

ROCHAS PARA REVESTIMENTO DE EDIFICAÇÕES: VARIEDADES, SELEÇÃO, USOS E DURABILIDADE

Maria Heloisa Barros de Oliveira Frascá

Geóloga, IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo
Av. Prof. Almeida Prado, 532 – CEP 05508-901 – São Paulo, SP
Fone: (11) 3767-4350 – Fax: (11) 3767-4346 – mheloisa@ipt.br

RESUMO

Tecnologias em rochas para revestimento abrangem, atualmente, a caracterização tecnológica e ensaios de alteração, com o objetivo de se obter parâmetros químicos, físicos, mecânicos e petrográficos que orientarão a escolha e uso desses materiais na construção civil.

Com esse enfoque são apresentadas as principais variedades de rochas para revestimento e os critérios para escolha de materiais, baseados nas propriedades tecnológicas, visando os usos mais adequados.

Ensaio de alteração acelerada, que simulam situações de exposição dos materiais rochosos a atmosferas agressivas e/ou poluídas ou a reagentes químicos usados na limpeza e manutenção, são utilizados para indicar a durabilidade da rocha e as medidas preventivas para evitar/retardar o “envelhecimento” da rocha.

Também são apontadas, como uma das demandas atuais do setor, ações visando a qualificação sistematizada das matérias-primas e dos produtos, das técnicas mais adequadas para colocação e manutenção de rochas em revestimento e a difusão dessas tecnologias, principalmente, ao mercado consumidor.

INTRODUÇÃO

O termo rochas ornamentais tem as mais variadas definições. A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, no prelo) define rocha ornamental como: material rochoso natural, submetido a diferentes graus ou tipos de beneficiamento, utilizado para exercer uma função estética.

Rocha para revestimento é definida pela ABNT como rocha natural que, submetida a processos diversos de beneficiamento, é utilizada no acabamento de superfícies, especialmente pisos, paredes e fachadas, em obras de construção civil. Essa definição pode ser considerada similar à que a *American Society for Testing and Materials* (ASTM, 2001) propõe para *dimension stone*: pedra natural que foi selecionada, regularizada ou cortada em tamanhos e formas especificados ou indicados, com ou sem uma ou mais superfícies mecanicamente acabadas.

As rochas para revestimento podem ser, dessa forma, consideradas produtos do desmonte de materiais rochosos em blocos e de seu subsequente desdobramento em chapas, posteriormente polidas e cortadas em placas.

As duas grandes categorias comerciais de rochas ornamentais e de revestimento são os “granitos”, que comercialmente englobam rochas silicáticas (ígneas ácidas e intermediárias plutônicas e/ou vulcânicas, charnockitos, gnaisses e migmatitos), e o “mármore”, comercialmente entendido como qualquer rocha carbonática, tanto de origem sedimentar, como metamórfica, passível de polimento.

Ardósias, quartzitos e alguns outros materiais relativamente recentes no mercado, como metaconglomerados, também são largamente utilizados como rochas para revestimento. Porém por razões técnicas e comerciais não devem ser englobadas nos dois grupos acima, pois ainda comercialmente não se dispõe de uma denominação para elas.

Atualmente, as rochas ornamentais são muito utilizadas na construção civil, constituindo os revestimentos verticais (paredes e fachadas) e horizontais (pisos) de exteriores e de interiores de edificações. Respondem pela proteção das estruturas e dos substratos contra o intemperismo e agentes degradadores, domésticos e industriais, além de exercerem funções estéticas.

As rochas graníticas, pela sua enorme variedade de cores e padrões texturais e estruturais, são as mais utilizadas nos revestimentos de exteriores, tanto em pisos como fachadas. Os mármore, em geral importados, seguem de perto, principalmente no tocante ao revestimento de interiores.

Ardósias, quartzitos foliados (popularmente conhecidos como pedra mineira, pedra Goiás etc.) e outras rochas, que, pelo seu processo de extração (como por exemplo, a pedra Miracema – um gnaiss), têm superfície rugosa, submetidas a processos de beneficiamento somente de esquadreamento, que é utilizada predominantemente no revestimento de exteriores.

O padrão estético, fornecido pela cor, textura, estrutura e homogeneidade da rocha, é determinado pelo modo de formação, composição mineral, padrões de orientação ou deformação impressos pela história geológica etc. Constitui o principal condicionante para o comércio e uso da

rocha; por sua vez, impostos pelos modismos e não pelas características tecnológicas das rochas.

Tecnicamente, considera-se que o aproveitamento da rocha para fins ornamentais e para revestimento está relacionado a fatores, além do padrão estético, que estão ligados à geologia do material rochoso, no texto também referidos como fatores intrínsecos:

- tipologia do jazimento: definido pela intensidade e tipo de alteração da rocha, presença de tensões confinadas, heterogeneidade estrutural e textural, entre outros;
- propriedades físicas e químicas, que condicionarão os usos mais adequados da rocha no revestimento de edificações, pois possibilitam a previsão da sua durabilidade perante as solicitações de uso: intempéries, desgaste abrasivo pelo tráfego de pedestres, danos relacionados às variações térmicas etc.

