

SÉRIE ROCHAS E MINERAIS INDUSTRIAIS

Alterações causadas em rochas ornamentais pelo efeito do ácido úrico e da ureia presentes na urina

PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA

Dilma Vana Rousseff

Presidente

Michel Miguel Elias Temer Lulia

Vice-Presidente

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA

Aloizio Mercadante Oliva

Ministro da Ciência e Tecnologia

Luiz Antonio Rodrigues Elias

Secretário-Executivo

Arquimedes Diógenes Ciloni

Subsecretário de Coordenação das Unidades de Pesquisa

CETEM – CENTRO DE TECNOLOGIA MINERAL

José Farias de Oliveira

Diretor

Carlos César Peiter

Coordenador de Apoio Tecnológico à Micro e Pequena Empresa

Arnaldo Alcover Neto

Coordenador de Análises Minerais

Claudio Luiz Schneider

Coordenador de Processos Minerais

Cosme Antônio de Moraes Regly

Coordenador de Administração

Ronaldo Luiz Correa dos Santos

Coordenador de Processos Metalúrgicos e Ambientais

Andréa Camardella de Lima Rizzo

Coordenador de Planejamento, Acompanhamento e Avaliação

SÉRIE ROCHAS E MINERAIS INDUSTRIAIS

ISSN 1518-9155

ISBN 978-85-61121-86-0

SRMI - 16

Alterações causadas em rochas ornamentais pelo efeito do ácido úrico e da ureia presentes na urina

Roberto Carlos da Conceição Ribeiro

Engenheiro químico, doutor em tecnologia de processos químicos e bioquímicos, pesquisador adjunto do CETEM

Núria Fernández Castro

Engenheira de minas, mestre em Geologia, tecnologista plena do CETEM

Joedy Patrícia Cruz Queiróz

Geóloga, doutora em engenharia

Vanessa Machado Daniel

Técnica em mineração, bolsista PCI do CETEM

CETEM/MCT

2011

SÉRIE ROCHAS E MINERAIS INDUSTRIAIS

Sílvia Cristina Alves França

Editora

Luiz Carlos Bertolino

Subeditor

CONSELHO EDITORIAL

Antonio Rodrigues Campos (CETEM), Francisco Wilson Holanda Vidal (CETEM), Jurgem Schnellrath (CETEM), Salvador Luiz M. de Almeida (CETEM), Artur Pinto Chaves (USP), Benjamin Calvo Pérez (Universidade Politécnica de Madri), Carlos Adolpho Magalhães Baltar (UFPE), Marsis Cabral Junior (IPT), José Mário Coelho (UFRJ) e Renato Ciminelli (Consultor).

A Série Rochas e Minerais Industriais publica trabalhos na área minerometalúrgica. Tem como objetivo principal difundir os resultados das investigações técnico-científicas decorrentes dos projetos desenvolvidos no CETEM.

O conteúdo desse trabalho é de responsabilidade exclusiva do(s) autor(es).

Thatyana Pimentel Rodrigo de Freitas

Coordenação Editorial

Vera Lúcia Espírito Santo Souza

Programação Visual

Andrezza Milheiro

Revisão

Ribeiro, Roberto Carlos da Conceição (et al.)

Alterações causadas em rochas ornamentais pelo efeito do ácido úrico e da ureia presentes na urina / Roberto Carlos da Conceição Ribeiro (et al.). ____ Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2011.

50p. (Série Rochas e Minerais Industriais, 16)

1. Rochas Ornamentais. 2. Ácido úrico. 3. Ureia. 4. Urina. I. Centro de Tecnologia Mineral. II. Castro, Nuria Fernandes. III. Queirós, Joedy Patricia Cruz. IV. Daniel, Vanessa Machado. V. Título

SUMÁRIO

RESUMO	7
ABSTRACT	8
1 INTRODUÇÃO	9
1.1 Rochas Ornamentais	9
1.2 Aplicação das rochas	9
1.3 Patologias em Rochas	10
1.4 Principais agentes causadores das patologias em rochas	16
2 OBJETIVO	22
3 EXPERIMENTAL	23
3.1 Origem dos Corpos de Prova	23
3.2 Caracterização das Rochas	23
3.3 Caracterização da Urina	25
3.4 Interação Urina/Rochas	25
3.5 Modelagem Molecular	26
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	27
4.1 Caracterização das rochas	27
4.2 Interações Urina/Rocha	39
4.3 Modelagem Molecular	42
5 CONCLUSÕES	44
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	45

RESUMO

As rochas ornamentais e de revestimento estão sujeitas a diversas manifestações patológicas, bem como modificações em sua coloração, manchas, bolores e perda de brilho, geralmente, devido a agentes exógenos, como: chuva ácida, sais, umidade, micro-organismos e outros. Dessa forma, neste trabalho objetiva-se identificar as patologias causadas pela ação da urina em rochas ornamentais. Para tal, oito diferentes tipos de granito, um mármore e um calcário foram caracterizados e submetidos à ação da urina, observando-se os efeitos dessa exposição. De forma complementar, realizou-se um estudo de modelagem molecular verificando-se a interação do ácido úrico e da ureia, principais componentes da urina, com os minerais quartzo, feldspato e calcita, constituintes principais das rochas em estudo. Pôde-se verificar que todas as rochas apresentaram alterações, especificamente manchamento, intensificadas nos materiais mais porosos. A modelagem molecular foi capaz de indicar que ocorrem intensas ligações intermoleculares, do tipo ligação de hidrogênio, entre a ureia ou o ácido úrico com minerais constituintes das rochas, independentemente da porosidade e que tal fato pode estar relacionado com o manchamento, pois o ataque nessas regiões das rochas pode proporcionar a liberação de alguns elementos, como os ferrosos, gerando as manchas.

Palavras-Chave

Alterabilidade em rochas ornamentais, ureia e ácido úrico.

ABSTRACT

Natural and dimension stones usually show pathologies as well as color changes, stains, dettachments and brightness loss. Those alterations are generally caused by exogen agents, such as acid rain, salts crystallization, humidity, micro-organisms and others. This research aims to identify pathologies caused by urine, agent to which stones are exposed when used as façades coverings or as bathroom's pavement and walls coverings. Eight types of commercial granites, one marble type and a limestone were characterized and exposed to urine action, being its effects observed. Complementary a molecular interaction model was developed in order to understand the uric acid and urea bonds formation with the stones forming minerals: quartz, feldspar and calcite. It was observed that all the samples were altered by the urine exposure, appearing stains more intensively within the more porous materials. The molecular model developed indicated that those stains were related to the intense intermolecular bonds formed, such as hydrogen bonds between the urine compounds (ureia and uric acid) and the constituting minerals of the stones. So, the study showed that the molecular interactions caused the stains in all kind of stones and the more the porosity, the more the intensity of the stains.

Keywords

Natural stones alterability; ureia and uric acid.

