

# **Caracterização tecnológica das rochas que recobrem o monumento do Cristo Redentor como ferramenta de auxílio ao restauro**

**Amanda Menezes Ricardo**  
Bolsista de Iniciação Científica, Geologia, UFRJ

**Joedy Patricia da Cruz Queiroz**  
Orientadora, Geóloga, D. Sc.

**Roberto Carlos da Conceição Ribeiro**  
Co-orientador, Eng. Químico, D. Sc.

## **Resumo**

O monumento do Cristo Redentor é recoberto por pedra sabão e está sujeito à ação da degradação, devido a sua localização, que está relacionada principalmente com a alta umidade, salinidade e crescimento de microrganismos. O objetivo deste trabalho foi realizar a caracterização tecnológica da rocha que recobre o monumento, bem como verificar os agentes de degradação de sua superfície. Para tal, foram realizados ensaios para determinações colorimétricas, porosidade, absorção de água e avaliação microbiológica. Os resultados mostraram elevados valores de porosidade, em torno de 4%, e absorção de água, em torno de 2%, valores estes muito elevados para a pedra-sabão (<0.5%). A avaliação microbiológica detectou uma série de microrganismos, como *Penicillium sp.*, que durante seu metabolismo produz ácidos que são, possivelmente, os responsáveis pelo elevado nível de degradação da rocha. Após a aplicação do protetivo hidrofugante, observou-se a preservação das características cromáticas e diminuição dos valores de porosidade e absorção de água.

## **1. Introdução**

### **1.1 Restauro de Rochas**

O restauro de monumentos arquitetônicos e artísticos surge da necessidade de se preservar os registros que marcam, não só momentos da história de uma sociedade, como também estilos de épocas passadas, crenças e rituais religiosos, sendo, portanto, um trabalho de vital importância tanto no âmbito cultural quanto científico (Kühl, 2006).

### **1.2 Monumento ao Cristo Redentor**

A estátua do monumento ao Cristo Redentor se enquadra nestes aspectos mencionados anteriormente, e é recoberta por um mosaico de pedra-sabão (Figura 1a), ou esteatito, no qual cada peça que o compõe é designada como tessela (Figura 1b). Dentre os problemas encontrados na rocha, foi possível identificar patologias decorrentes ao ambiente em que o monumento se encontra como manchamento, descoloração, perda de massa, trincas e fraturas (Figura 2).



Figura 1 a. Mosaico de tesselas no monumento.



Figura 1 b. Tessela de esteatito.

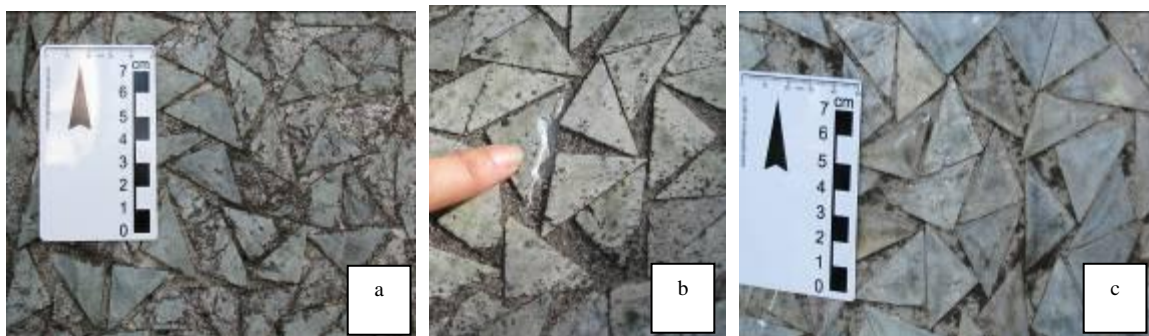


Figura 2. Patologias encontradas. (a) desintegração e fissuras. (b) Perda de massa. (c) descoloração.

### 1.3 Caracterização Tecnológica

A caracterização tecnológica de rochas determina os parâmetros petrográficos, químicos, físicos e mecânicos do material, e permite a qualificação da rocha para uso no revestimento de edificações. Ensaios de alteração acelerada, simulam situações de exposição dos materiais rochosos em atmosferas agressivas e/ou poluídas ou a reagentes químicos usados na limpeza e manutenção. Os resultados dessas simulações indicam principalmente as medidas preventivas para evitar/retardar o “envelhecimento” da rocha (Frasca, 2002).

