

INTRODUÇÃO

I.1 – APRESENTAÇÃO

A aplicação da rocha como material de construção ao longo dos anos tem feito parte da história da civilização, não só pela abundância e disponibilidade, mas também pela sua resistência e durabilidade (Vicente *et al.* 1996).

Exemplos de belas obras arquitetônicas construídas durante os séculos XVII e XVIII estão espalhados por todo o Brasil mostrando bem a grande evolução no uso de rochas como material ornamental e de construção. Os antigos navios que vinham de Portugal para o Brasil usavam, como lastro, blocos de mármore (“Pedra de Lioz”) que foram utilizados na construção civil. Como exemplo, a Igreja de Conceição da Praia, localizada na cidade de Salvador (Bahia), foi trazida já esculpida, de Portugal como lastro e ali montada pelos artesãos portugueses, que ao desembarcarem em território brasileiro iniciaram os nativos na técnica de trabalhar a pedra bruta, conhecida como cantaria (Andrade, 1958).

A importação de materiais construtivos da Metrópole, pelos núcleos urbanos do litoral, atravessou séculos, chegando ao século XVIII. Os motivos da importação poderiam ser pela falta de trabalhadores qualificados, questões estéticas vinculadas ao tipo de rocha e a ausência de materiais lapidares nas localidades. Em algumas situações, esses motivos vinham acompanhados de intervenções metropolitanas. Exemplo disso foi o caso da solicitação dos vereadores da Câmara do Rio de Janeiro para a construção de um chafariz na cidade, em 1744. Eles receberam dos conselheiros do Rei a autorização para a dita obra, mas esta ficava sob a superintendência do Governador e “que deste Reino deve ir lavrada a pedraria das duas fontes e das bicas dos registros, por não haver no Rio de Janeiro oficiais com bastante perícia, nem pedra suficiente para esta obra se fazer com a devida perfeição” (Arq. Hist. Ultramarino, Avulsos, doc. 44 *in*: Bicalho, 1997). Já no interior da América Portuguesa, na região das Minas, as péssimas condições das vias que ligavam o litoral ao interior, acabaram impossibilitando o transporte da rocha portuguesa para as vilas mineiras, as quais, diante dos empecilhos, apelaram para o uso da matéria-prima local, como quartzito, quartzo-clorita-xisto e esteatito (pedra-sabão), vindo a desenvolver todo um conjunto de maneiras e práticas de como se deveria trabalhá-las (Silva, 2004).

A cantaria, que consiste na rocha lavrada ou aparelhada em formas geométricas para ser aplicada em construções, como parte estrutural ou ornamental, pode ser vista em quase todas as cidades antigas de Minas Gerais, com destaque para Ouro Preto, Mariana, Congonhas do Campo e São João Del Rei (Stellin Júnior, 1990). Nesses locais, a rocha teve diversificada utilização servindo para confecção de utensílios domésticos (panelas e tigelas), canaletas para conduzir água (arcabuzes), muros, mundéis no serviço de mineração, além de esculturas e edificações de vários tipos, como capelas, igrejas, residências, palácios, pelourinhos, chafarizes, além de pontes e calçamentos. A utilização da rocha na arquitetura, em maior volume, ocorreu a partir de 1750, quando muitas irmandades reformaram seus templos, incluindo o uso da rocha na decoração dos frontispícios, nas portadas, medalhões e em ornatos.

A pedra de cantaria, complementada com madeira e outros materiais acrescentados ao longo dos tempos, constituiu o básico preponderante na construção de cidades históricas mineiras. Em Ouro Preto, a cantaria começou entre 1735 e 1738 a partir da construção do Palácio do Governo (atual Museu de Ciência e Tecnologia), para o qual se utilizou, predominantemente o quartzito, rocha metamórfica do Grupo Itacolomi.

Os exemplares típicos das construções do período colonial em Minas Gerais se caracterizam pela clareza da estrutura do edifício, força expressiva da ornamentação e pelo emprego de materiais de diversas cores e texturas, tais como quartzitos, esteatitos e xistos utilizados, quer como elementos estruturais, quer artesanais, ou de revestimentos de igrejas e palácios, marcos, chafarizes, mausoléus etc.