1 | INTRODUÇÃO

1.1 | Rochas Ornamentais

Segundo Chiodi Filho (2002), os materiais naturais de ornamentação e revestimento abrangem as rochas que podem ser extraídas em blocos ou placas, cortadas em formas variadas e que têm suas faces beneficiadas através de esquadreamento, polimento, lustro, apicoamento e flameamento.

Os principais tipos de rochas ornamentais são os granitos e os mármore. Outros tipos rochosos também incluídos no campo das rochas ornamentais são os travertinos, quartzitos, arenitos, conglomerados, ardósias, etc. Rochas que não requerem acabamento de superfície para sua utilização em revestimentos são genericamente referidas no mercado como pedras naturais.

1.2 | Aplicação das Rochas

A importância das rochas ornamentais na arquitetura é histórica, sendo utilizada em edificações tanto como elementos estruturais ou revestimentos em áreas internas e externas. As rochas ornamentais são materiais que agregam valor principalmente através de suas características estéticas, destacando-se o padrão cromático, desenho, textura e granulação.

Geralmente são utilizadas como revestimento de pisos, escadas, paredes, fachadas, pias e lavatório, móveis e tampos, peças de decoração, colunas maciças e arte funerária. Segundo Vicente *et al.* (1996), a rocha é o principal material de construção dos monumentos e edifícios históricos da Europa,

não somente pela sua abundância, mas pela sua resistência e durabilidade.

Tais indicações demonstram acima de tudo a facilidade do uso e a flexibilidade do material, bem como a complexidade desta indústria.

1.3 | Patologias em Rochas

“Produzidas a partir de materiais naturais, as placas de rochas utilizadas em revestimentos e pavimentações estão sujeitas a alterações dos padrões originais, de modo que se não forem levadas em conta desde a elaboração do projeto e monitoradas adequadamente, podem se acelerar em razão de diversos fatores patológicos, apresentando, inicialmente, uma redução do nível de qualidade estética evoluindo para deteriorações que comprometam o desempenho técnico-funcional e a estabilidade e segurança do sistema” (GAMA, 2001).

A degradação ou deterioração das rochas, ao serem utilizadas na construção civil, ocorre por meio de mudanças nas propriedades desses materiais, em contato com o ambiente natural, no decorrer do tempo (VILES, 1997). Dependendo da natureza e do seu grau de porosidade ou microfaturamento, as rochas podem apresentar um alto grau de absorção de água, avançado grau de alteração mineralógica ou presença de minerais deletérios, o que as tornam mais susceptíveis a aparição de manifestações patológicas.

As patologias mais frequentemente observadas nas rochas são: modificação na coloração, manchamentos, eflorescências, bolor, degradações, deteriorações, fissuramento, perda da resistência, desgaste mecânico, descolamento, juntas descon-

tínuas, falhas nos rejuntamentos, perda de brilho, entre outras (AIRES-BARROS, 1991 e GAMA, 2001).

1.3.1 | Modificações na Coloração

Alterações na coloração das rochas (Figura 1.1) podem ocorrer devido à presença de minerais que, quando alterados, perdem suas características iniciais, casos, por exemplo, de minerais ferrosos. Mudanças na coloração podem ser ocasionadas também pela deposição de sujeiras e amarelamento de ceras ou de outras películas utilizadas na proteção da superfície da rocha (AIRES-BARROS, 1991).



Figura 1.1. Exemplo de mudança de coloração.

Bonaduce *et al.* (2009) realizaram um diagnóstico do amarelamento e escurecimento dos mármorees que fazem parte de

esculturas e painéis do século XVI da capela de Santo Antônio de Pádua, em Pádua - Itália e puderam verificar que tais fatores estariam relacionados com a oxidação da matéria orgânica oriunda da aplicação de ceras de abelhas, gorduras animais ou ovos que eram utilizados como forma de polimento na superfície das rochas no século XVIII. Segundo Rampazzi *et al.* (2004), substâncias orgânicas, como ovos, leite, gorduras animais, resinas naturais, óleos e colas eram comumente utilizadas nas pastas empregadas no polimento de monumentos.

Estudos de Morani *et al.* (2009) indicaram mudanças na coloração de banheiras históricas do século XIX localizadas na Floresta da Tijuca – RJ. As banheiras, confeccionadas em mármore, apresentaram manchamentos causados, possivelmente, pela deposição de sujeiras, ataque salino e elevada umidade.

1.3.2 | Manchamento

O manchamento relaciona-se com as características intrínsecas das rochas e, geralmente, está associado à elevada porosidade, elevada permeabilidade, constituição mineralógica, e a existência de fatores externos à construção, como infiltrações. A Figura 1.2 ilustra o processo de manchamento.



Figura 1.2. Exemplo de manchamento.

1.3.3 | Oxidação

O processo de oxidação está relacionado com o surgimento de manchas específicas, amareladas, que ocorrem nos materiais pétreos constituídos de minerais ferrosos, provocadas pelo contante contato com água, como indica a Figura 1.3.

Na maior parte das rochas, o ferro ocorre sob a forma de compostos ferrosos. Quando as moléculas complexas dos silicatos são destruídas, há a rápida mudança do ferro ferroso para ferro férrico, provocando o aparecimento de manchas nas peças (FRASCÁ, 2003).



Figura 1.3. Exemplo de oxidação da rocha.

1.3.4 | Eflorescências

As eflorescências são depósitos de sais lixiviados das argamassas ou de materiais sobre os quais as placas de rocha estão colocadas. Podem surgir nas juntas entre os ladrilhos e cobrir a superfície da pedra (Figura 1.4) ou aparecer como depósitos na superfície do ladrilho quando a água se acumula entre a placa e o tardo, e consegue alcançar a superfície da rocha. O principal efeito das eflorescências é estético, porém, no último caso a ascensão e a cristalização dos sais, através do material pétreo, produz tensões na rocha que podem provocar a degradação e o lascamento da mesma.



Figura 1.4. Exemplo de eflorescência.

1.3.5 | Formação de Filmes de Oxalato de Cálcio

O fenômeno conhecido como filme de oxalato de cálcio afeta, principalmente, rochas carbonáticas gerando graves danos a monumentos e fachadas.

O fato mais conhecido deste processo ocorreu no monumento do Parthenon – Grécia. Segundo Garcia-Valles *et al.* (1998) e Vandrell-Saz *et al.* (1996) a formação deste filme pode estar relacionada a um processo biológico ou químico. Segundo a ótica biológica, micro-organismos proliferam-se na superfície da rocha e o ácido oxálico é um produto metabolizado por eles, que ao entrar em contato com a superfície da rocha gera o filme de oxalato de cálcio.

Segundo a ótica química, a oxidação de compostos orgânicos presentes nas rochas, como ceras de conservação, gera o ácido oxálico e o processo final segue o mesmo princípio biológico (LAZZARANI e SALVATORI, 1989).