Ou a fatores, muitas vezes de igual importância, mas ligados a outros aspectos, referidos como extrínsecos:

- técnicas de extração e beneficiamento: devem ser adequadas a cada tipo de material, pois eventuais defeitos decorrentes do emprego inadequado de métodos extrativos ou industriais (serragem, polimento e lustração), poderão modificar características naturais (microfissuras, por exemplo), e vir a favorecer ou acelerar a alteração dos constituintes ao serem expostos a novas condições ambientais;
- técnicas de aplicação e condições de uso e manutenção.

CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA

A caracterização tecnológica de rochas é realizada por meio de ensaios e análises, cujo principal objetivo é a obtenção de parâmetros petrográficos, químicos, físicos e mecânicos do material, que permitam a qualificação da rocha para uso no revestimento de edificações.

Os ensaios procuram representar as diversas solicitações às quais a rocha estará submetida durante todo o processamento até seu uso final, quais sejam, extração, esquadrejamento, serragem dos blocos em chapas, polimento das placas, recorte em ladrilhos etc.

Ainda são muito raros os ensaios em rochas beneficiadas (ladrilhos ou chapas polidas), que visem parâmetros para dimensionamento e de previsão de desempenho e durabilidade de rochas para revestimento de fachadas e pisos.

O conjunto básico de ensaios para a caracterização tecnológica de rochas está relacionado a seguir, juntamente com a sua finalidade.

Análise Petrográfica

Fornece a natureza, mineralogia e classificação da rocha, com ênfase às feições que poderão comprometer suas resistências mecânica e química, e afetar sua durabilidade e estética (Figura 1).

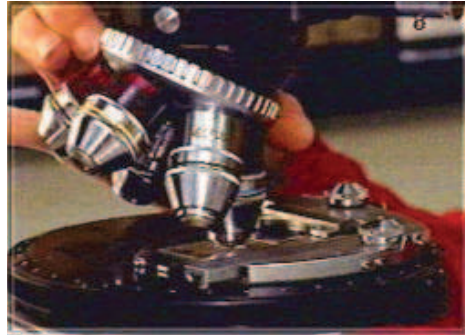


FIGURA 1 – Observação de lâmina petrográfica em lupa estereoscópica.

A análise fundamenta-se na observação de seções delgadas das amostras, estudadas ao microscópio óptico de luz transmitida.

Índices Físicos

Referem-se às propriedades de massas específicas aparentes seca e saturada (kg/m^3), porosidade aparente (%) e absorção d'água (%), que permitem avaliar, indiretamente, o estado de alteração e de coesão das rochas.

Compressão Uniaxial

Determina a tensão (MPa) que provoca a ruptura da rocha quando submetida a esforços compressivos (Figura 2). Sua finalidade é avaliar a resistência da rocha quando utilizada como elemento estrutural e obter um parâmetro indicativo de sua integridade física.



FIGURA 2 – Detalhe de corpo-de-prova rompido, após aplicação de esforços.

Congelamento e Degelo

Consiste em submeter a amostra a 25 ciclos de congelamento e de degelo, e verificar a eventual queda de resistência por meio da execução de ensaios de compressão uniaxial ao natural e após os ensaios de congelamento e degelo. Calcula-se, então, o coeficiente de enfraquecimento (K), pela relação entre a resistência após os ciclos de congelamento e degelo e a resistência no estado natural.

É um ensaio recomendado para as rochas ornamentais que se destinam à exportação para países de clima temperado, nos quais é importante o conhecimento prévio da susceptibilidade da rocha a este processo de alteração.

Tração na Flexão

O ensaio de tração na flexão (ou flexão por carregamento em três pontos, ou ainda, módulo de ruptura) determina a tensão (MPa) que provoca a ruptura da rocha quando submetida a esforços flexores. (Figura 3). Permite avaliar sua aptidão para uso em revestimento, ou elemento estrutural, e também fornece um parâmetro indicativo de sua resistência à tração.



FIGURA 3 – Detalhe de corpo-de-prova rompido por aplicação de esforços flexores.

Dilatação Térmica Linear

O coeficiente de dilatação térmica linear (10^{-3} mm/m.°C) é determinado ao se submeter as rochas a variações de temperatura em um intervalo entre 0°C e 50°C. É importante para o dimensionamento do espaçamento das juntas em revestimentos.

Desgaste Abrasivo Amsler

Indica a redução de espessura (mm) que placas de rocha apresentam após um percurso abrasivo de 1.000 m, na máquina Amsler. (Figura 4).

O abrasivo utilizado é areia essencialmente quartzosa. Este ensaio procura simular, em laboratório, a solicitação por atrito devida ao tráfego de pessoas ou veículos.