Ao longo dos anos, as técnicas construtivas com alvenaria de pedra pouco ou nada se modificaram quanto ao seu aspecto e à sua execução. O material rochoso variou conforme a região, conforme facilidades quanto à disponibilidade de locais de ocorrências de rochas e economia no transporte (Vasconcellos, 1979). Dessa forma, a arquitetura edificada no período colonial em Minas se relaciona às condições do meio físico em que foi construída, aos fatores topográficos, geológicos, sociais, econômicos, entre outros, que afetaram significativamente o seu traçado urbano.

A tradicional técnica portuguesa de esculpir a rocha se dispersou a partir de meados do século XIX, com a diminuição das demandas construtivas pelas irmandades e associações religiosas e a perda da importância econômica dos núcleos urbanos coloniais. Os efeitos da perda da prática de cantaria foram constatados a partir do terceiro decênio do século passado. A necessidade da cantaria como técnica de restauro, se deu por intermédio de uma política preservacionista, que incluiu o

inventariado, tombamento e restauro de um conjunto de monumentos do Barroco Mineiro, pelo antigo Serviço de Proteção Histórica e Artística Nacional (SPHAN), visto que grande parte do patrimônio edificado em Minas possuía algum tipo de rocha na sua composição estrutural e ornamental. O que se viu no avançar do século, foram intervenções questionáveis que descaracterizaram os monumentos, chegando, em alguns casos, a acrescentar ornamentos via uso do cimento misturado com o pó de rochas (Silva, 2004).

A partir do levantamento dos materiais empregados na construção de monumentos pétreos brasileiros, constata-se que desde o período colonial, os sistemas construtivos e os materiais disponíveis influenciaram a tipologia arquitetônica. Diferentes tipos de rochas, tais como pedrasabão, quartzito e xisto foram utilizados como elementos da arquitetura do período Barroco, artesanalmente para a fabricação de esculturas, peças de ornamentação e elementos estruturais, como pode ser visto nas cidades como Ouro Preto, Mariana e Congonhas do Campo, onde se destacam as obras do grande mestre Aleijadinho, que atraem turistas do mundo inteiro.

Nesta pesquisa, para avaliar a susceptibilidade de rochas com aplicação ornamental em cidades representativas do Barroco Mineiro, foram estudados tipos de rochas utilizadas na construção de monumentos pétreos, com ênfase para esteatitos, quartzitos e xistos. A partir do levantamento das áreas de ocorrência, em lavra ou não, e posterior coleta de amostras para confecção de corpos de prova, estes materiais pétreos tiveram suas características petrográficas, físicas e mecânicas e de alterabilidade avaliadas. Isto permitiu a obtenção de dados que poderão subsidiar um melhor aproveitamento destes materiais em aplicações já existentes e propor novas aplicações, de acordo com sua mineralogia, textura, estrutura e grau de alteração.

Para uma avaliação de aplicações em projetos arquitetônicos antigos e do estado de conservação dos tipos pétreos acima referidos, desenvolveu-se parte desta pesquisa, tendo o estudo das deteriorações já existentes nas edificações como referência de laboratório natural, considerando os seus diferentes períodos de exposição, entre 300 e 350 anos e variadas condições climáticas. Tais estudos associados aos resultados de ensaios de alterabilidade em laboratório objetivam fornecer elementos para atender às especificações de projetos com rochas ornamentais de forma mais eficaz e viabilizar propostas mais eficientes de intervenção em edificações civis atuais.

Na atualidade, a aplicação de materiais como esteatitos e quartzitos vão desde peças artísticas para decoração até a produção de placas polidas para revestimentos de interiores e exteriores, pisos, soleiras, degraus, bancadas, lareiras, tampos de mesa etc, refletindo-se em arrojados projetos

arquitetônicos que envolvem diversidades litológicas e múltiplos usos que atingem bons resultados estéticos. O emprego desses materiais pétreos é cada vez mais difundido e as peças são vendidas no comércio local e também exportados, à medida que a modernização da produção oferece melhoria na qualidade dos produtos brutos e acabados.