Estudos de Rampazzi *et al.* (2004) nas igrejas romanas de S. Frediano e Sta Michele e na torre de Pisa indicaram, em todos os pontos analisados, a presença de filmes de oxalato e de materiais orgânicos oxidados, oriundos de ceras, ovos, gordura animal etc., que eram utilizados nas pátinas das rochas. Tal fato enfatiza a teoria química como a mais adequada para formação do filme de oxalato na superfície das rochas.

1.4 | Principais Agentes Causadores das Patologias em Rochas

1.4.1 | Ação da Água

A água é o principal veículo de agressão das rochas e está associada a todos os processos e tipos de alteração química que uma rocha sofre. Atua como veículo de transporte de outras substâncias como sais solúveis, contaminantes atmosféricos e organismos vivos (ZIVICA e BAJZA, 2001).

Vale ressaltar que a chuva fornece a água que causa o intemperismo químico das rochas. O pH da água da chuva tem um padrão sazonal e regional, quando em equilíbrio com o CO₂ atmosférico, seu pH é 5,6. A água da chuva é, por si só, um eletrólito misto que contém quantidades variadas de cátions e ânions e vários compostos de nitrogênio, que pode afetar diretamente na deterioração das rochas. Nos climas úmidos, conduz à remoção dos cátions solúveis dos minerais, produzindo

outros minerais de estrutura simplificada, em equilíbrio com a temperatura e pressão superficiais (CARROLL, 1970).

1.4.2 | Ação do Vento

O vento transporta poluentes atmosféricos e, em regiões próximas à praia, grãos de areia e cloreto de sódio, o que provoca nas rochas, simultaneamente, desgaste por abrasão e oxidação de alguns elementos químicos (LIMA, 2006).

1.4.3 | Ação de Micro-organismos

Algumas rochas podem ser atacadas por bactérias surfactantes e nitrificantes causando fraturamentos, decomposição de minerais, entre outros.

O processo de degradação pode ocorrer devido ao crescimento de micro-organismos unicelulares e filamentosos dentro dos minerais (ADAMO *et al.*, 1993). O metabolismo de determinados micro-organismos pode gerar como produtos e subprodutos: ácidos orgânicos, como cítrico, málico ou oxálico, ácidos inorgânicos, como sulfúrico, nítrico e carbônico, agentes oxidantes, como compostos ferrosos etc. (CARA *et al.*, 2008).

Segundo Casal Moura (2004) o ataque biológico se dá pela formação de colônias de micro-organismos vegetais e ou animais que geram dissolução dos carbonatos e aceleram a transformação de SO_2 em SO_3 . Segundo este autor, uma das formas de proteção é a utilização de reagentes apropriados como o cloreto de isotiasolinona.

Nas banheiras localizadas na Floresta da Tijuca, os micro-organismos são agentes de grande significância na degradação desses monumentos pétreos (MORANI *et al.*, 2009). Outro

caso conhecido da ação destruidora dos micro-organismos, como algas, fungos e líquens, ocorreu nos 12 monumentos dos Profetas de Aleijadinho, em Congonhas do Campo. Além disso, os líquens possuem raízes que penetram nas rochas e causam trincas e produzem ácido oxálico que é bastante corrosivo (GARCIA, 2006).

1.4.4 | Variações Bruscas da Temperatura

A temperatura tende a mudar com a variação do clima, causando dilatação e contração do material, e possivelmente a desfragmentação de alguns minerais.

Estudos de Chen *et al.* (2004), em rochas ornamentais da Turquia indicaram que as mesmas, após sofrerem variações bruscas de temperatura, apresentaram fraturas e posterior rompimento devido ao congelamento da água nos seus poros, ocasionando um aumento de pressão e expansão de volume.

Segundo Hale e Shakoor (2003), o elevado choque térmico sofrido pelas rochas resulta em um processo de expansão e contração dos componentes minerais das mesmas causando elevada fadiga e um stress interno que são responsáveis pelo microfraturamento.

1.4.5 | Efeito da Poluição por SO₂

O dióxido de enxofre presente na atmosfera, emitido durante a queima de combustíveis fósseis, pode formar ácidos sulfúrico e sulfuroso, em presença de umidade do ar, que precipitam sob a forma de chuvas ácidas.

A chuva ácida não provoca efeito direto e perceptível para a população, entretanto é possível notar a sua ação ao longo dos

anos nas rochas ornamentais. Na Grécia, por exemplo, as rochas que constituem o Parthenon e a Acrópole (Figura 1.5) se dissolveram quase que por completo (KELLER, 1996), e na Alemanha, esculturas da Catedral de Colônia foram corroídas ao longo dos anos graças à chuva ácida.



Fonte: Keller, 1996.

Figura 1.5. Degradação da Acrópole em Atenas – Grécia.

1.4.6 | Ação da Salinidade

O ambiente marinho é caracterizado pela sua atmosfera salina, que pode produzir danos severos por corrosão nos diversos materiais rochosos. O principal responsável pela atmosfera marinha corrosiva é o cloreto, íon derivado do cloreto de sódio, soprado pelos ventos no sentido do oceano para o continente,

atingindo as rochas e gerando a degradação devido à cristalização de sais (LIMA, 2006).

A cristalização de sais é um dos agentes intempéricos mais poderosos, pois gera uma tensão interna nos poros do material, que causa a degradação de rochas próximas aos ambientes marinhos, e também em regiões de climas úmidos e ambientes poluídos.

O mecanismo de degradação da rocha ocorre devido à pressão de cristalização dos sais (WINKLER e SINGER, 1972, THEOULAKIS e MOROPOULOU, 1997 e BENAVENTE *et al.*, 1999).

1.4.7 | Ação de Produtos Químicos

Segundo Ferrari (2001), as rochas utilizadas em revestimentos internos são submetidas a condições ambientais mais agressivas como, por exemplo, nos banheiros, pois entram em contato com água, vapor e produtos de limpeza e para higiene e tratamento do corpo.

Os principais agentes de alteração em revestimentos referem-se a substâncias aciduladas convencionalmente manuseadas nos ambientes domésticos. As alterações mais importantes ocorrem pelo ataque físico-químico dos minerais constituintes das rochas, podendo-se destacar algumas reações conhecidas: calcita e dolomita, que são carbonatos e principais constituintes dos mármore, sofrem ataque de todas as soluções aciduladas; já os minerais máficos são mais alteráveis por oxidação que os minerais félsicos, salientando-se os minerais máficos da família dos piroxênios, que se degradam por insolação, modificando o padrão cromático da rocha (FRASCÁ e QUITETE, 1999).

1.4.8 | Ação da Urina em Rochas Ornamentais

No tocante à ação da urina em rochas ornamentais, não existem estudos na literatura reproduzindo ou investigando os mecanismos petrográficos, químicos ou geoquímicos dos processos de deteriorações.