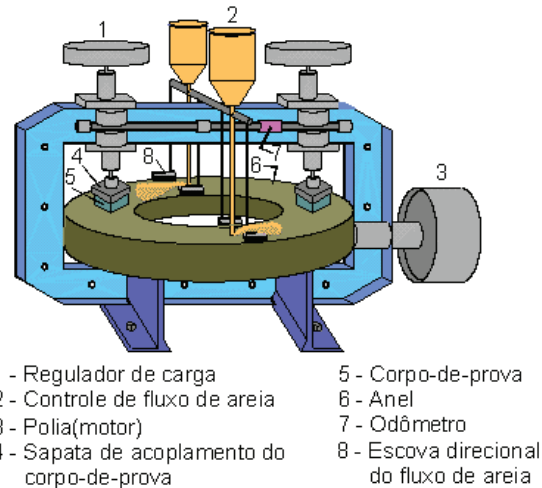


FIGURA 4 – Máquina de desgaste abrasivo Amsler.

Impacto de Corpo Duro

Fornece a resistência da rocha ao impacto, através da determinação da altura de queda (m) de uma esfera de aço que provoca o fraturamento e quebra de placas de rocha. (Figura 5). É um indicativo da tenacidade da rocha.



FIGURA 5 – Detalhe de corpo-de-prova quebrado pela queda de esfera de aço.

Flexão

O único ensaio rotineiro que é realizado obrigatoriamente em rocha beneficiada é o de resistência à flexão (ou flexão por carregamento em quatro pontos). Nesse, simula-se os esforços flexores (MPa) em placas de rocha, com espessura predeterminada, apoiadas em dois cutelos de suporte e com dois cutelos de carregamento (Figura 6). É particularmente importante para dimensionamento de placas a serem utilizadas no revestimento de fachadas com o uso de sistemas de ancoragem metálica para a sua fixação.



FIGURA 6 – Detalhe de corpo-de-prova, obtido a partir de rocha beneficiada, rompido após a aplicação de esforços.

Velocidade de propagação de ondas ultra-sônicas longitudinais

A determinação da velocidade de propagação de ondas ultra-sônicas longitudinais (m/s) (Figura 7) permite avaliar, indiretamente, o grau de alteração e de coesão das rochas. É realizada, complementarmente, em todos os corpos-de-prova destinados aos ensaios de compressão uniaxial e de tração na flexão, e auxilia a interpretação dos resultados obtidos nestes ensaios.



FIGURA 7 – Ilustração da medida de velocidade de propagação de ondas.

Os valores relativamente mais altos, num conjunto de corpos-de-prova de uma mesma amostra ou entre amostras petrograficamente semelhantes, indicam um menor grau de alteração e uma maior coesão entre seus minerais formadores.

Normalmente para este tipo de ensaios utiliza-se o PUNDIT (*Portable Ultrasonic Non Destructive Digital Indicating Test*). Sua importância reside em se tratar de um dos poucos ensaios não destrutivos disponíveis para verificação de propriedades rochosas, sendo assim, também muito empregado na avaliação da degradação de rochas, especialmente nos estudos de recuperação de monumentos históricos em rocha.

Ensaio requeridos X usos pretendidos

O conjunto de ensaios e análises, anteriormente descrito, foi concebido e desenvolvido para representar as solicitações às quais a maioria das rochas de revestimento estará submetida, conforme a situação de uso.

A Tabela 1 exibe as propriedades a serem necessariamente enfocadas para a escolha das rochas para as várias situações de usos no revestimento de edifícios e residências, quer seja em pisos de interiores e exteriores (também denominados revestimentos horizontais de exteriores e de interiores), como em fachadas e paredes de interiores e exteriores (ou revestimentos verticais de exteriores e interiores), aos quais são acrescidos os tampos de pia de cozinhas ou lavatórios.

TABELA 1 – Propriedades importantes para a escolha e utilização de rochas em revestimento, conforme o emprego.

Função do Revestimento	Pisos		Paredes		Fachadas	Tampos ^(*)
	Ext.	Int.	Ext.	Int.		
Tipo de rocha	X	X	X	X	X	X
Absorção D'água	X	X	X	X	X	X
Desgaste Abrasivo	X	X				
Flexão	X	X			X	X
Compressão			X	X	X	
Dilatação Térmica	X	X	X	X	X	
Acabamento Superficial	X	X			X	
Alterabilidade	X	X			X	X

(*) especialmente pias de cozinha

Normatização em rochas ornamentais e para revestimento

As normas técnicas têm visado, tradicionalmente, a padronização de ensaios tecnológicos visando a obtenção de parâmetros físicos, mecânicos e petrográficos, que permitam a qualificação da rocha, especialmente para o uso no revestimento de edificações.