Dessa forma, os estudos acerca das características destes materiais, largamente utilizados na construção civil, bem como do comportamento dos mesmos mediante a ação do ambiente a que serão expostos são, portanto, de grande importância uma vez que contribuirão para que as obras arquitetônicas de hoje possam corresponder às expectativas de grande durabilidade e permanência do efeito estético.

I.1.1 – Objetivos

A presente tese intitulada “Avaliação da susceptibilidade de rochas ornamentais e de revestimentos à deterioração – um enfoque a partir do estudo em monumentos do Barroco Mineiro” tem por objetivos:

- Proceder ao levantamento dos materiais pétreos usados em edificações históricas de algumas cidades de Minas Gerais e de suas deteriorações, visando obter dados para uma melhor aplicação destes materiais;
- Avaliar as aplicações das rochas nos monumentos, em função dos ensaios tecnológicos e de alterabilidade, tendo em vista futuros restauros;
- Determinar as características petrográficas e de alterabilidade de granitos comerciais *lato sensu* empregados em construções civis modernas.

Além desses objetivos específicos, a meta é contribuir para a evolução tecnológica do setor de rochas ornamentais do Estado de Minas Gerais através de estudos que permitam um melhor conhecimento das características físico-mecânicas e mineralógicas dos materiais em questão e dos seus comportamentos mediante as interações pelo meio a que são impostos. Isto visa colaborar para a otimização do uso destes materiais e uma melhor seleção dos mais adequados aos usos pretendidos em projetos arquitetônicos atuais.

I.1.2 – Amostras para Análise

No presente trabalho foi feito o levantamento dos materiais pétreos empregados na construção de monumentos do Barroco Mineiro, nos quais os principais litotipos identificados foram: esteatitos, quartzitos e xistos das regiões de Ouro Preto, Mariana, Congonhas, Catas Altas e Caraça.

O estudo desde o levantamento dos aspectos geológicos dos locais de origem das rochas, assim como a determinação de suas características petrográficas, tecnológicas e de alterabilidade foi influenciada pela disponibilidade de matéria-prima desses materiais. Para a maioria desses materiais pétreos não se existem registros históricos sobre as suas antigas áreas de extração, na maioria das vezes completamente exauridas devida às atividades intensas de mineração na região ou quando há, estes materiais estão em atuais áreas de preservação ambiental. Fato este, comum aos quartzitos Itacolomi e Caraça, que apesar de grande disponibilidade de matéria-prima, encontram-se na região do Parque Nacional do Itacolomi e Caraça, respectivamente, sendo necessário a autorização para coleta de amostras.

Para minimizar o problema da falta de amostras, foram estudados esteatitos usados em construções civis recentes, provenientes das localidades de Acaiaca (ACA) e Furquim (FUR), regiões do município de Mariana e da localidade de Lundes (LUN), região do município de Santa Rita de Ouro Preto. Os esteatitos destes locais foram fornecidos em forma de corpos de prova cúbicos e chapas pela empresa Ouro Preto Pedra-sabão (OPPS Ltda).

Os quartzitos Itacolomi (ITA) foram coletados *in situ*, nas proximidades da Serra do Itacolomi, fora dos limites do Parque Ecológico. Os quartzitos (Lages - LAG), na região do Taquaral, proximidades de Ouro Preto.

Amostras originais de xistos comuns aos monumentos e edificações de Mariana e Ouro Preto resultaram da coleta autorizada de pequenos fragmentos resultantes do incêndio acontecido na Igreja do Carmo, e outras amostras com características semelhantes aos xistos das edificações históricas foram coletadas em raros afloramentos encontrados na região de Mariana.

Embora nem todas as amostras tenham sido obtidas nos seus locais originais de extração do século XVIII, os esteatitos e quartzitos apresentam características semelhantes aos litotipos que foram empregados na construção de fachadas, elementos estruturais, esculturas e peças de ornamentação nas edificações históricas de Minas Gerais.

Além desses materiais pétreos específicos dos monumentos históricos, foram avaliados nos estudos sobre alterabilidade de rochas: granitos *lato sensu* denominados comercialmente de Ás de Paus, Preto Rio, Branco Eliane e Café imperial, adquiridos na MGC Mármore & Granitos e Granix, marmorarias de Belo Horizonte.