No entanto, é sabido que existem diversas patologias ocasionadas pela ação de urina em rochas ornamentais, principalmente em banheiros, monumentos e fachadas que ficam expostas à ação humana. A patologia da rocha pode estar relacionada com a composição da urina, que geralmente apresenta teores de ácido úrico, ureia, ácido oxálico, sais, dentre outros, que associados a outros fatores, como umidade, temperatura, pH etc. e as condições da rocha, podem ser responsáveis pela sua degradação.

2 | OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é identificar as patologias que possam vir a ocorrer nos materiais rochosos, quando estes forem submetidos à ação da urina e compreender por meio da modelagem molecular o processo de interação entre os principais componentes da urina (ácido úrico e ureia) e os principais minerais das rochas em estudo (quartzo, feldspato e calcita), correlacionando com os resultados laboratoriais visando conhecer o comportamento quando estes são utilizados como revestimento.

3 | EXPERIMENTAL

3.1 | Origem dos Corpos de Prova

Para a realização deste estudo foram utilizados dez tipos de rochas, não polidas, selecionadas a partir de um banco de dados do laboratório do Núcleo Regional do CETEM em Cachoeiro de Itapemirim. Dentre esses materiais oito são granitos denominados comercialmente como Preto Raidho, Material Cinza, Ocre Itabira, Cinza Corumbá, Vênus, Falcon Brown, Golden Cristal e Branco Siena, um Mármore denominado comercialmente como Branco Cintilante e um Calcário conhecido comercialmente como Pedra Cariri.

3.2 | Caracterização das Rochas

As características tecnológicas das rochas foram obtidas por meio de análises realizadas segundo procedimentos normatizados pela Associação Brasileira de Normas Técnicas-ABNT para determinação da massa específica aparente, porosidade e absorção d'água (índices físicos).

3.2.1 Índices Físicos

Para a determinação dos índices físicos utilizou-se a norma NBR 12.766-92. Antes de serem pesadas individualmente para determinação da massa seca (A), as rochas, com dimensões de 5 cm x 5 cm x 5 cm, foram levadas à estufa para secar a uma temperatura de $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$, por 24 h. Foram ensaiados cinco corpos de prova de cada tipo litológico.

Posteriormente, as mesmas foram colocadas em um recipiente e submersas em água, de forma sequencial: até 1/3 da altura dos corpos de prova por 4 h, até 2/3 da altura dos corpos de prova, por um mesmo período de tempo e, por último, totalmente submersos por mais 16 horas. Completadas 24 h do início da imersão, procedeu-se à pesagem das amostras ao ar (massa B) e na condição submersa (massa C). O esquema de tal procedimento pode ser observado na Figura 3.1.

Por meio desse ensaio, pôde-se determinar a massa específica aparente seca, a massa específica aparente saturada, a porosidade aparente e a capacidade de absorção de água, por meio das Equações 3.1, 3.2, 3.3 e 3.4, respectivamente.

$$A/(B-C) \text{ (Kg/m}^3\text{)} \quad (3.1)$$

$$[(B-A)/(B-C)] \times 100 \text{ (\%)} \quad (3.3)$$

$$B/(B-C) \text{ (Kg/m}^3\text{)} \quad (3.2)$$

$$[B-A/A] \times 100 \text{ (\%)} \quad (3.4)$$

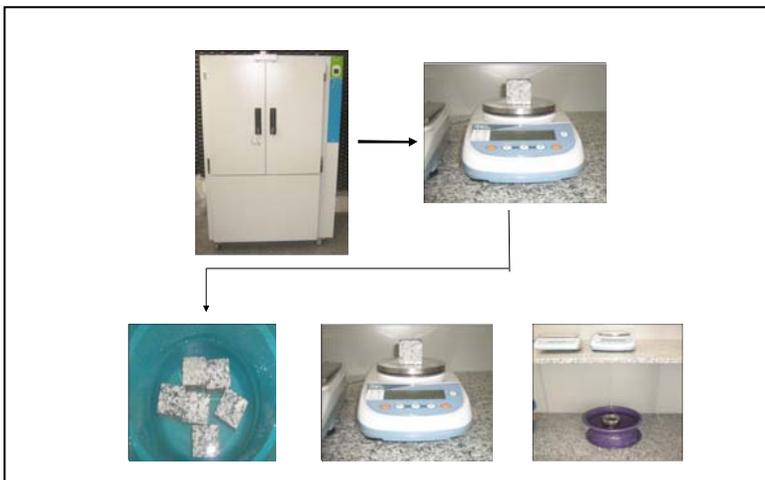


Figura 3.1. Sequência de realização do ensaio de índices físicos.

3.2.2 | Análise Petrográfica

Preparou-se uma lâmina delgada representativa das feições macroscópicas de cada amostra que foi examinada ao microscópio. Observou-se a textura, composição mineralógica, natureza da rocha, estado microfissural e alterações dos minerais. Tal ensaio foi realizado segundo a norma ABNT 12.768/92.

3.2.3 | Análise Química

A avaliação química contou apenas com a determinação do teor de ferro de cada amostra, pois este é o elemento mais susceptível a ser oxidado e a auxiliar no processo de mancha-mento.

3.3 | Caracterização da Urina

A urina é um líquido excretado pelos rins através das vias urinárias, pela qual são eliminadas substâncias desnecessárias ao organismo. Nas pessoas saudáveis, possui coloração clara (amarelada) e é composta, aproximadamente, por 95% de água e 2% de ureia. Nos 3% restantes, pode-se encontrar fosfato, sulfato, amônia, magnésio, cálcio, ácido úrico, creatina, sódio, potássio e outros elementos (TODABIOLOGIA, 2009). A urina utilizada é de origem humana e a concentração de ácido úrico está entre 3,6 e 8,3 mg.dL⁻¹, valores considerados normais.

3.4 | Interação Urina/Rochas

O ensaio consistiu na colocação dos mesmos corpos de prova ensaiados nos índices físicos em um recipiente de dimensões

30 cm x 10 cm x 5 cm, onde adicionaram-se 500 mL de urina. Esta encontrava-se em contato com as rochas até 1/3 da altura de cada corpo de prova. Durante uma semana, as rochas ficaram expostas ao líquido e foram observadas as alterações macroscópicas que foram surgindo.

3.5 | Modelagem Molecular

A fim de se compreender as patologias resultantes da interação da urina com as rochas, utilizou-se a ferramenta da modelagem molecular para verificação da interação dos componentes principais da urina e os principais minerais que compõem as rochas. Dessa forma, as estruturas de ácido úrico e ureia, principais componentes da urina, e dos minerais quartzo, feldspato e calcita, principais minerais observados nas rochas estudadas, foram modeladas no programa *Hyperchem 7.0*, determinando-se a conformação mais estável dessas moléculas. Posteriormente, simulou-se o processo de interação de ácido úrico e ureia com cada mineral. Os resultados obtidos foram determinados segundo variações da energia potencial das moléculas isoladas e quando em interação.