### 1.4 Métodos Protetivo de Rocha

Dentre os métodos de proteção para retardar o envelhecimento e a degradação das rochas, destaca-se a hidrofugação. Os hidrofugantes são polímeros, geralmente a base de silicone que por sua vez são formados por uma matriz inorgânica com radicais apolares responsáveis pela repelência da água. Por isso, apresentam uma tensão superficial inferior à da água e consequentemente características hidrofóbicas (Maranhão & Loh, 2010).

### 1.6 Pedra-Sabão

A pedra-sabão recobre o monumento e é uma rocha metamórfica de origem máfica ou carbonática composta essencialmente por talco que é um mineral de origem secundária, formado pela alteração de minerais silicáticos ricos em magnésio como a olivina do tipo fosterita, e constitui quase toda massa rochosa. Essa rocha tem como característica ser pouco porosa, séctil, ter brilho sedoso e ser untuosa ao tato (Yardley, 2004).

## 2. Objetivos

O presente trabalho tem como objetivos caracterizar tecnologicamente as rochas de pedra-sabão que recobrem o Cristo Redentor, determinar patologias inerentes, verificar deteriorizações impostas pelo meio e, a partir do conjunto dos dados obtidos através dos ensaios laboratoriais, comparar o comportamento dessa rocha frente às condições de intemperismo em seu estado natural e com aplicação de protetivo hidrofugante e assim, identificar os agentes que causam as maiores degradações no monumento, fornecendo assim, subsídios técnicos para o restauro e preservação do monumento, fazendo com que o trabalho de restauração seja mais eficiente e duradouro.

## 3 Metodologia Experimental

### 3.1 Amostragem

A seleção das tessela removidas foi realizada em conjunto pelo Centro de Tecnologia Mineral (CETEM) e por representantes do Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional (IPHAN). Foram retiradas para os ensaios laboratoriais 9 tesselas do lado Norte, 9 do lado Sul, 9 do lado Leste e 9 do lado Oeste representados na Figura 3.



Figura 3. Conjunto das tesselas retiradas nas posições norte, sul, leste e oeste.

### 3.2 Colorimetria

Para a determinação do padrão cromático das tesselas, foi utilizado um colorímetro da marca é *Technidyne Color Touch 2 Model ISSO*. A leitura do resultado foi feita com base nos valores representados pelos eixos  $a^*$ ,  $b^*$  e  $L^*$  como indica a Figura 4, onde o eixo  $a^*$  indica a variação de cor de verde a vermelho, eixo  $b^*$  azul a amarelo e eixo  $L^*$  branco ao preto.

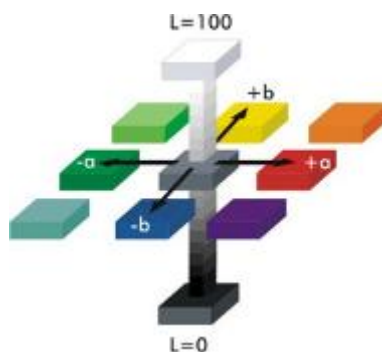


Figura 4. Gráfico de distribuição colorimétrica.

### 3.3 Caracterização Mineralógica

As análises mineralógicas foram determinadas pelo método do pó usando-se um equipamento da marca *Bruker-D4 Endeavor* e as interpretações qualitativas das fases minerais presentes foi realizada por comparação com padrões contidos em banco de dados.

### 3.4 Caracterização Petrográfica

A análise petrográfica, segundo a norma ABNT. NBR 12.768/92, foi realizada através da interpretação de lâminas delgadas de amostras originais, com o intuito de se observar textura, composição mineral, estado microfissural, natureza da rocha e alterações minerais.

### 3.5 Índices Físicos

Por meio deste ensaio pôde-se determinar as massas específica, seca (equação 1) e saturada (equação 2), porosidade (equação 3) e absorção (equação 4) de água por meio de fórmulas especificadas segundo a norma ABNT. NBR 12.766/92. Neste ensaio os corpos de prova foram pesados a seco após 24h em estufa a 70 °C fornecendo o valor equivalente a peso seco (A). Posteriormente, foram submersos em água destilada por 24h assim obtendo-se seus pesos saturados (B) e submersos (C) com o auxílio de uma balança de precisão.

$$\rho = \frac{A}{B-C} \quad (1) \quad \rho = \frac{B}{B-C} \quad (2) \quad \eta = \frac{B-A}{B-C} 100\% \quad (3) \quad \alpha = \frac{B-A}{A} 100\% \quad (4)$$

### 3.6 Avaliação microbiológica

A coleta e identificação dos microorganismos no monumento foram realizados pelo laboratório Mattos e Mattos.