I.2 - SISTEMÁTICA DE PESQUISA

Para o desenvolvimento da pesquisa estabeleceu-se um roteiro de procedimentos para o estudo das rochas com aplicação ornamental em edificações históricas e modernas, que envolveu as seguintes etapas:

1. Levantamento dos tipos litológicos (esteatitos, quartzitos, xistos) utilizados nas edificações históricas, estabelecendo-se relações entre os tipos litológicos e as aplicações nos monumentos (portais, fontes, escadarias, mausoléus etc);
2. Descrição dos principais tipos de deteriorações em mesoescala nas rochas dos monumentos, visando avaliar o estado atual desses materiais e comparar a aplicação dos litotipos quando submetidos a diferentes condições de utilização;
3. Levantamento de campo para localização das áreas de ocorrência das rochas identificadas nos monumentos, tendo como objetivo o reconhecimento das antigas lavras, pedreiras em atividade ou não e das variedades comerciais produzidas, com documentação fotográfica e coleta de amostras para posterior estudo laboratorial;
4. Estudos laboratoriais para caracterização petrográfica, tecnológica e de alterabilidade das rochas amostradas. Correlações dos índices físicos e de outros parâmetros tecnológicos com as características mineralógicas e texturais objetivando uma avaliação qualitativa dessas características e a susceptibilidade das rochas em relação aos agentes de alteração a que são submetidos no cotidiano;
5. Obtenção de dados sobre as características dos materiais pétreos visando auxiliar engenheiros e arquitetos na escolha de rochas ornamentais e de revestimento mais adequadas aos projetos pretendidos, bem como no restauro dos monumentos

I.2.1 - Métodos

Os trabalhos desta tese se resumiram na pesquisa bibliográfica, trabalhos de campo e de laboratório, integração/análise de dados e processamento das informações descritas a seguir (Figura I.1).