4 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 | Caracterização das rochas

4.1.1 | Índices Físicos

A Tabela 4.1 apresenta os resultados dos índices físicos das amostras em estudo. Os resultados apontam os maiores valores de porosidade e absorção de água para a Pedra Cariri, o que era esperado, já que se trata de uma rocha sedimentar de elevada porosidade. Os menores valores de porosidade e absorção foram observados na amostra “Branco Cintilante”, que é uma rocha metamórfica bem compacta. Nas outras amostras estudadas, de origem ígnea, houve um aumento do valor desses parâmetros, que indica uma variação no nível de microfaturamento e do estado de conservação destas rochas, facilitando, assim, o aumento da porosidade e absorção de água. Essas rochas apresentaram valores semelhantes de porosidade e capacidade de absorção d’água, devendo-se as pequenas diferenças às variações de homogeneidade, tamanho de grão e grau de alteração dos diversos tipos de rochas.

Tabela 4.1. Resultados do Índices Físicos das Amostras.

Amostras	MASSA ESPECÍFICA APARENTE (KG/M ³)		Porosidade (%)	Absorção de água (%)
Branco Cintilante	2749,8	2754,7	0,49	0,18
Vênus	2609,04	2614,14	0,51	0,20
Branco Siena	2664,07	2669,52	0,55	0,20
Golden cristal	2638,16	2643,71	0,55	0,21

Tabela 4.1 (cont.). Resultados do Índices Físicos das Amostras.

Amostras	MASSA ESPECÍFICA APARENTE (KG/M ³)		Porosidade (%)	Absorção de água (%)
Preto Raidho	2771,6	2777,78	0,62	0,22
Ocre Itabira	2746,17	2752,33	0,62	0,23
Falcon Brown	2645,02	2653,32	0,83	0,31
Cinza Corumbá	2674,09	2683,00	0,89	0,33
Material Cinza	2769,52	2779,18	0,97	0,35
Pedra Cariri	2441,59	2517,13	7,55	3,09

4.1.2 | Avaliação Petrográfica

a) Branco Cintilante

Macroscopicamente, a rocha apresenta coloração esbranquiçada, estrutura maciça e granulação variando de fina a grossa. Não são vistas fraturas e nem alteração significativas. A amostra apresenta microscopicamente textura granoblástica inequi-granular poligonal, granulação grossa e sem orientação preferencial. Não foram vistas microfaturas e microfissuras, bem como alteração acentuada. Localmente, observam-se aglomerados de cristais com granulação média formados por calcita, dolomita e quartzo. A composição mineralógica da rocha é formada por calcita (aproximadamente 90%), encontrada em cristais bem desenvolvidos, é comum nas bordas dos cristais observar feições que lembram intercrescimentos pertíticos. Em menor proporção, encontra-se dolomita, que se apresenta em cristais de menor tamanho. Como minerais acessórios temos os cristais de quartzo que são encontrados em pequeno tama-

nho, e localmente inclusos nos cristais de calcita, seus contatos retos e com sinais de recristalização, além destes são vistos diminutos cristais de fosterita disseminados na lâmina. De acordo com as características descritas, a rocha pode ser denominada como Calcita Mármore.

b) Vênus

Macroscopicamente, a rocha apresenta estrutura maciça, granulação grossa, pouco alterada e fraturada, com destaque cristais bem desenvolvidos de álcali-feldspato dispostos aleatoriamente.

Microscopicamente, possui textura heterogênea, inequigranular, os grãos são de tamanho muito variado, sem orientação preferencial. Os minerais máficos formam aglomerados. Em geral, encontra-se bastante microfaturada e microfissurada, além de apresentar um nível moderado de alteração.

Os cristais de plagioclásio são subédricos a anédricos, de tamanho variado, moderadamente microfissurados/microfraturados e alterados para sericita. O maclamento é do tipo albita e albita-Carlsbach.

c) Branco Siena

Rocha leucocrática de coloração esbraquiçada, granulação fina a média. A rocha encontra-se sem alteração e nem fraturas marcantes visíveis a olho nu. Microscopicamente, possui textura heterogênea, inequigranular, granulação média, sem orientação preferencial dos minerais, a rocha apresenta alteração e microfaturas/microfissuras insipientes. Disseminados na lâmina há cristais de granada. A composição mineralógica é formada principalmente por quartzo (58-60%), plagioclásio (28-30%), k-feldspato (8-9%), e biotita (1%). Os minerais acessórios

rios presentes são a granada e muscovita menos de 1%, e como mineral de alteração temos a sericita e raras muscovitas. Os cristais de quartzo são anédricos, de tamanho variado, ocorrem preenchendo os espaços entre os outros minerais, seus contatos são principalmente suturados entre si. Observam-se grãos com forte extinção ondulante. O plagioclásio apresenta-se subédrico a anédrico, de tamanho variado, pouco alterado e microfraturados. O maclamento é do tipo albita e albita-Carlsbad, em alguns grãos são vistos intercrescimentos mirmequíticos. Os cristais de k-feldspato são subédricos a anédricos, de tamanho variado, seu maclamento xadrez está em algumas porções mascarado pela avançada alteração. Notam-se também, cristais muito microfraturados, e algumas destas microfraturas estão preenchidas por sericita. As biotitas apresentam-se em cristais subédricos, com forma lamelar e coloração marrom escuro. Os grãos de granada estão bastante fraturado e disseminados por toda a lâmina. A muscovita ocorre com a forma lamelar formando aglomerados. De acordo com a composição mineral e as características macro e microscópicas, a rocha pode ser classificada como granada quartzo granodiorito.

d) Golden Cristal

Macroscopicamente a rocha apresenta coloração esbranquiçada, textura maciça, granulação média. Não foi observada a presença de fraturamento e alteração, nota-se um certo estiramento mineral marcado pelos cristais de quartzo arranjados segundo uma direção preferencial.

Microscopicamente, possui textura heterogênea, inequigranular, pouco microfraturada e sem alteração marcante. A composição mineralógica é formada principalmente por quartzo (40-

43%), plagioclásio (27-30%), k-feldspato (24-26%) e muscovita (<1%). A biotita e a granada aparecem como minerais acessórios. A Sericita é o mineral de alteração.

Os cristais de quartzo são anédricos, de tamanho variado e com contatos são retos e saturados. Os cristais maiores apresentam-se bastante microfraturados, sendo estas microfraturas preenchidas ou não. Já os cristais menores encontram-se estirados seguindo uma direção preferencial, localmente aparecem como inclusões nos cristais de plagioclásio e k-feldspato.

O plagioclásio possui cristais anédricos, de tamanho variado e com maclamento do tipo albita e albita-Carlsbach. Estão pouco alterados e microfraturados, localmente há evidências de intercrescimento mimerquítico nas bordas dos cristais.

Os cristais de k-feldspato apresentam-se com forma subédrica a anédrica, moderadamente alterados e com microfraturas preenchidas por sericita, o maclamento xadrez é insipiente. Eventualmente, é possível observar intercrescimentos microperítico e mirmequítico nas bordas dos cristais, além de pequenas inclusões de quartzo.

