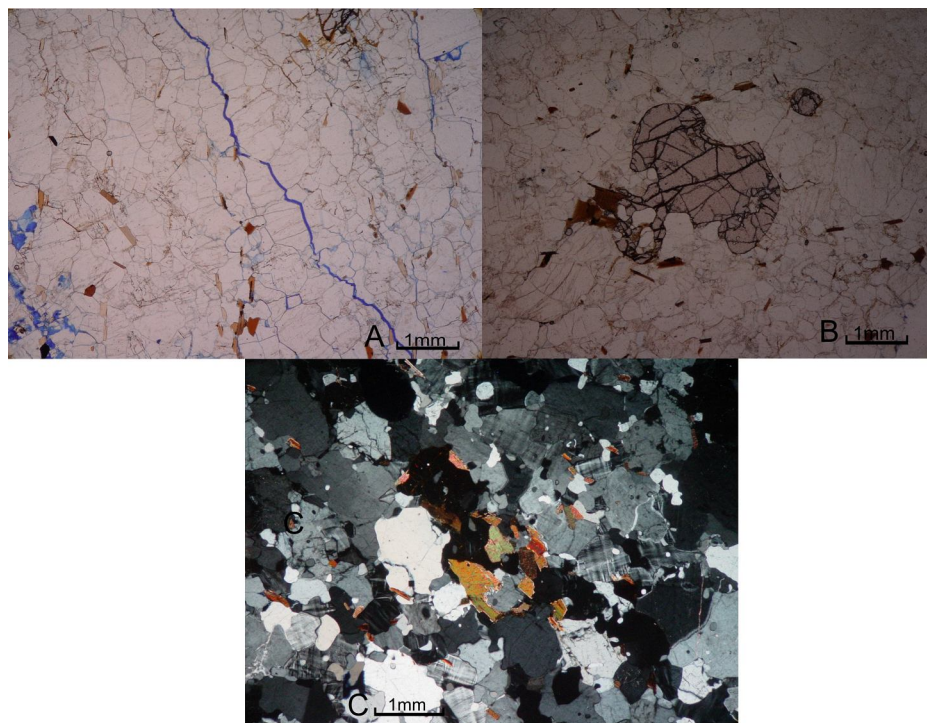


que essas frissuras podem ter sido geradas tanto no momento de extração quanto no ambiente construído.

**Tabela 13: Porosidade secundária nas rochas**

| Lâmina           | Mineral | Porosidade |
|------------------|---------|------------|
| Fachada 1 - 6.2  | 95,90%  | 4,10%      |
| Fachada 1 - 9.2  | 96,20%  | 3,80%      |
| Fachada 3 - 9.5  | 95,30%  | 4,70%      |
| Fachada 2 - 11.2 | 98%     | 2,00%      |
| Fachada 2 - 6.1  | 94,40%  | 5,60%      |
| Fachada 3 -1 5.1 | 96,10%  | 3,90%      |
| Média            | 95,98%  | 4,02%      |

O grau de intemperismo químico das rochas é muito incipiente, com as granadas apresentando percolações de ferro em suas microfissuras (Figura 16.b) e as biotitas apresentando alteração em suas bordas (Figura 16.c) . Não foram observadas alterações dos feldspatos.



**Figura 16: (A) Fissura intergranular; (B) Granada apresentando precipitação de ferro; (C) biotita com cores anômalas de interferência nas bordas.**

### 3.2 Difração de Raios-X

O ensaio de DRX (figura 17) indicou a presença quartzo, feldspatos e mica/ilita. A mica/ilita foi detectada pela difração a  $10\text{\AA}$ , o quartzo através das difrações a  $3,32\text{\AA}$  e  $4,26\text{\AA}$  e os feldspatos pelas difrações  $3,17\text{\AA}$  e  $3,23\text{\AA}$   $\theta(^{\circ})$ .

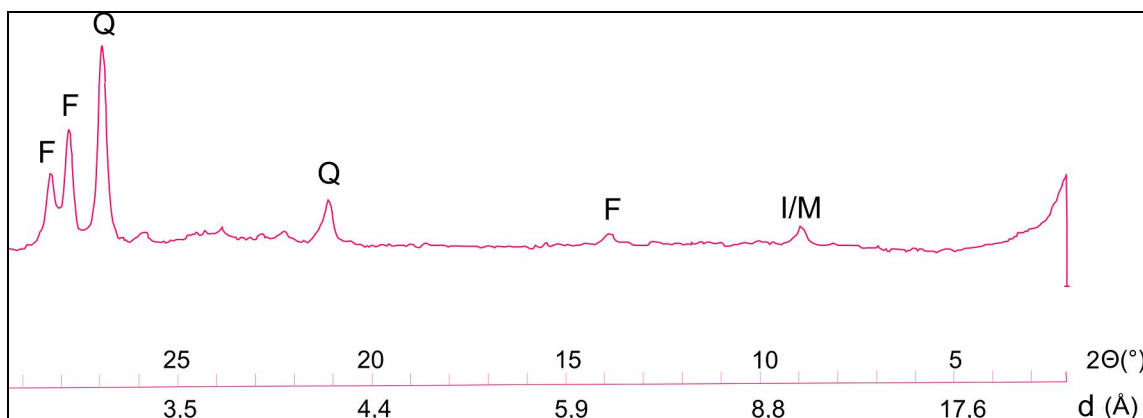


Figura 17: Difratograma de raios-X. Legenda: F-feldspato ; Q- quartzo; I/M – ilita/mica