### 3.7 Método de proteção das rochas (hidrofugação)

A água exerce uma importante influência nas características dos monumentos pétreos provocando eflorescência, acelerando o crescimento de microorganismos, dentre outras patologia. Sua afinidade com a superfície desses materiais se deve à tensão superficial que varia de acordo com o meio em que está em contato e, por isso, o uso o hidrofugante faz com que esta tensão seja reduzida. Para os ensaios realizados utilizou-se o hidrofugante da marca *Wacker-Chemie* na proporção de 1: 9, em água rás, ficando 14 dias em repouso para secagem completa.

## 4 Resultados e Discussões

### 4.1 Colorimetria

Os resultados obtidos com o ensaio de colorimetria mostram que há tendência à coloração verde-amarelada clara, devido aos valores médios encontrados para os eixos  $a^*$ ,  $b^*$  e  $L^*$ , respectivamente, -0,11 (verde), 5,3 (amarelo), 53 (claro) como se pode observar pelo gráfico da Figura 4.

### 4.2 Caracterização petrográfica

As tesselas apresentam aspecto maciço e com elevado grau de degradação devido à manchamentos, descoloração, pontos negros e perda de material causando arredondamento nas bordas das tesselas. Ao microscópio (Figura 5a), não apresenta microfissuras, o nível de alteração é médio e os minerais observados são os seguintes: talco, clorita, calcita, tremolita, actinolita.

### 4.3 Caracterização mineralógica

A análise mineralógica pôde ser avaliada pela interpretação DRX indicado na Figura 5b, onde, de um modo geral, os picos de maior intensidade podem ser representados pelos seguintes minerais: talco, tremolita, calcita e clorita, confirmando assim a análise petrográfica.

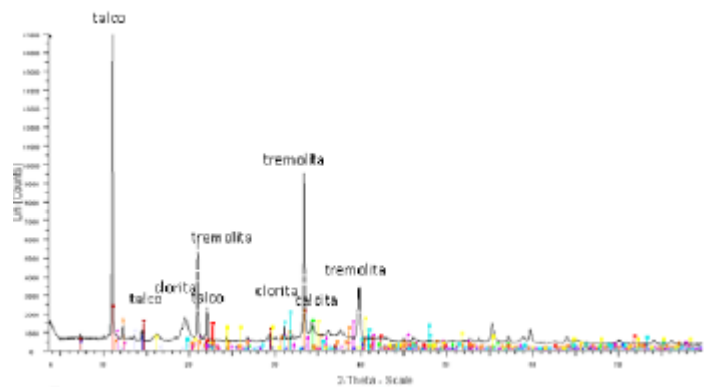
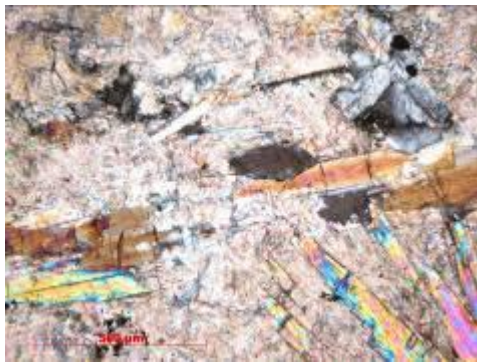


Figura 5. (a) Fotomicrografia da lâmina delgada. Figura 5 (b) Difratograma de raios-X para amostra estudada.

### 4.4 Índices físicos

Os resultados obtidos para as tesselas mostraram que os valores para porosidade e absorção eram muito elevados, cerca de 4% e 2%, respectivamente, estando fora dos padrões normais da rocha sã, especificados no projeto IDEAS (1994), que gera em torno de 0,5%, indicando o alto grau de alteração do material.

### 4.5 Determinação dos microrganismos

A abordagem microbiológica na estátua do Cristo Redentor consistiu, num primeiro momento na observação visual para localização de colônias de fungos e/ou líquens. Foram visualizados diferentes tipos de líquens, com características morfológicas distintas, conforme pode ser observado na Figura 6. São eles: *Penicillium sp.*, *Fusarium sp.*, *Cladosporium* e *Aspergillus*. A Ação do metabolismo produz ácidos orgânicos e inorgânicos,

alteração do pH local, corrosão por aeração diferencial entre outros, que combinados com a atuação de chuvas, ventos, sprays salinos, podem por sua vez acelerar o processo de degradação das rochas em questão.