Diversas entidades nacionais e internacionais trabalham na padronização de procedimentos de ensaio; *American Society for Testing and Materials – ASTM*, *Comissão Européia de Normalização – CEN*, *British Standard Institution – BSI*, *Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT*, *Deutsches Institut für Normung – DIN*, entre outros.

A Tabela 2 relaciona os ensaios rotineiros para a caracterização tecnológica de rochas ornamentais, as normas nacionais adotadas e as equivalentes internacionais.

Além dessas normas, sobre procedimentos laboratoriais, a ABNT dispõe de duas dirigidas a projetos, execução e fiscalização de revestimento de paredes e estruturas com placas de rocha (ABNT/NBR 13707: *Projeto de revestimento de paredes e estruturas com placas de rochas* e ABNT/NBR 13708: *Execução e fiscalização de revestimento de paredes e estruturas com placas de rochas*, respectivamente).

TABELA 2 – Ensaios rotineiros de caracterização de rochas ornamentais e respectivas normas.

ENSAIO	NORMA ABNT	NORMA INTERNACIONAL
Análise petrográfica	NBR 12.768	BS EN 12407
Índices físicos	NBR 12.766	ASTM C97 BS EN 1936 ASTM C121 (ardósias)
Compressão uniaxial	NBR 12.767	ASTM C170 BS EN 1926
Congelamento e degelo	NBR 12.769	BS EN 12371
Tração na flexão	NBR 12.763	ASTM C 99 BS EN 12372
Dilatação térmica linear	NBR 12.765	-
Desgaste abrasivo	NBR 12.042	ASTM C 241 ASTM C 1352
Flexão	-	ASTM C 880 ASTM C 120 (ardósias)
Impacto de corpo duro	NBR 12.764	-
Velocidade de propagação de ondas	-	ASTM D 2845

No tocante às demais atividades de mineração ligadas à produção de rochas ornamentais (lavra e beneficiamento) ainda não se têm conhecimento sobre normatização específica. As várias normas disponíveis, para mineração e meio ambiente, aplicam-se às operações comuns da atividade, sem especificidades quanto às rochas ornamentais.

As ASTM e CEN parecem ser, atualmente, as entidades mais produtivas no tocante ao setor de rochas ornamentais.

A ASTM tem publicado, e sistematicamente revisado e atualizado, normas para ensaio, nas quais, aliás, se baseia a maioria das normas brasileiras voltadas para rochas para revestimento. Já estão disponíveis normas para seleção de placas pétreas, seu dimensionamento e escolha de *inserts* metálicos para o revestimento de exteriores.

A CEN, por sua vez, mostra-se preocupada também em prescrever ensaios de alteração de rochas e determinação de parâmetros físicos que permitam a previsão da degradação da rocha em

situações específicas, como por exemplo, resistência à cristalização de sais, ao envelhecimento por choque térmico e outros.

Especificações para o Emprego das Rochas Ornamentais

As propriedades tecnológicas das rochas devem ser consideradas fundamentalmente sob os aspectos de propiciar avaliação da qualidade da rocha e fornecer parâmetros a serem utilizados nos cálculos de projeto. A especificação de valores auxilia a escolha de rochas nos diversos tipos de emprego das rochas.

Pode-se dizer que melhor será a qualidade da rocha, ou seu desempenho em serviço, quanto menor forem: a presença e os teores de minerais alterados ou alteráveis, friáveis ou solúveis, que possam comprometer seu uso, durabilidade e o custo de manutenção; a porosidade e capacidade de absorção e retenção d'água; o desgaste por atrito; etc. E, quanto maior for sua resistência mecânica (à compressão, flexão etc.).

Como parâmetros utilizados nos cálculos de projetos, merecem destaque a resistência à flexão e a massa específica apresentada pela rocha, por serem valores incorporados diretamente no dimensionamento (área e espessura) das chapas e dos dispositivos metálicos de ancoragem destas no revestimento externo (fachadas).

As especificações de limites para seleção das rochas como materiais de revestimento e de construção civil, são geralmente estabelecidas por entidades normatizadoras, com base em resultados de ensaios de laboratório, na observação do comportamento da rocha em serviço, no histórico de desempenho do tipo da rocha em questão e, excepcionalmente, pela experimentação das geometrias das placas e dos painéis ante as condições ambientais e as estipuladas pelo projeto. As informações disponíveis apontam para a ASTM como o único órgão que estabelece especificações para as rochas que se destinam ao revestimento de edificações; "granitos" (ASTM C 615) "mármore" (ASTM C 503), calcários (ASTM C 568), "rochas quartzosas" (ASTM C 616) e ardósias (ASTM C 629). A Tabela 3 mostra os valores estabelecidos pela ASTM.

TABELA 3 – Especificações, segundo ASTM, para rochas ornamentais utilizadas no revestimento de edificações.