### 4.3.3 Microscopia Eletrônica de Varredura

A análise química pontual (figura 18) indica a presença de elementos químicos não constituintes dos minerais da rocha, como enxofre e cálcio.

Os picos de carbono encontrados na análise são explicados pela presença de biofilmes que se instalaram na rocha principalmente recobrando os minerais de quartzo (figura 19) por serem minerais mais translúcidos e que permitem uma maior transmissão da luminosidade. Os picos de cálcio encontrados na análise podem ser explicados pela lixiviação dos íons constituintes da argamassa utilizada como rejunte nas fachadas. Chamam a atenção também os

picos de enxofre cuja presença pode estar relacionada à poluição atmosférica ou aos sulfatos.

Deve-se mencionar que não houve controle das datas de amostragem.

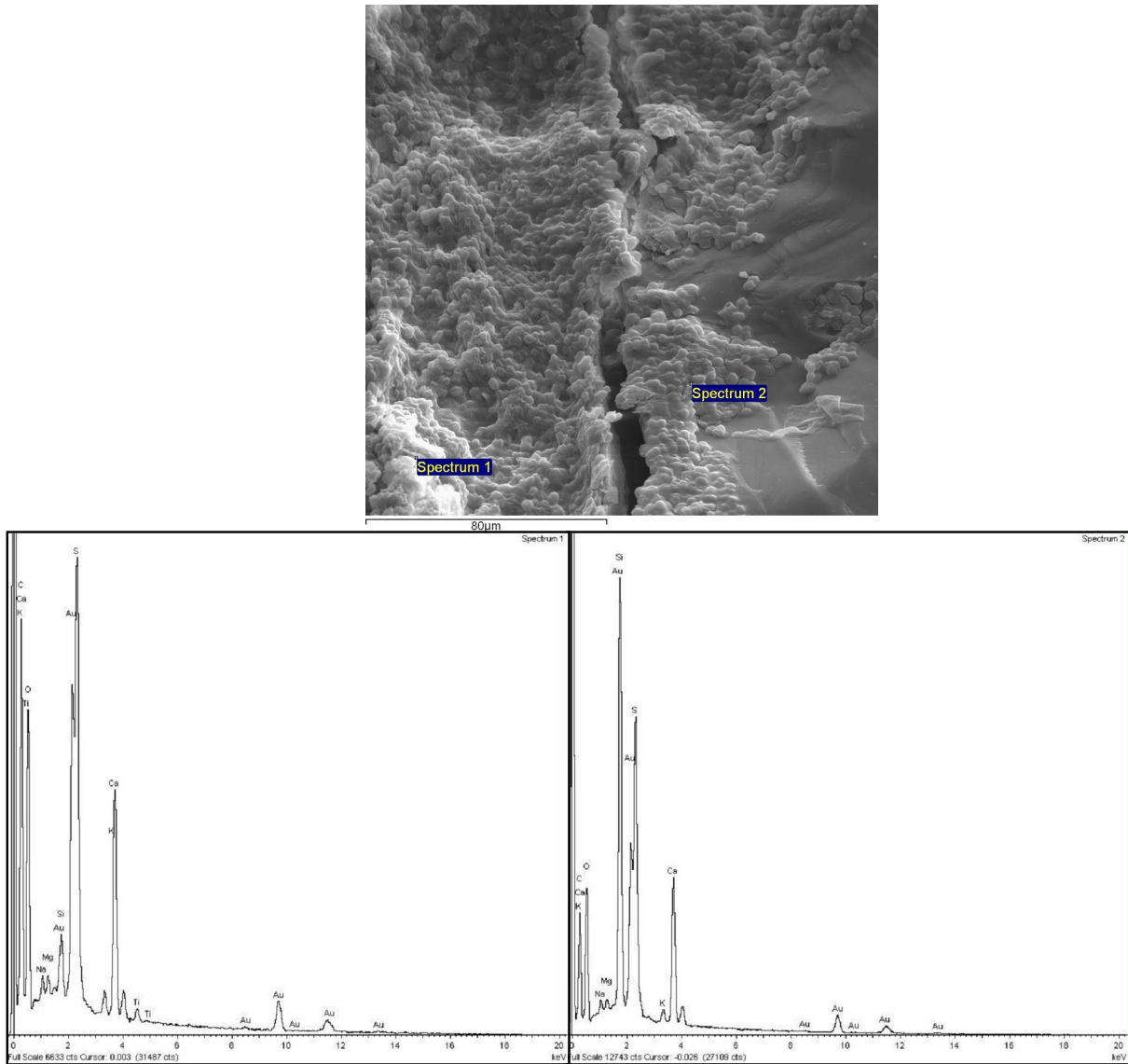
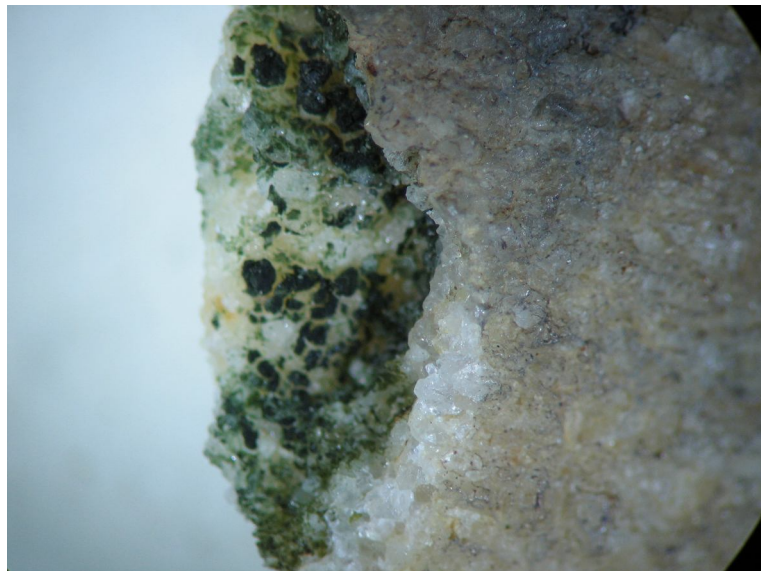