A muscovita é subédrica, aparece formando aglomerado bordejando o plagioclásio e k-feldspato, com sinais de dobramento.

Os grãos de biotita estão na forma subédrica, apresentam coloração marrom escuro disseminado na lâmina. Os cristais de granada apresentam-se de forma anédrica e bastante fraturados (Figura 1D). De acordo com a composição mineral e as características macro e microscópicas, a rocha pode ser classificada como granada monzogranito.

e) Preto Raidho

Macroscopicamente a rocha apresenta coloração cinza escuro, textura maciça, granulação fina. Não foi observada a presença de fraturamento e alterações significativas.

Microscopicamente, possui textura heterogênea, inequigranular, sem microfraturamento e alteração marcante, os minerais encontram-se levemente orientados. A composição mineralógica é formada principalmente por plagioclásio, quartzo, biotita, anfibólio, olivina e piroxênio. Os minerais opacos aparecem como minerais acessórios. A sericita é o mineral de alteração (Figura 1A e 1B).

Os cristais de quartzo são anédricos, de tamanho pequeno e com contatos retos, observa-se localmente a formação de bolsões com quartzo recristalizado. O plagioclásio possui cristais subédrico a euédrico, em forma de ripas e de tamanho variado com alguns pórfiros que se destacam, o maclamento é do tipo albita e albita-Carlsbach. Os grãos não apresentam microfraturados/microfissuras, localmente há evidências de alteração para sericita.

Os grãos de biotita estão na forma subédrica, apresentam coloração marrom escuro disseminado na lâmina. Observa-se a presença de grãos de anfibólio, olivina e de piroxênio de tamanho pequenos, por vezes anédricos e quebrados disseminados na lâmina. Os cristais de apatita apresentam-se de forma subédrica. De acordo com a composição mineral e as características macro e microscópicas, a rocha pode ser classificada como gabro.

f) Ocre Itabira

Macroscopicamente, a rocha apresenta estrutura maciça, granulação grossa, coloração acinzentada, pouco alterada e fratu-

rada, com destaque cristais bem desenvolvidos de álcali-feldspato dispostos aleatoriamente.

Microscopicamente, possui textura heterogênea, inequigranular, os grãos são de tamanho muito variado, sem orientação preferencial. Os minerais máficos formam aglomerados. Em geral encontra-se bastante microfraturada e microfissurada, além de apresentar um nível moderado de alteração. A composição mineral é formada principalmente por plagioclásio (42-45%), quartzo (25-27%), microclina (26-28%), biotita (10-12%), anfibólio e piroxênio (8-10%). Os minerais de alteração são clorita, argilo-minerais e sericita (<1%), estes últimos estão preenchendo as microfraturas dos minerais principais. Como minerais acessórios temos titanita, apatita e minerais opacos.

Os cristais de plagioclásio são subédricos à anédricos, de tamanho variado, moderadamente microfissurados/microfraturados e alterados para sericita. O maclamento é do tipo albita e albita-Carlsbach. Localmente observam-intercrescimento microperítico e mimerquítico.

Os cristais de quartzo são anédricos, de tamanho muito variado, predominando os de tamanho médio. Observa-se um grau moderado de microfraturamento, seus contatos são retos e suturados. O k-feldspato apresentam-se subédricos a anédricos, bastante microfissurados e microfraturados. O maclamento do tipo xadrez é insipiente devido o nível de alteração do mineral. São vistos frequentemente intercrescimentos microperítico e mimerquítico nas bordas dos cristais.

As biotitas são subédricas à anédricas disseminados na rocha, com coloração marrom escuro, tamanhos variados, comumente associadas ao piroxênio e anfibólio. O piroxênio e o anfibólio ocorrem bastante alterados e fraturados. A titanita ocorre asso-

ciada aos minerais opacos encontra-se em disseminados pela lâmina e também bastante fraturada. De acordo com a composição mineral e as características macro e microscópicas, a rocha pode ser classificada como anfibólio biotita granito.

g) Falcon Brown

Macroscopicamente, a rocha apresenta estrutura maciça, granulação grossa, coloração amarronzada, pouco alterada e fraturada, com destaque cristais bem desenvolvidos de álcali-feldspato e biotita dispostos aleatoriamente.

Microscopicamente, possui textura heterogênea, inequigranular, os grãos são de tamanho muito variado, se destacado pelos cristais bem desenvolvidos de microclina. Em geral encontra-se bastante microfraturada e microfissurada, além de apresentar um nível avançado de alteração. A composição mineral é formada principalmente por plagioclásio (28-31%), quartzo (25-29%), microclina (20-23%) e biotita (15-17%). Os minerais de alteração são muscovita, argilo-minerais e sericita (<1%), estes últimos estão preenchendo as microfraturas dos minerais principais. Como minerais acessórios temos zircão, granada e minerais opacos.

Os cristais de plagioclásio são subédricos, bastante microfissurados e microfraturados, o estado de alteração é avançado para sericita. O maclamento é do tipo albita e albita-Carlsbach. Localmente, observam-se inclusões de pequenos cristais de quartzo e biotita.

Os cristais de quartzo são anédricos, de tamanho muito variado, predominando os de tamanho médio. Observa-se um grau moderado de microfraturamento, seus contatos são retos e suturados.

O k-feldspato destaca-se pelo tamanho dos grãos (pórfiros) que se apresentam subédricos a anédricos. Os cristais encontram-se bastante microfissurados e microfraturados, os quais geralmente estão preenchidas por argilo-minerais e muscovita de alteração. O maclamento do tipo xadrez é insipiente devido ao nível de alteração avançado do mineral. São vistos frequentemente intercrescimentos micropertítico e mimerquítico nas bordas dos cristais.

As biotitas são subédricas a anédricas, de coloração marrom escuro, tamanhos variados, seus cristais formam aglomerados arranjados aleatoriamente, normalmente rodeando os cristais de plagioclásio e k-feldspato. A granada, o zircão, e os minerais opacos encontra-se em disseminados pela lâmina. De acordo com a composição mineral e as características macro e microscópicas, a rocha pode ser classificada como biotita granada monzogranito.

h) Cinza Corumbá

Macroscopicamente, a rocha apresenta estrutura maciça, granulção média a grossa, mesococrática de coloração acinzentada, sem alteração e fraturamento visíveis, com destaque cristais bem desenvolvidos de álcali-feldspato levemente orientados.

Microscopicamente, possui textura heterogênea, inequigranular, os grãos são de tamanho muito variado. Em geral encontra-se pouco microfraturada e microfissurada, e com alteração moderada. A composição mineral é formada principalmente por quartzo (47-50%), plagioclásio (23-26%), microclina (20-22%) e biotita (5-8%). Os minerais de alteração são muscovita, clorita e sericita (<1%). Como minerais acessórios temos apatita, allanita e minerais opacos.