Tipo de Rocha		Densidade (kg/m ³)	Absorção d'água (%)	Compressão Uniaxial (MPa)	Flexão (3 Pontos) (MPa)	Flexão (4 Pontos) (MPa)
Granitos (ASTM C 615)		≥2.560	≤0,4	≥131	≥10,34	≥8,27
Mármore – Exterior (ASTM C 503)	Calcita Mármore	>2.595	≤0,20	≥52	≥7	≥7
	Dolomita Mármore	>2.800				
	Serpentina Mármore / Serpentinóis	>2.690				
	Travertino	>2.305				
Calcários (ASTM C 568)	I – Baixa Densidade	≥1.760	≤12	≥12	≥2,9	n.e.
	II – Média Densidade	≥2.160	≤7,5	≥28	≥3,4	
	III – Alta Densidade	≥2.560	≤3	≥55	≥5,9	
Rochas Quartzosas (ASTM C 616)	I – Arenito (≥60% sílica livre)	≥2.003	≤8	≥27,6	≥2,4	n.e.
	II – Arenito Quartzítico (≥90% sílica livre),	≥2.400	≤3	≥68,9	≥6,9	
	III – Quartzito (≥95% sílica livre)	≥2.560	≤1	≥137,9	≥13,9	
Ardósias (ASTM C 629)	I – Exterior	n.e.	≤0,25	n.e.	≥49,6* / ≥62,1**	n.e.
	II – Interior		≤0,45		≥37,9* / ≥49,6**	

* = Paralelo à foliação

** = Perpendicular à foliação

Atualmente, a CEN tem vários projetos de especificação em fase de aprovação, entre os quais citam-se: “blocos”; “produtos semi-acabados (chapas brutas)”; “produtos acabados e ladrilhos”; “produtos acabados (rochas para revestimento)”.

Deterioração e Alterabilidade de Rochas – Conceitos

As rochas ornamentais e para revestimento, pela sua durabilidade e enorme variedade de cores e padrões texturais/estruturais, são muito utilizadas nos revestimentos de exteriores de edificações, tanto em pisos como fachadas. Entretanto, a ação dos agentes intempéricos muitas vezes provoca a deterioração da superfície exposta da rocha, seja através da modificação de seu aspecto estético (perda de brilho e alteração cromática), seja pela danificação da rocha (escamação, manchamentos etc.).

A alteração das rochas se inicia quando entram em contato com as condições atmosféricas reinantes na superfície terrestre.

As principais variáveis que controlam a natureza e a taxa dos vários processos de intemperismo têm sido, desde longo tempo, reconhecidas como sendo a composição e estrutura da rocha, o clima e o tempo de atuação do processo intempérico. O efeito dos vários agentes e processos intempéricos reagindo com as rochas é mostrado por

mudanças mineralógicas, químicas e granulométricas.

Muitos fatores influenciam a susceptibilidade e taxa do intemperismo físico e químico em rochas. Os mais importantes, tendo em vista as rochas de revestimento, são: tipo de rocha, presença de fraturas e/ou fissuras (“porosidade”) e o clima (temperatura e intensidade de chuvas). Adicionalmente, há a ação dos poluentes atmosféricos, nos ambientes urbanos, e o emprego de processos inadequados para o assentamento e manutenção de rochas.

No caso das rochas ornamentais, as modificações físicas das rochas pelos processos de extração e de beneficiamento, podem levar ao aumento do fissuramento, porosidade e outros (Dib, Frascá, Bettencourt, 1999), que irão contribuir para a acentuação dos efeitos deletérios dos agentes intempéricos ou devidos à interferência humana (manutenção e limpeza inadequadas etc.).

A deterioração, numa definição simples, é o conjunto de mudanças nas propriedades dos materiais de construção no decorrer do tempo, quando em contato com o ambiente natural; e implica na degradação e declínio na resistência e aparência estética, neste período (Viles, 1997). Inclui mudanças físicas e químicas do material, desde as alterações relativamente benignas até às esfoliações e escamações. Os termos deterioração e intemperismo

podem ser empregados, no caso das rochas ornamentais, praticamente como sinônimos.

A deterioração de materiais rochosos usados no revestimento de edificações ou em monumentos é mais pronunciada nos centros urbanos e industriais, e muitas vezes podem ser sentidos em materiais ou monumentos localizados distantes destes centros. O meio ambiente urbano, enriquecido em poluentes de variadas fontes, acelera e modifica a degradação destes materiais, ou seja, altera/acelera os processos naturais (Winkler, 1973).

Aires-Barros (1991) define alterabilidade de rochas como um conceito dinâmico, que se refere à aptidão de uma rocha em se alterar, em função do tempo. O tempo, que é considerado na alteração intempérica como um “tempo geológico”, na alterabilidade é um “tempo humano”, à escala do homem e das suas obras de engenharia.