Figura 18: Presença de biofilmes sobre quartzo em imagem de MEV.



**Figura 19: Biofilme recobrando mineral de quartzo. Aumento de 1,2 x.**

#### **4.3.4 Cromatografia Iônica e Absorção Atômica**

A tabela 14 apresenta os resultados dos ânions de sais solúveis obtidos com a cromatografia para as concentrações (em ppm) de fluoretos ( $F^-$ ), cloretos ( $Cl^-$ ), brometos ( $Br^-$ ), nitratos ( $NO_3^{2-}$ ), fosfatos ( $PO_4^{4-}$ ) e sulfatos ( $SO_4^{4-}$ ) para as rochas da fachada. Pode-se perceber dos valores da linha soma que são mais importantes as presenças dos sulfatos, dos cloretos e dos nitratos. Os dois primeiros podem estar relacionados às névoas salinas da água do mar e o último com os excrementos de pombos que habitam a construção.

Com relação aos sulfatos as maiores concentrações são encontradas na fachada voltada para o NE (fachada 3) e não naquela mais diretamente voltada para a Baía de Guanabara (fachada 1), como era de se esperar. De modo geral a distribuição com relação a altura na fachada não está claramente definida, ou seja, não mostra qualquer tendência. Observações semelhantes podem ser feitas com relação aos cloretos. Já os nitratos apresentam concentrações bem menores do que os cloretos e sulfatos e, a exceção de duas amostras, as

demais apresentam concentrações maiores nas partes mais altas da fachada. Deve-se mencionar que não houve controle das datas de amostragem, o que pode explicar a ausência de tendências.

**Tabela 14 : Concentração dos ânions nos blocos das fachadas. Análise realizada por cromatografia iônica**

| Fachada | Bloco | Ânion (ppm)    |                 |                 |                  |                  |                  |
|---------|-------|----------------|-----------------|-----------------|------------------|------------------|------------------|
|         |       | F <sup>-</sup> | Cl <sup>-</sup> | Br <sup>-</sup> | NO <sup>-3</sup> | PO <sup>-3</sup> | SO <sup>-2</sup> |
| 1       | 14.4  | 1,1            | 3,51            | < 0,02          | 8,35             | 0,69             | 11,5             |
| 1       | 9.2   | 3,2            | 14,3            | < 0,02          | 3,23             | 0,75             | 11,9             |
| 1       | 7.2   | 1,21           | 2,4             | < 0,02          | 1,66             | 0,57             | 3,69             |
| 1       | 6.2   | 1,38           | 2,4             | < 0,02          | 18,6             | 0,89             | 10,7             |
| 2       | 11.2  | 2,4            | 25,4            | < 0,02          | 7,11             | 3,76             | 13,2             |
| 2       | 8.2   | 2,63           | 3,8             | < 0,02          | 2,63             | 6,21             | 18,5             |
| 2       | 6.1   | 1,88           | 4,06            | 0,79            | 2,09             | 0,67             | 8,97             |
| 2       | 5.1   | 2,15           | 3,32            | < 0,02          | 3,17             | 3,58             | 13,8             |
| 3       | 9.5   | 1,2            | 3,71            | < 0,02          | 6,88             | 0,42             | 29,7             |
| 3       | 5.1   | 2,1            | 4,97            | < 0,02          | 4,12             | 1,44             | 23,7             |
| 3       | 4.3   | 0,38           | 44,7            | < 0,02          | 12,6             | 1,49             | 9,02             |
| 3       | 3.5   | 1,3            | 10,1            | < 0,02          | 3,58             | 13,1             | 20,7             |
| 3       | 1.5   | 6,4            | 11,5            | < 0,02          | 4,08             | 1,6              | 15,8             |
| 6       | 8.2   | 1,24           | 21,75           | 0,82            | 24               | < 0,04           | 36,5             |
| 6       | 4.1   | 4,3            | 4,02            | < 0,02          | 11,4             | 0,5              | 16,6             |
| Soma    |       | 32,87          | 159,94          | 1,61            | 113,5            | 35,67            | 244,28           |