Os cristais de quartzo são anédricos, de tamanho muito variado, predominando os de tamanho médio. Seus contatos são retos e suturados, geralmente preenchendo os espaços entre os cristais de plagioclásio e k-feldspato. São vistos sinais de recristalização e inclusões nos outros minerais.

Os cristais de plagioclásio são subédricos, com estado de alteração moderado para sericita. Seus maclamentos são do tipo albita e albita-Carlsbach, localmente observam-se inclusões de pequenos cristais de quartzos, biotita e do próprio plagioclásio, além de intercrescimento mirmequítico nas bordas de alguns cristais.

O k-feldspato destaca-se pelo tamanho dos grãos (pórfiros) que se apresentam subédricos a anédricos. O maclamento do tipo xadrez é bem evidente, são vistos intercrescimentos micropertítico e mimerquítico nas bordas.

As biotitas são subédricas a anédricas, de coloração esverdeada, tamanhos variados, seus cristais formam aglomerados arranjados aleatoriamente, normalmente rodeando os cristais de plagioclásio e k-feldspato. Pode-se assinalar certo grau de alteração a partir de evidências de desferrificação. O zircão, allanita e minerais opacos encontra-se em cristais diminutos disseminados pela lâmina. De acordo com a composição mineral e as características macro e microscópicas, a rocha pode ser classificada como biotita granito.

i) Material Cinza

Macroscopicamente, a rocha apresenta estrutura maciça, granulção média, coloração acinzentada, pouco alterada e fraturada. Os minerais encontram-se dispostos aleatoriamente na rocha.

Microscopicamente, possui textura heterogênea, inequigranular, os grãos são de tamanho muito variado, sem orientação preferencial. A rocha encontra-se pouco microfaturada e microfissurada, e com grau de alteração fraco. Pontualmente, são vistas zonas com grau moderado de alteração. A composição mineral principal é plagioclásio (35-37%), quartzo (31-33%), biotita (18-20%), k-feldspato (4-5%), anfibólio e piroxênio (6%). Como minerais de alteração temos a sericita e clorita, os minerais acessórios são a apatita, titanita e os minerais opacos.

Os cristais de plagioclásio são subédricos a anédricos, de tamanho variado, pouco microfissurados/microfaturados e alterados para sericita. O maclamento é do tipo albita e albita-Carlsbach. Localmente, observam-se intercrescimento microperítico e mimerquítico e zoneamento dos cristais de maior tamanho.

Os cristais de quartzo são subédricos a anédricos, de tamanho variado, predominando os de tamanho médio. Observa-se um grau fraco de microfaturamento, seus contatos são retos e suturados.

Os k-feldspatos apresentam-se subédricos a anédricos, bastante microfissurados e microfaturados. O maclamento do tipo xadrez é insipiente devido ao nível de alteração do mineral.

As biotitas são subédricas a anédricas disseminadas na rocha, com coloração variando de marrom clara a marrom esverdeada, tamanhos variados.

O anfibólio apresenta-se em cristais subédricos a anédricos, de tamanho variado, nota-se pontualmente alteração para biotita. Os cristais de piroxênios são anédricos, de tamanho variado, coloração amarronzada e bastante microfaturados.

A titanita ocorre associada aos minerais opacos, encontra-se em disseminados pela lâmina e também bastante fraturada. A apatita aparece em cristais euédricos e os minerais opacos aparecem em cristais anédricos, ambos disseminados na rocha.

De acordo com a composição mineral e as características macro e microscópicas, a rocha pode ser classificada como anfibólio biotita granodiorito.

j) Pedra Cariri

Trata-se de um calcário calcítico, finamente laminado, em sua maioria (95% do material extraído), de cor amarelada a creme, apresentando algumas variações de cor em função de sua composição química, existindo em menores quantidades, rochas de cor amarronzada e cinza. É um calcário fossilífero e, nas pedreiras é feita a separação dos fósseis encontrados para entrega ao DNPM, tendo recebido orientações desse órgão para tal. Os 5% restantes do material encontrado nas pedreiras são um calcário com maior conteúdo em dolomita, mais compacto e duro, denominado localmente como “Matracão”.

3.2.2 | Análise Química

Na Figura 4.1 pode-se verificar o teor de ferro (%) em cada tipo litológico. Pode-se observar que as rochas Branco Cintilante, Vênus, Branco Siena e Golden Cristal apresentam os menores teores de ferro, em média 0,5%. As demais amostras apresentam um teor entre 1 e 1,5%, com exceção da amostra cinza Corumbá, que apresenta o maior teor, em torno de 2%, fato que já havia sido verificado na análise petrográfica, por meio de desferrificação.

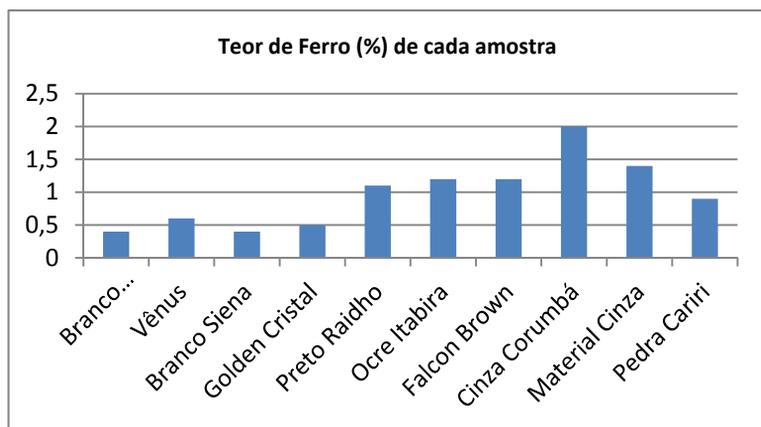


Figura 4.1. Teores percentuais de ferro nas amostras.

4.2 | Interações Urina/Rocha

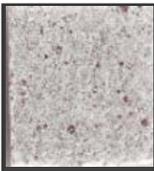
Os resultados das interações entre urina e as amostras indicaram o surgimento de manchas em todas as rochas após uma semana de interação. A mancha é caracterizada pela coloração amarelada, que pode variar de amarelo claro ao amarelo amarronzado.

Na comparação visual das rochas antes e após a interação observa-se um manchamento mais efetivo nos materiais mais porosos e com maior capacidade de absorção de água. Dessa forma, observou-se o maior manchamento na pedra Cariri e um menor manchamento no mármore branco cintilante. Tais resultados podem indicar os tipos litológicos mais adequados para utilização em locais como banheiros residenciais e, principalmente, públicos. Cabe destacar que a Pedra Cariri é um material finamente laminado e que o ensaio foi realizado com as lâminas em posição vertical, o que representaria o caso

mais desfavorável, facilitando a ascensão de líquidos entre camadas.