A *American Association for Testing and Materials* (ASTM, 2001), por sua vez, define *durabilidade* como a medida da capacidade da rocha ornamental de manter as características essenciais e distintivas de estabilidade, resistência à degradação e à aparência. A durabilidade é baseada no período de tempo em que a rocha pode manter suas características inatas, em uso. Este tempo dependerá do meio ambiente e do uso da rocha em questão (p. ex., em exteriores ou interiores).

Desta forma, a alteração apresentada pelas rochas estará condicionada a fatores, como: as características intrínsecas da rocha, ou seja, as propriedades físicas e químicas inerentes à sua mineralogia e alterações preexistentes; os defeitos gerados nos métodos e tecnologia de lavra e no processo de beneficiamento (corte e polimento); e, a interação destes com as intempéries e as condições de fixação, manutenção e uso.

No Brasil, as principais causas da degradação destes materiais rochosos podem ser sumariadas como a seguir:

- clima tropical (intensas variações de temperatura e umidade);
- agentes de limpeza, os quais atuam através de diversas substâncias químicas componentes podem causar modificações, especialmente no aspecto estético das rochas;
- poluição ambiental, na qual os diversos elementos dispersos na atmosfera têm grande influência;
- cristalização de sais, principalmente quando as rochas são usadas no revestimento de pisos e assentadas com argamassa.

Ensaio de Alteração Acelerada

Ensaio de alteração acelerada, em laboratório, visam o conhecimento da durabilidade da rocha em relação aos agentes intempéricos, além da investigação dos mecanismos de degradação para cada caso.

Atualmente, estão em desenvolvimento e implantação ensaios de alteração objetivando a

previsão e/ou mitigação de possíveis deteriorações decorrentes da colocação, manutenção e/ou limpeza inadequados. As simulações de alteração procuram verificar as respostas das denominadas características intrínsecas à exposição a ambientes potencialmente degradadores.

Com base na literatura e experiências em trabalhos já realizados no IPT, são relacionadas as seguintes situações para as quais já estão implantados ou em implantação os ensaios de alteração (Tabela 4).

Os procedimentos básicos e escopos de algumas dessas simulações são descritos a seguir.

- **Exposição ao dióxido de enxofre:** O ensaio por exposição ao SO₂ baseia-se na norma ABNT/NBR 8096. Consiste em ciclos de 24h cada, em número ainda não padronizado, nos quais a câmara é mantida aquecida por 8h, e posteriormente ventilada por 16h. A avaliação das degradações é realizada visualmente, por comparação com corpos-de-prova padrão que não foram expostos.
- **Exposição à névoa salina:** O ensaio de intemperismo artificial por exposição à névoa salina baseia-se na norma ABNT/NBR 8094. Nesse ensaio, os corpos-de-prova são colocados em suportes na câmara, de modo à névoa ter livre acesso a todos eles. A avaliação das degradações também é realizada visualmente, por comparação com corpos-de-prova padrão que não foram expostos.
- **Exposição ao intemperismo artificial:** O ensaio de exposição ao intemperismo artificial simula a alteração frente à radiação ultravioleta e oxidação por ciclos de umedecimento e secagem. Os procedimentos para a exposição das amostras ao intemperismo artificial seguem as diretrizes do método ASTM /G 53.
O ensaio consiste em ciclos de 4h de radiação ultravioleta (UV) e de 4h de condensação. A avaliação dos efeitos é realizada periodicamente, durante a execução do ensaio.

Intempéries	
Exposição a intemperismo artificial	Simulação da exposição de rochas, principalmente no revestimento de fachadas, à umidade e irradiação solar (UV).
Exposição à saturação e secagem	Verificar eventual queda de resistência da rocha, após ciclos de umedecimento em água e a secagem em estufa.
Variações térmicas	
Exposição da rocha a choque térmico	Verificar eventual queda de resistência da rocha, após ciclos de aquecimento e resfriamento imediato em água.
Exposição da rocha a congelamento e degelo	Verificar eventual queda de resistência da rocha, pela imersão da rocha em água e realização de ciclos de congelamento e degelo em temperatura ambiente.
Ação de poluentes	
Exposição da rocha a ambientes ácidos e salinos	Simulação de ambientes urbanos poluídos (umidade e H ₂ SO ₄) e marinhos (névoa salina), potencialmente degradadores de materiais rochosos.
Assentamento em piso	
Efeito da cristalização de sais	Simulação de eflorescências e outros efeitos deletérios por imersão parcial de corpos-de-prova de ladrilhos polidos em soluções de natureza ácida e básica.

Ensaio de resistência ao ataque químico

Consistem na exposição, por tempos predeterminados, da superfície polida da rocha a alguns reagentes comumente utilizados em produtos de limpeza e de uso doméstico, para verificar a susceptibilidade da rocha ao seu uso, principalmente como materiais de limpeza. Os reagentes utilizados, concentrações e tempo de contato estão relacionados na Tabela 5.

TABELA 4 – Condições para a realização de ensaio de resistência ao ataque químico.