Com o objetivo de avaliar uma possível concentração de ânions em função da posição das fachadas, procurou-se obter correlações de NO<sub>3</sub><sup>-</sup>/Cl<sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>/NO<sub>3</sub><sup>-</sup> e SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>/Cl<sup>-</sup> através de construções de gráficos (figura 20). A escolha desses ânions deve-se a esses serem os que apresentam maiores concentrações. Os resultados mostram que não existem relações em diferentes fachadas nem na mesma fachada.

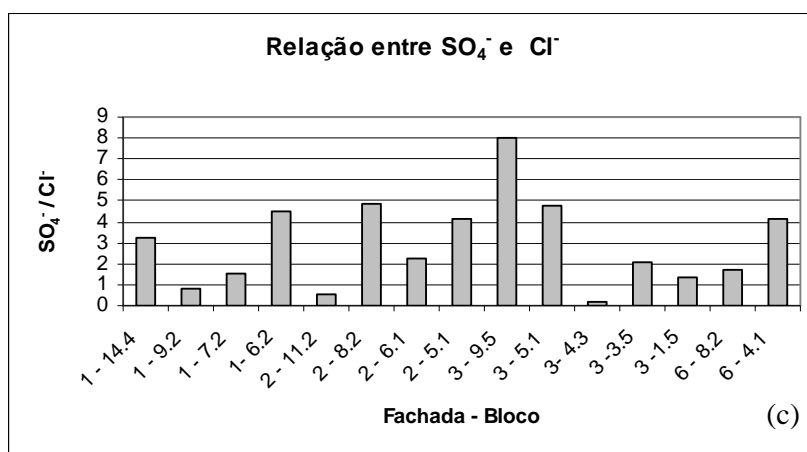
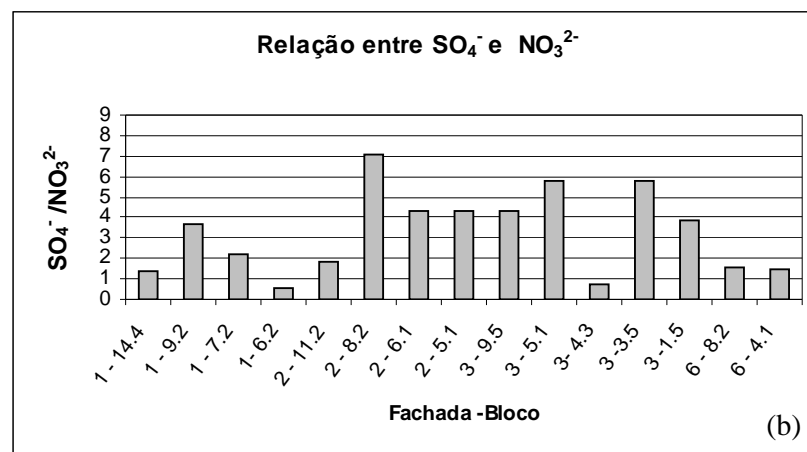
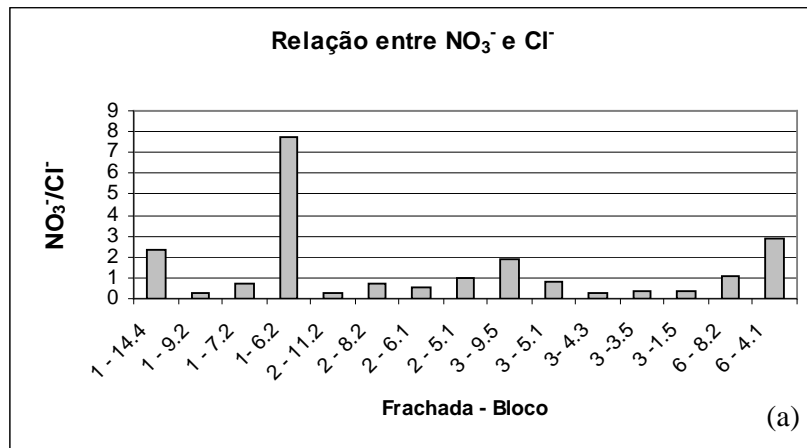