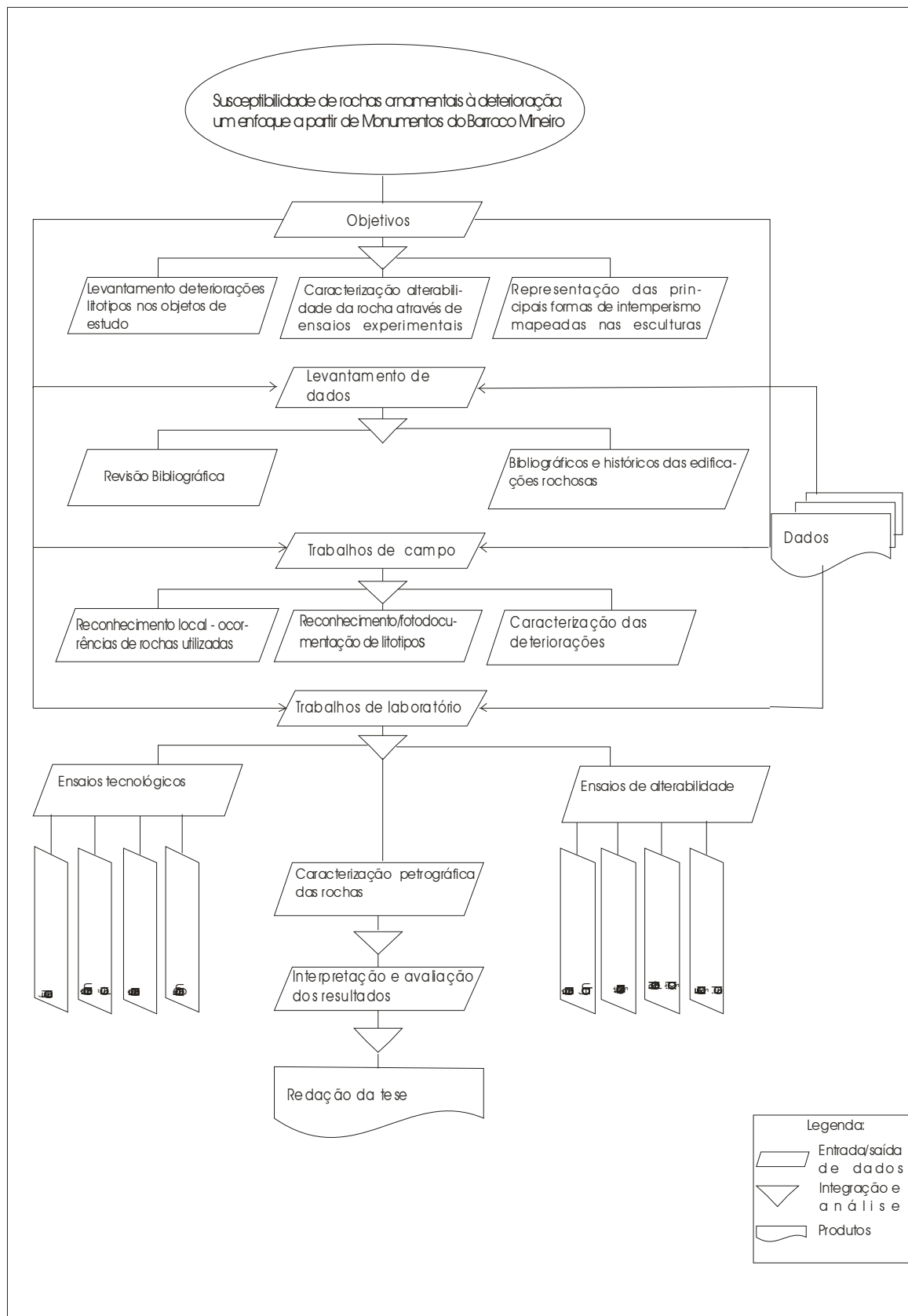


Figura I.1: Fluxograma das etapas de desenvolvimento da pesquisa

1.2.1.1 - Revisão bibliográfica

O levantamento bibliográfico compreendeu a compilação das informações disponíveis sobre aspectos geológicos regionais e locais de interesse ao estudo na região de Ouro Preto, Mariana, Catas Altas, Caraça e Congonhas, de modo a se obter um panorama das características dos diferentes tipos de rochas.

A pesquisa bibliográfica incluiu também a revisão dos principais trabalhos desenvolvidos sobre o tema alteração, deterioração, alterabilidade e durabilidade de rochas, em trabalhos de caráter internacional e nacional, tais como: Gomes (1984), Winkler (1997), Frazão e Farjallat (1995), Oliveira & Brito (1998), Figueiredo *et al.* (2001 e 2002), Mesquita (2002), Becerra (2003), Frascá (2003), Torquato (2004), pesquisados tanto em livros texto, artigos técnico-científicos e em periódicos através da Internet. Além desses, outros trabalhos mais específicos, tais como: Marques *et al.* (1994), Fitzner *et al.* (1995), Baer & Snethlage (1996), Delgado-Rodrigues (1996), Aires-Barros (1991), (2001), Silva & Roeser (2003).

Apesar do reduzido número de publicações que descrevem os materiais dos monumentos das áreas selecionadas, foram levantadas informações referentes à construção das edificações históricas em Minas Gerais, junto aos diversos escritórios regionais do IPHAN, Arquidiocese de Mariana, Arquivo Histórico do Museu da Inconfidência em Ouro Preto e Mariana, e em livros texto (Bazin German (s.d.), Bury (1991)).

Na etapa experimental desta pesquisa, foram levantadas informações sobre métodos, equipamentos e reagentes adequados para a simulação dos mecanismos e fatores que levam à alterabilidade de rochas ornamentais, adaptados à nossa realidade. Para isto, foram consultados os métodos já empregados no Centro de Pesquisa Manoel Teixeira da Costa (CPMTC) /UFMG e uma série de artigos sobre processos de alteração, normas brasileiras e internacionais (ABNT e ASTM) sobre caracterização de rochas ornamentais e parâmetros para sua avaliação.

Na confecção da redação, gráficos, diagramas, tabelas e processamento de imagens foram utilizados os softwares Microsoft Word, Excel, Coreldraw, entre outros.

1.2.1.2 - Atividades de Campo

O levantamento e identificação das deteriorações dos materiais aplicados nos monumentos envolveram as regiões de Ouro Preto, Mariana, Congonhas do Campo e Caraça. Em todos esses levantamentos foi gerado um arquivo digital com várias fotografias.