REAGENTE QUÍMICO	CONCENTRAÇÃO	TEMPO DE CONTATO
ácido clorídrico	3%, em massa	168h
hidróxido de potássio	10%, em massa	168h
ácido cítrico	3%, em massa	6h
hipoclorito de sódio	2,5%, em massa	6h
hidróxido de amônio	10%, em massa	6h

As eventuais alterações são verificadas visualmente. É baseado na norma “Placas cerâmicas para revestimento – especificação e métodos de ensaio: determinação da resistência ao ataque químico”, ABNT/NBR 13.818, foi adaptado e modificado para ladrilhos de rochas polidas.

Os resultados desses ensaios comumente indicam que o ácido clorídrico provoca, em diferentes graus de intensidade, modificações na superfície

polida das rochas, em especial as de natureza granítica. Frascá *et al.* (1999) verificaram que, em presença de soluções com HCl e em condições propícias, geralmente há a oxidação de minerais, principalmente máficos (biotita), que tendem a empobrecer no elemento ferro.

Observa-se, nesse ensaio, desde o incipiente clareamento da área de contato, passando pelo clareamento e descoloração dos minerais máficos chegando até o branqueamento total da rocha (em geral nos “granitos” pretos). (Figura 8).

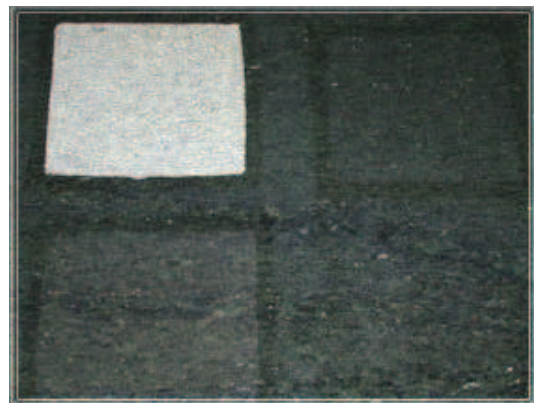


FIGURA 8 – Ladrilho polido de “granito preto”, com total branqueamento após aplicação de HCl.

Degradações

As degradações e/ou deteriorações em rochas para revestimento, também denominadas patologias, como já mencionado, são função das características intrínsecas das rochas (propriedades físicas e químicas) em interação com os processos de beneficiamento e colocação na obra, em conjunto com as características do meio ambiente e ações antrópicas.

Os principais agentes degradadores são a presença de água, variações de temperatura e ação de sais hidrossolúveis.

A porosidade, que reflete o espaçamento entre grãos (rochas sedimentares), estado microfissural (rochas ígneas e metamórficas) e o grau de alteração intempérica, é considerada o principal condicionante das degradações de rochas, pois representa as vias de acesso da água ao interior da rocha.

As degradações ou patologias mais comuns em rochas para revestimento são os manchamentos¹, subeflorescências², inchamento³ e escamação⁴; a maior parte ocorrendo em pisos ou paredes assentados com argamassa.

Em fachadas aeradas (com placas de rocha fixadas por *inserts* metálicos) o fenômeno mais provável, mas felizmente incomum, é o fissuramento ou fraturamento provocados pelas variações térmicas ou sobrepeso do material.

Uma vez instalada a patologia, não se dispõe, ainda, de técnicas eficientes para a restauração e/ou recuperação do material rochoso. Por isso, tem-se buscado a prevenção das deteriorações por meio do desenvolvimento de ensaios de alteração acelerada ou pelo melhor conhecimento de suas características, através dos estudos diagnósticos, a seguir exemplificados.

Estudos diagnósticos

A petrografia é a principal técnica aplicada ao estudo diagnóstico das patologias nos materiais rochosos. Em geral é acompanhada de análises mineralógicas auxiliares como a difratometria de raios X e microscopia eletrônica de varredura com

espectrômetro de raios X, por dispersão de energia (EDS) acoplado.

- **Petrografia:** constitui na análise de seções delgadas da rocha, visando o reconhecimento das alterações dos minerais constituintes, a identificação de microfissuramento e de outras feições que estejam condicionando as deteriorações detectadas na rocha estudada, como manchamentos, inchamentos e escamação.
- **Microscopia eletrônica de varredura,** com espectrômetro de raios X por dispersão de energia (EDS) acoplado (para análises químicas pontuais), é uma técnica auxiliar muito importante na determinação dos novos minerais gerados nos processos de alteração.
- **Difratometria de raios X:** geralmente realizada em fragmentos de minerais removidos das amostras, por quebra ou raspagem, também auxilia na identificação de minerais neoformados e os de alteração.

A seguir são descritos algumas manifestações patológicas mais comuns e os fatores condicionantes predominantes (Frascá; Quitete, 1999).