Figure 20 :Gráficos da concentração de ânions em função da posição das fachadas. (a)  $\text{NO}_3^-/\text{Cl}^-$ , (b)  $\text{SO}_4^{2-}/\text{NO}_3^-$  e (c)  $\text{SO}_4^{2-}/\text{Cl}^-$

A tabela 15 apresenta os resultados dos cátions de sais solúveis obtidos com a absorção atômica para as concentrações (em ppm) de sódio (Na), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), ferro total (Fe), manganês (Mn), zinco (Zn), cobre (Cu) e níquel (Ni). Pode-se perceber dos valores da linha soma que são mais importantes às presenças do sódio, potássio, ferro e magnésio. Sódio, potássio e magnésio podem estar relacionados às névoas salinas da água do mar, e o ferro pode estar relacionado a oxidação da granada. De modo geral a distribuição com relação a altura ou posição da fachada não está claramente definida, ou seja, não mostra qualquer tendência.

**Tabela 15: Concentração dos cátions nos blocos das fachadas. Análise realizada por absorção atômica.**

| Fachada | Bloco | Cátions (ppm) |       |      |       |       |      |      |      |      |
|---------|-------|---------------|-------|------|-------|-------|------|------|------|------|
|         |       | Na            | K     | Ca   | Mg    | Fe    | Mn   | Zn   | Cu   | Ni   |
| 1       | 14.4  | 9,06          | 4,2   | 0,4  | 4,11  | 6,76  | 0,21 | 0,09 | 0,68 | 0,13 |
| 1       | 9.2   | 6,64          | 7,95  | 0,78 | 6,7   | 7,84  | 0,34 | 0,21 | 0,45 | 0,11 |
| 1       | 7.2   | 5,57          | 3     | 0,84 | 5,52  | 7,98  | 0,21 | 0,1  | 0,29 | 0,11 |
| 1       | 6.2   | 4,43          | 3,13  | 0,83 | 5,13  | 8,54  | 0,24 | 0,08 | 0,21 | 0    |
| 2       | 11.2  | 5,62          | 4,24  | 0,61 | 5,61  | 3,54  | 0,25 | 0,06 | 0,26 | 0,05 |
| 2       | 8.2   | 7,23          | 3,53  | 0,67 | 3,96  | 2,61  | 0,25 | 0,09 | 0,68 | 0    |
| 2       | 6.1   | 6,32          | 2,31  | 0,24 | 1,66  | 1,68  | 0,24 | 0,02 | 0,15 | 0    |
| 3       | 9.5   | 9,31          | 2,27  | 1,45 | 5,61  | 1,44  | 0,21 | 0,1  | 0,08 | 0,03 |
| 3       | 5.1   | 5,21          | 3,42  | 0,29 | 4,6   | 5,09  | 0,23 | 0,04 | 0,12 | 0,07 |
| 3       | 4.3   | 6,31          | 4,72  | 0,49 | 3,33  | 3,75  | 0,23 | 0,05 | 0,71 | 0,03 |
| 3       | 3.5   | 7,09          | 5,85  | 0,82 | 4,12  | 3,97  | 0,2  | 0,14 | 1,26 | 0    |
| 3       | 1.5   | 8,37          | 7,72  | 0,9  | 4,87  | 1,95  | 0,24 | 0,08 | 1,06 | 0,08 |
| 6       | 8.2   | 10,22         | 9,7   | 0,38 | 3,09  | 2,48  | 0,21 | 0,04 | 0,02 | 0    |
| Soma    |       | 91,38         | 62,04 | 8,70 | 58,31 | 57,63 | 3,06 | 1,10 | 5,97 | 0,61 |

#### 4.4. Avaliação geomecânica

Os dados estatísticos dos ensaios de esclerometria estão organizados na tabela 16 segundo o posicionamento das fachadas no pórtico. Os dados são apresentados de forma sistemática mostrando cada bloco analisado e seu respectivo número de medidas, os valores

mínimos e máximos, a média calculada a partir destes valores, o desvio padrão e o coeficiente de variação.