Nos trabalhos de campo, as prioridades foram a identificação do tipo de rocha, suas aplicações e as deteriorações, além da busca pela localização das áreas de extração das rochas usadas nas edificações históricas.

Para a identificação dos tipos de rochas dos monumentos foram feitas observações macroscópicas desses litotipos. Reconhecidos os litotipos, partiu-se para a localização das áreas de extração baseando-se na bibliografia sobre geologia regional, documentos históricos, informações de antigos moradores, entre eles: mestre de cantaria Sr. Raimundo Pereira “mestre Juca” (*in memorian*) de Ouro Preto e do restaurador e historiador Rinaldo Urzedo, de Mariana.

O levantamento de dados geológicos específicos nas respectivas lavras nem sempre foi possível, pois, os locais de ocorrências das rochas encontravam-se, muitas vezes, bastante degradados.

Após o levantamento das áreas de ocorrência desses litotipos foi feita a coleta de amostras para caracterização petrográfica e, quando em quantidade suficiente, para ensaios de caracterização tecnológica e de alterabilidade.

Além das rochas dos monumentos, outros litotipos foram adquiridos em marmorarias da região de Ouro Preto, Mariana, Cachoeira do Campo e Belo Horizonte, entre elas: Quartzito do Brasil Ltda., OPPS Ltda., IBGM, MGC Mármore e Granix, visando para estudos petrográficos e ensaios de alterabilidade de materiais usados em construções civis recentes.

1.2.1.3 - Métodos de Análise de Deteriorações das Rochas

Neste item enfatizam-se os métodos de análise não destrutiva (exame macroscópico e fotodocumentação) usados no estudo das deteriorações do patrimônio pétreo.

A inspeção visual pormenorizada é o meio principal de avaliação do estado de conservação em que se encontra o monumento em questão. Neste exame recorreu-se ao auxílio de lupas e mesmo de binóculos procurando pormenorizar detalhes e ter acesso às partes de mais difícil observação.

O exame macroscópico foi acompanhado pelas anotações sobre deteriorações diagnosticadas, caracterização dos tipos litológicos e fotos de aspectos em conjunto, bem como da disposição de diferentes tipos de rochas no monumento, registro de restauros feitos no transcorrer do tempo e problemas estruturais.

1.2.1.4 - Ensaios e Análises Laboratoriais

No desenvolvimento da pesquisa foram utilizados equipamentos existentes nos Laboratórios de Laminação, de Petrografia e de Alterabilidade do Centro de Pesquisa Prof. Manoel Teixeira da Costa do IGC-UFG, e de Microscopia Eletrônica do Departamento de Física do IGC-UFG.

Os ensaios e/ou análises realizadas visaram à caracterização petrográfica, mineralógica, química, tecnológica e de alterabilidade dos materiais rochosos selecionados para o reconhecimento das características intrínsecas de cada litotipo, como também das possíveis alterações impostas pelas situações de uso nas aplicações das edificações.

A caracterização petrográfica das rochas foi realizada segundo as especificações da norma ABNT-NBR 12768, através de estudos óticos qualitativos (composição mineralógica, feições texturais, natureza dos contatos minerais, grau de alteração mineral) e quantitativos (análise modal), com detalhamento de feições características que permitem avaliar preliminarmente a susceptibilidade das rochas a se alterarem quando aplicadas.

A caracterização química foi feita para determinar os conteúdos em elementos maiores e menores das rochas por meio de análises químicas via úmida; verificar as proporções dos diferentes elementos e auxiliar na interpretação das alterações observadas nos ensaios de alterabilidade. As análises foram realizadas pela *Lakefield Geosol* Geologia e Sondagens Ltda.

Os ensaios de caracterização tecnológica foram realizados no LABTECROCHAS do CPMTC/IGC-UFG, segundo as normas da ABNT com a utilização dos equipamentos apresentados na tabela I.1.