Figura 6. Assembleias de diferentes microorganismos encontrados no monumento.

#### 4.6 Processo de hidrofugação

O uso da resina hidrofugante teve um papel preponderante, pois mostrou que, indubitavelmente, atua reduzindo os efeitos da porosidade (Figura 7), devido possivelmente à interação entre o hidrofugante e a assembléia de minerais que constituem as tesselas originais, ou também devido à absorção causada pelo elevado grau de fraturamento. É possível que tais tesselas apresentem elevada degradação em sua estrutura de modo que as mesmas possam ter muitos “vazios”, acarretando em um menor valor de massa específica, o que possivelmente reflete nos maiores valores de absorção e porosidade, e, conseqüentemente, na maior absorção de hidrofugante. A predominância cromática (verde-amarelada) não foi afetada significativamente após a aplicação do hidrofugante, houve apenas um leve escurecimento que foi reduzido em pouco tempo (Tabela 1). Além disso, o uso desse protetivo (hidrofugante), possivelmente reduzirá as chances de formação de colônias de microorganismos, já que impedirá a permanência da água na superfície do monumento.



Figura 7: Efeito da água em superfície hidrofugada e não hidrofugada.

Tabela 1: Média dos resultados dos ensaios

		Sem Resinagem	Com Resinagem	Redução em %
Porosidade		4,07 %	0,49 %	88 %
Absorção		2,32 %	0,17 %	93 %
				Variação
Colorimetria	a*	-0,11	-1,49	-
	b*	5,3	8,45	-
	L*	53	37	Escura

## 5. Conclusões

Diante das análises geradas ao longo do processo, foi possível concluir que o estado de alteração das tesselas que recobrem o Cristo Redentor se deve principalmente à ação de microorganismos, que associados a alta umidade do local, se proliferam e sintetizam ácidos durante o seu metabolismo alterando consubstancialmente a

estrutura da rocha. A rocha alterada fica vulnerável para a ação do ataque de umidade e salinidade do local acentuando ainda mais o processo de deterioração da rocha.

Conclui-se ainda, que a aplicação do hidrofugante foi um procedimento importante já que reduziu a penetração de água na rocha e, conseqüentemente, impedirá a proliferação microbiológica e a vulnerabilidade da rocha. Portanto, comprova-se a importância da caracterização tecnológica como ferramenta que pode ser aplicada nos estudos de restauro de rochas.

## 6. Agradecimentos

Ao CNPq pela bolsa de iniciação científica, ao IPHAN e à CONE Engenharia.

## 7. Referências Bibliográficas

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12.766/92**: rochas para revestimento, determinação da massa específica aparente, porosidade aparente e absorção d'água aparente. Rio de Janeiro. 1992.

\_\_\_\_\_. **NBR 12.768/92**: rochas para revestimento, análise petrográfica. Rio de Janeiro. 1992.

\_\_\_\_\_. **NBR 8094/83**: material metálico revestido e não revestido – Corrosão por exposição à névoa salina. Rio de Janeiro. 1983.

\_\_\_\_\_. **NBR 8095/83**: material metálico revestido e não revestido – Corrosão por exposição à umidade. Rio de Janeiro. 1983.

FRASCÁ, M. H. B. O. Caracterização tecnológica de rochas ornamentais e de revestimento: estudo por meio de ensaios e análises e das patologias associadas ao uso. **III SIMPÓSIO DE ROCHAS ORNAMENTAIS DO NORDESTE**. Recife - PE . 2002

**IDEAS** – Investigations into devices against environmental attack on stones. A German-Brazilian project carried out under the auspices of the German-Brazilian governmental agreement on cooperation in Scientific Research and Technological Development. 1994.

KUHL, M. B. História e Ética na Conservação e na Restauração de Monumentos Históricos. São Paulo, **Heritage**, v.1. nº.1. p. 16-40. 2006.

MARANHÃO, L. F & LOH, K. O uso de hidrofugantes em materiais de construção porosos. Revista Técnica. 2010.

YARDLEY, D. W. B. **Introdução à petrologia metamórfica**. 2ªed. Editora. Universidade Nacional de Brasília - UNB. 2004.