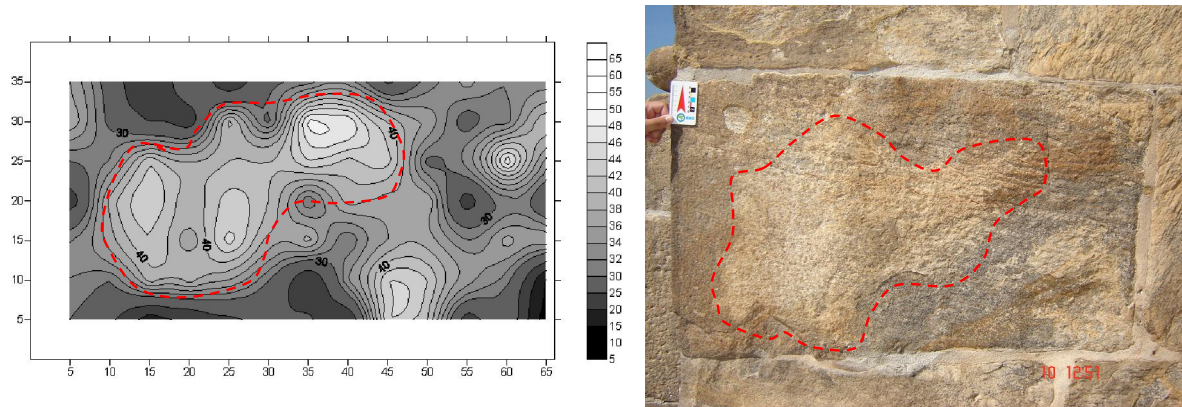
**Tabela 16: Dados estatísticos dos ensaios de esclerometria nos blocos das fachadas**

| FACHADA | BLOCO | NÚMERO DE MEDIDAS | VALOR MÍNIMO | VALOR MÁXIMO | MÉDIA | DESVIO PADRÃO | COEF. DE VARIAÇÃO (%) |
|---------|-------|-------------------|--------------|--------------|-------|---------------|-----------------------|
| 1       | 1.3   | 140               | 40           | 60           | 51,9  | 4,1           | 7,9                   |
|         | 2.3   | 132               | 30           | 60           | 49,9  | 5,2           | 10,4                  |
|         | 6.3   | 90                | 22           | 57           | 43,9  | 7,6           | 17,3                  |
| 2       | 1.1   | 99                | 21           | 59           | 48,4  | 5,5           | 11,3                  |
|         | 3.1   | 66                | 20           | 47           | 36    | 4,8           | 13,4                  |
| 3       | 2.5   | 110               | 22           | 58           | 42,8  | 6,7           | 16,1                  |
|         | 3.1   | 60                | 20           | 50           | 40,5  | 6             | 14,8                  |
|         | 3.2   | 66                | 25           | 50           | 42,7  | 5,8           | 13,6                  |
|         | 3.5   | 108               | 15           | 42           | 30,1  | 6             | 20,1                  |
| 4       | 3.2   | 187               | 20           | 59           | 49,4  | 5,7           | 11,5                  |
|         | 5.1   | 190               | 18           | 52           | 37,3  | 7,2           | 19,3                  |
| 5       | 3.1   | 184               | 18           | 52           | 36,8  | 6,2           | 16,8                  |
| 6       | 2.1   | 209               | 10           | 54           | 35,7  | 8,2           | 22,9                  |
|         | 3.1   | 91                | 12           | 49           | 33,2  | 7,9           | 23,8                  |
| 7       | 2.2   | 132               | 20           | 50           | 35,5  | 7,2           | 20,3                  |
|         | 5.2   | 90                | 18           | 61           | 38,5  | 7,9           | 20,5                  |

Com os dados obtidos foram produzidos mapas de contorno da distribuição dos valores de índice de esclerometria. Nos mapas, ilustrados a seguir (figuras 21 e 22), podem-se ver também as dimensões de cada bloco de cantaria ensaiado (escala nas bordas do desenho) e a malha de amostragem dos índices de esclerometria (pequenas cruces no desenho). A escala de tons de cinza, usada para representar os valores de esclerometria, é a mesma em todas as figuras, o que permite comparar as distribuições de valores em todos os blocos testados. Deve-se notar que os valores mais baixos de esclerometria (menor resistência da rocha) estão representados por cores mais escuras, enquanto que os valores mais altos (maiores resistências) aparecem com cores claras nos mapas de contorno.



A figura 21 mostra acentuadas diferenças entre os valores de resistência das bordas e do centro dos blocos. Os menores valores de resistência são coincidentes com as partes do bloco que são afetadas pela morfologia de alteração do grupo perda de massa paralela à superfície (placas e plaquetas).



**Figure 21: Mapa de contorno do bloco 5.2 da fachada 7**

Na figura em seqüência (figura 22) podemos observar que os menores valores de resistência acompanham o trajeto da fissura (visível pela mancha que acompanha o seu trajeto). O vértice inferior à direita apresenta um valor mediano de resistência, pois o mesmo é um fragmento de outro tipo de gnaisse colocado posteriormente, sem estar afetado pela alteração, ao mesmo tempo que o fato de estar “colado” no bloco faz com que esta resistência não seja tão elevada. A parte que apresenta maior valor de resistência é aquela que sofreu um deslocamento, deixando exposta uma superfície menos alterada. Beirando essa região de alta resistência há uma área de menor resistência, pois a mesma se encontra sobre uma superfície em processo de deslocamento.