Tabela I.1: Normas e equipamentos correspondentes aos ensaios tecnológicos

Normas	Aplicações / Equipamentos
ABNT-NBR 12766/1992	Determinação da Massa Específica Aparente, Porosidade Aparente e Absorção d'água) / Estufa, balança, bandejas
ABNT-NBR12767/1992	Compressão uniaxial / Prensa hidráulica marca FORNEY, modelo Fortec RT-1
ABNT-NBR 12763/1992	Resistência à flexão / Prensa hidráulica da marca TINTUS OLSEN, modelo H25K-S UTM
ABNT-NBR 12042/1992	Desgaste por abrasão -Desgaste AMSLER / Equipamento para desgaste e dispositivo para medida da perda da espessura.

1.2.1.4.1 - Ensaios de Alterabilidade

Através dos ensaios de alterabilidade procura-se simular condições a que as rochas estarão expostas após suas aplicações nas edificações, tais como: fatores climáticos (ensaio de choque térmico), comportamento diante de poluentes atmosféricos (resistência à alteração por lixiviação estática), ação da cristalização de sais (imersão total em solução salina) e limpeza (ensaio de resistência ao ataque com substâncias químicas presentes em produtos de limpeza).

Como ainda não existem normas da ABNT para os ensaios de alteração acelerada (choque térmico, Imersão em solução ácida, resistência ao ataque químico), os estudos foram realizados utilizando-se de alguns métodos adaptados nos laboratórios de Química por via úmida do CPMTC/UFMG.

Nos ensaios de alterabilidade, os parâmetros avaliados para cada tipo litológico foram observados antes e após os ensaios, sendo que uma amostra de cada tipo litológico foi reservada como referência. Para cada tipo de rocha fez-se uma avaliação visual, determinando a presença de manchas, ferrugens, variação de brilho etc. (Tabela I.2).

Além das técnicas petrográficas (microscopia ótica), outras técnicas tais como: difratometria de Raios-X e microscopia eletrônica também, foram utilizadas como complementares na interpretação dos dados.

Tabela I.2: Procedimentos e parâmetros para a caracterização tecnológica e ensaios de alterabilidade

Atividade laboratorial	Parâmetros a serem considerados	Técnicas empregadas
1) Caracterização petrográfica e química	composição mineralógica, textura, tamanho dos grãos, estrutura, composição química.	Petrografia Difratometria de raios X Análises químicas
2) Determinação das propriedades físicas e tecnológicas	Absorção de água, porosidade, densidade aparente, resistência à compressão, resistência à flexão, desgaste Amsler	Determinações de propriedades tecnológicas baseadas nas normas ABNT – NBR
3) Ensaio de alteração	choque térmico Imersão total em soluções ácidas Ataque Químico	Determinações de alterações de modo qualitativo e quantitativo através de métodos e procedimentos adaptados.
4) Caracterização pós alteração	Modificações petrográficas e mineralógicas após ensaios (microfissuras, minerais alterados, produtos lixiviados) Avaliação da perda de brilho Variações de massa	MEV Microscopia ótica

1.2.1.5 - Resultados Esperados

Do ponto de vista tecnológico, o atual momento nas aplicações de rochas ornamentais e de revestimento tem levado empresários a buscar e repassar informações mais consistentes, em suas estratégias de conquista de novos mercados. Dessa forma, espera-se que a adoção dos procedimentos e dados aqui apresentados, aliada aos progressos já verificados na extração, no beneficiamento, nas técnicas de aplicação e nos métodos de análise, envolvendo os ensaios de envelhecimento acelerado, permitam o fornecimento de bases para as soluções de conservação de rochas, com ênfase para os esteatitos, xistos e quartzitos de Minas Gerais. Os parâmetros de durabilidade e conservação de rochas são fundamentais para a sua adequada utilização e para alternativas de novas aplicações dos vários tipos de rochas em função de suas características.

O desenvolvimento deste projeto estará contribuindo, sobremaneira, para aumentar o grau de conhecimento mineralógico e tecnológico, tão necessário na boa gestão dos recursos geológicos, e particularmente, na definição de metodologias analíticas adequadas para o estudo da susceptibilidade à alteração de rochas com valor ornamental. Além disso, a realização do mesmo vai ao encontro dos objetivos do Curso de Pós-Graduação do DEGEL, da Rede Nacional de Tecnologia e Qualidade de Rochas Ornamentais (RETEq-Rochas do CETEM/CNPq) e do LABTECRochas do CPMT/UFMG, de maneira a contribuir com o programa de caracterização de rochas.