Patologias relacionadas à mineralogia x ação climática:

- Os minerais máficos, notadamente a biotita, são os que mais contribuem para algumas das deteriorações comumente diagnosticadas. em condições de umidade, sem lixiviação, a biotita pode se hidratar e/ou se alterar em argilominerais expansivos (esmectitas), o que possibilita seu destacamento da rocha e a formação de cavidades na face polida.
- A ação climática (alternância de insolação e umidade) e/ou de procedimentos inadequados de colocação e/ou manutenção podem resultar no manchamento da rocha, que é conferido por áreas irregularmente dispostas, na superfície polida, com colorações esverdeadas e/ou amareladas.
- Rochas de cor branca, em geral provenientes de cinturões metamórficos de alto grau, podem exibir modificação de cor – amarelo-alaranjado (semelhante à da ferrugem) – por provável oxidação do elemento ferro disposto no retículo cristalino dos minerais da rocha.

Patologias relacionadas ao arranjo textural e grau de alteração:

- arranjo textural, favorecido pelos graus de microfissuramento e de alteração intempérica da rocha, aparentemente são condicionantes nos processos de subeflorescência.
- Nos processos de subeflorescência pode ocorrer a escamação da face polida da rocha, pelo destacamento de minúsculos fragmentos de rocha, provocado pela pressão de cristalização de sais (principalmente sulfatos e carbonatos de cálcio, potássio e sódio), geralmente em microfissuras subparalelas à face polida.

¹ alteração que se manifesta com pigmentação acidental e localizada da superfície. Está relacionada com a presença de material estranho ao substrato.

² formação, geralmente esbranquiçada, de aspecto cristalino, pulverulento ou filamentosos sobre a superfície do material. No caso de eflorescências salinas, a cristalização pode se desenvolver no interior do material (subeflorescência ou criptoflorescência), freqüentemente provocando o destacamento das partes mais superficiais.

³ levantamento superficial e localizado do material, que pode assumir forma e consistência variáveis.

⁴ degradação que se manifesta através da separação total ou parcial de zonas (escamas) do material original. Os escamas têm formas e espessuras irregulares e desenvolvimento tridimensional.geralmente, estão constituídas de material aparentemente intacto. Embaixo delas podem ser observadas eflorescências.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS E BIBLIOGRAFIA

- ABNT- Associação Brasileira de Normas Técnicas. no prelo. *Rochas para revestimento: terminologia*. Projeto 02:105.45-012.
- ASTM-American Society for Testing and Materials. 2001. C119/01. *Standard terminology relating to dimension stone*.
- Aires-Barros, L. 1991. *Alteração e alterabilidade de rochas*. Instituto Nacional de Investigação Científica, Lisboa:Universidade Técnica de Lisboa. 384p.
- Dib, P.P.; Frascá, M.H.B.O.; Bettencourt, J.S. 1999. *Propriedades tecnológicas e petrográficas do "Granito Rosa Itupeva" ao longo dos estágios de extração e beneficiamento*. In: SIMP.GEOLOGIA DO SUDESTE, 6, São Pedro, 1999. Boletim de Resumos, SBG/UNESP: São Pedro. p.154.
- Frascá, M.H.B.O. 2003. *Estudos experimentais de alteração acelerada em rochas graníticas para revestimento*. 281p. Tese (Doutorado) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- Frascá, M.H.B.O. (coord.); Mello, I.S.C.; Quitete, E.B. 2000. *Rochas ornamentais e de revestimento do Estado de São Paulo*. São Paulo: IPT. CD-ROM.
- Frascá, M.H.B.O. & Quitete, E.B. 1999. Estudos diagnósticos de patologias em rochas de revestimento. *Memorias/Proceedings...* VII Congreso Iberoamericano de Patología de las Construcciones, Montevidéo, Uruguai. Asiconpat/CIB:Montevidéo. v. 2. p. 1367-1373.
- Frascá, M.H.B.O., Frazão, E.B., Quitete, E.B. 1999. Alterabilidade de rochas ornamentais: metodologia para previsão da durabilidade pela exposição a produtos de limpeza. *Memorias/Proceedings...* VII Congreso Iberoamericano de Patología de las Construcciones, Montevidéo, Uruguai. Asiconpat/CIB:Montevidéo. v. 3. p. 1831-1836.
- Frazão, E.B.; Farjallat, J.E.S. 1996. Proposta de especificação para rochas silicáticas de revestimento. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA, 8., 1996, Rio de Janeiro. *Anais ...* Rio de Janeiro: ABGE. v.1, p. 369-380.
- Viles, H.A. 1997. Urban air pollution and the deterioration of buildings and monuments. In: Brune, D., Chapman, D.V., Gruynne, M.D., Pacyna, J.M. (ed.) 1997. *The global environment: science, technology and management*. Scandinavian Science Publ.; Weinheim; VCH: Germany. p. 599-609.
- Winkler, E.M. 1973. *Stone: properties, durability in man's environment*. New York:Springer-Verlag. 230p.