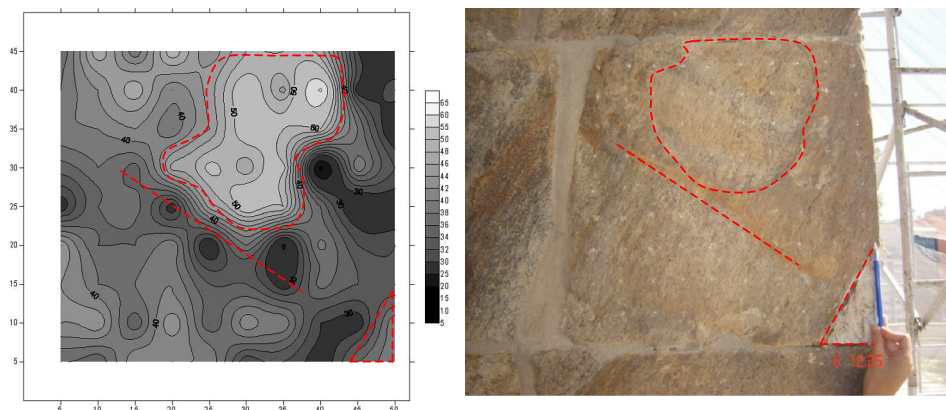


Figura 22: Mapa de contorno do bloco 3.1 da fachada 6

## 5 CONCLUSÕES

As seguintes conclusões gerais podem ser apresentadas como contribuição deste trabalho de conclusão de curso à temática da alteração e degradação de rochas em prédios históricos:

- ✓ O mapeamento das formas de alteração com o apoio de ferramenta SIG mostrou-se extremamente útil para a quantificação e avaliação das principais formas e mecanismos de alteração.
- ✓ O grupo de patologias I (Perda de Coesão), não foi observado nas fachadas do pórtico de entrada da Igreja Nossa Senhora do Outeiro da Glória.
- ✓ Os grupos de patologias mais relevantes são aqueles dos grupos II (Perda de Matéria) e III (Alterações Cromáticas e Depósitos). A princípio, alguns desses valores parecem baixos e poderiam fazer supor que as degradações ainda não estão tão disseminadas pelas fachadas do monumento histórico. No entanto, algumas considerações se fazem necessárias.

- ✓ A medida em área não expressa integralmente as degradações, principalmente àquelas do grupo II, que podem se aprofundar na cantaria e provocar perda excessiva de material em profundidade, mesmo que sua projeção em área seja relativamente pequena.
- ✓ Dentre as morfologias do Grupo II destacam-se fortemente as plaquetas e as erosões, principalmente nas fachadas 6 e 7. Essas morfologias são particularmente preocupantes porque levam à perda de massa. É importante salientar, que a continuidade desse processo pode levar, em casos extremos, à necessidade de substituição parcial ou integral dos blocos de cantaria. Nesse caso, é importante ressaltar que na área de ocorrência do Gnaisse (Leptinito) na cidade do Rio de Janeiro, não mais se encontram pedreiras em produção. Atualmente, essas áreas são urbanizadas ou de proteção ambiental, portanto, não mais é permitido a exploração da rocha.
- ✓ O Grupo III apresentou-se de forma mais freqüente nas fachadas, com exceção nas fachadas 6 e 7. Dentre as morfologias observadas, destacam-se a formação de películas e manchas com relação as patologias observadas no grupo.
- ✓ No caso das manchas, da forma como foram definidas (mudanças de um ou mais parâmetros de cor), podem não significar degradações intensas e que, eventualmente, comprometam as propriedades das rochas. Inclusive, é difícil afirmar que esses machamentos tenham se originado no ambiente construído. Algumas dessas feições parecem indicar que as rochas já estavam machadas na própria pedreira. Por esses motivos não podem ser consideradas umas patologias propriamente dita.

- ✓ O Grupo IV (Fissuras, Fraturas e Deformações) representa um percentual desprezível em todas as fachadas.
- ✓ O cadastro de testes da matriz mostrou-se uma ferramenta útil para avaliar o estado relativo de degradação de uma mesma rocha com diferentes orientações geográficas nas fachadas de uma mesma construção ou entre rochas de diferentes construções.
- ✓ A atuação do intemperismo tem uma forte componente física como mostram os dados petrográficos e de mineralogia.
- ✓ As transformações químicas e mineralógicas, apesar do ambiente em que estão inseridas as rochas, são apenas incipientes. Dados de difração de raios-X apenas evidenciam uma tênue formação de ilitas associadas às micas.
- ✓ O processo de formação de placas e principalmente plaquetas permitem o desenvolvimento de biofilmes, que abrigados da ação de ventos e chuvas se desenvolvem sobre os grãos translúcidos de quartzo que lhes permitem receber luz para seu metabolismo. A presença desses biofilmes foi comprovada com a microscopia eletrônica de varredura.
- ✓ A ação de sais solúveis como agentes da degradação das rochas ficou comprovada pela análise química por cromatografia iônica e absorção atômica. Teores elevados de sulfatos, cloretos, sódio, cálcio e potássio sugerem que estes sais tenham origem nos aerossóis marinhos apesar de não ter sido observado nenhuma relação entre esses ânions e cátions.
- ✓ O esclerômetro ou martelo de Schmidt também se mostrou uma ferramenta não destrutiva bastante útil para testes “in situ”. Suas principais aplicações foram o mapeamento da dureza superficial da rocha, utilizada para o mapeamento de

fraturas, localização das zonas mais degradadas e mapeamento das formas de alteração. As regiões com menores valores de resistência são coincidentes com as bordas dos blocos, que em geral encontram-se bastante erodidas e com as áreas que foram afetadas por morfologias de alteração dos grupos dois (perda de massa) e quatro (fissuras, fraturas e descolamentos).

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BAPTISTA-NETO, J. A . B.; SMITH, B.J.; McALLUSTER; SILVA, M.A . M. & CASTANHEIRA, F.S. Surface modification of a granite building stone in central Rio de Janeiro. *Annals of the Brazilian Academy of Sciences*. 2006. pp.317-330.ISSN 0001-3765.
- BARROSO, E. V. Estudo das características geológicas e geotécnicas de um perfil de intemperismo em Leptinito. Dissertação de Mestrado, Departamento de Geologia, UFRJ. 1993. 251p.
- DOCUCHAEV, V.V. In: VIEIRA, L.S. Ed. Manual da ciência do solo. Editora Agronômica, São Paulo. 1975
- FARROCO,V.; BRAUNS.R.; SILVEIRA.V & BARROSO,E. O mapeamento e a avaliação da degradação de rochas de cantaria da Igreja do Outeiro da Glória- RJ. In: X Simpósio de Geologia do Sudeste, Diamantina, 2007. Resumo, Diamantina, UFMG, P.210.
- FITZNER, B. & HEINRICHS, K. Photo atlas of weathering forms on stone monuments. 2004. Recuperável da Internet via <<http://www.stone.rwth-aachen.de>>, acessado em 04 Fev.2006.

- HENRIQUES, F. M.A.; RODRIGUES, J. D.; BARROS, L.A. PROENÇA, N. Materiais Pétreos e Similares: Terminologias das formas de alteração e de degradação. Laboratório Nacional de Engenharia Civil. Lisboa. 2005.
- ISRM, Rock characterization, testing and monitoring. Suggested methods. In.: BROWN, E. T. Ed. London, Pergamon Press. 211 p. 1981.
- 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.
- SALOMÃO, F.X.T. & ANTUNES, F.S. 1998. Solos. In: Oliveira & Brito (eds.). Geologia de Engenharia. ABGE.
- SILVA, L.C.T. Avaliação da degradação de rochas em prédios históricos: os exemplos do Teatro Municipal e do Paço Imperial do Rio de Janeiro. Dissertação de Mestrado, Departamento de Geologia, UFRJ. 2005. 94p.
- SILVA, M.E. & ROESER, H.M.P. Mapeamento de Deteriorações em Monumentos Históricos de Pedra-Sabão em Ouro Preto. Revista Brasileira de Geociências. Minas Gerais, v.33. 2003. Recuperável da Internet via <[http://www.sbgeo.org.br/rgb/vol33\\_down/3304/1339.pdf](http://www.sbgeo.org.br/rgb/vol33_down/3304/1339.pdf) - 38k>, acessado em 10 Jun.2008.
- SILVA, V. S. Alteração de rochas e a conservação do patrimônio arquitetônico: estudo de caso do pórtico da Igreja do Outeiro da Glória. Dissertação de Mestrado, Departamento de Geologia, UFRJ. 2007. 160p.
- TOLEDO, M.C.M.; OLIVEIRA, S.M.B. & MELFI, A.J. 2003. Intemperismo e formação dos solos. In. TEIXEIRA, W.; TOLEDO, M.C.M. FAIRCHILD, T.R. & TAIOLI, F. Decifrando a Terra. Editora Oficina de Textos, p 139-166.

URMENETA, M. A.; Valoración del deterioro y conservación em la piedra monumental.

Espanha-Madrid. 1997. 269p.

Sites:

[http://www.simerj.com/default\\_normais.php](http://www.simerj.com/default_normais.php)

<http://maps.google.com.br>

[www.feema.rj.gov.br](http://www.feema.rj.gov.br)

[www.inmet.gov.br](http://www.inmet.gov.br)