Fazendo-se uma relação com o teor de ferro de cada amostra, verifica-se que amostras com teores similares de ferro (cerca de 1%), como a amostra Preto Raidho e Pedra Cariri, apresentaram comportamentos distintos em termos de manchamento. Assim, verifica-se que o teor de ferro pode não estar diretamente relacionado ao manchamento e sim que a porosidade apresenta maior significância. No entanto, vale ressaltar que a maior porosidade pode permitir a maior absorção de urina e consequentemente favorecer o processo de oxidação dos elementos ferrosos, que podem contribuir com o manchamento. Além disso, o processo de interação entre os minerais constituintes das rochas e os componentes principais da urina podem ser responsáveis pelo manchamento, uma vez que essas interações podem facilitar a exposição de elementos ferrosos. Tal efeito poderá ser verificado por meio de modelagem molecular.

	Antes	Depois
Branco Cintilante		
Vênus		

	Antes	Depois
Branco Siena		
Golden Cristal		
Preto Raidho		
Ocre Itabira		
Falcon Brown		

	Antes	Depois
Cinza Corumbá		
Material Cinza		
Calcário Cariri		

4.3 | Modelagem Molecular

Na Figura 4.2 observa-se o processo de interação entre os principais minerais que compõem as rochas em estudo, quartzo, feldspato e calcita, com as moléculas de ácido úrico e ureia, presentes na urina, por meio do processo de modelagem molecular.

Os resultados indicaram fortes atrações entre todos os minerais e as moléculas de ureia e ácido úrico, por meio de ligações de hidrogênio e dipolo-dipolo. Observa-se que a geração dessas fortes ligações podem ser responsáveis pela maior interação e a conseqüente formação das manchas ou facilitar a liberação e exposição de elementos susceptíveis à oxidação, como o ferro,

por exemplo. Vale ressaltar que as condições físicas das rochas, como porosidade e absorção de água, proporcionam maiores sítios de interação, caracterizando o maior mancha-mento.

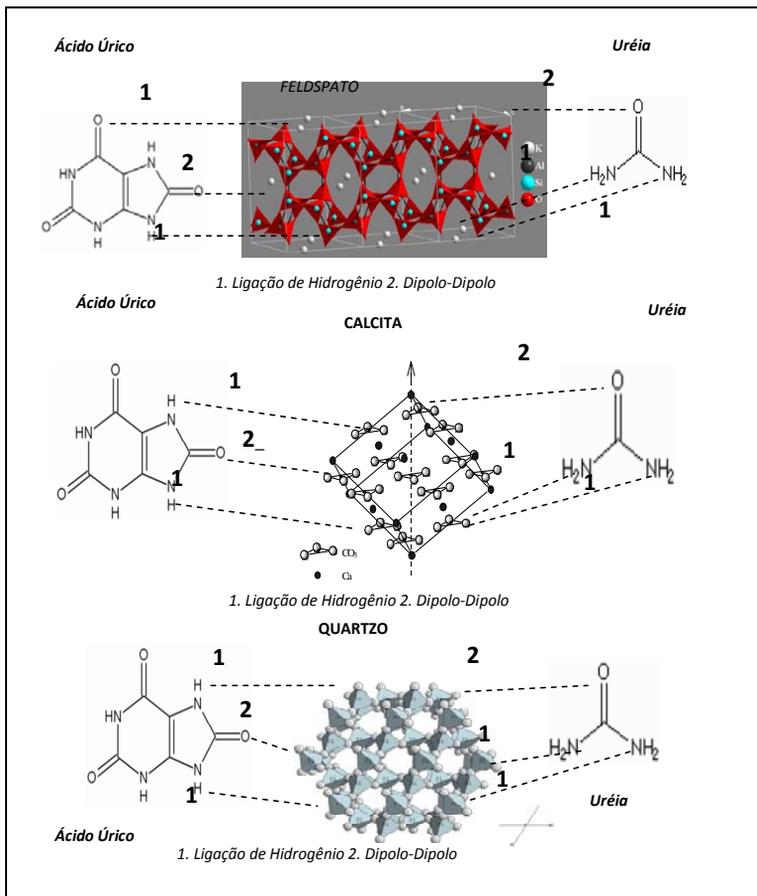


Figura 4.2. Processo de interação do ácido úrico e ureia nos minerais quartzo, feldspato e calcita.

5 | CONCLUSÕES

Pôde-se concluir que o manchamento das rochas, causado pela urina, está relacionado à porosidade, absorção e a composição mineralógica das rochas. Os estudos de modelagem molecular indicaram interações químicas favoráveis entre ácido úrico e/ou ureia com os minerais quartzo, feldspato e calcita, típicos dessas rochas. No entanto, vale ressaltar que a presença de compostos ferrosos pode afetar o manchamento, caso as interações químicas e/ou as condições físicas, como a porosidade, facilitem a liberação e a oxidação deste elemento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, (1992)
NBR 12.768/92: rochas para revestimento, análise petrográfica,
Rio de Janeiro.
- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1992,
NBR 12.766/92: rochas para revestimento, determinação da
massa específica aparente, porosidade aparente e absorção
d'água aparente, Rio de Janeiro.
- Aires-Barros, L., Alteração e alterabilidade de rochas, Lisboa –
Universidade Técnica de Lisboa, Instituto Nacional de
Investigação Científica, 348 p., 1991.
- Bonaduce, I., Andreotti, A., Colombini, M. P., Modugno, F. and
Ribechini, E., A diagnosis of the yellowing of the marble high
reliefs and the black decorations in the chapel of the tomb of
Saint Anthony (Padua, Italy), *International Journal of Mass
Spectrometry*, 284, 2009, 123-130.
- Benavente, D., Garcia Del Cura, M. A., Forte, R, e Ordóñez, S.,
Thermodynamic modelling of changes induced by salt pressure
crystallization in porous media of Stone, *Journal of Crystal
Growth*, V. 204, 1999, p. 168-178.
- Cara, D. V. C., Rizzo, A. C. L. e Cunha, C. D., Ação de micro-
organismos na solubilização de agro-minerais, Estudo
Prospectivo sobre o uso de processos biotecnológicos para a
biossolubilização de agro-minerais (CTAGRO-Edital MCT/
CNPq/CT – Nº 43/2008), apresentação CETEM-MCT, 2008.
- Carroll, D., *Rock wethering*, New York: Plenum, 1970, 203 p.
- Casal Moura, A., Algumas notas para o conhecimento e utilização das
rochas ornamentais portuguesas, *Caracterização de rochas
ornamentais*, Exponor, 2004, p.15.
- Chen, T. C., Yeung, M. R. e Mori, N., Effect of water saturation on
deterioration of welded tuff to freeze-thaw action. *Cold Regions
Sci Tech*, 38, 2004, 127-136.

- Chiodi Filho, Cid. Condicionantes Estéticas das Rochas de Revestimento. Pedras do Brasil, Vitória, abril/2002. n. 02, p.26-30.
- Chiodi Filho, Cid. A Nova Idade da Pedra. Pedras do Brasil, Vitória, maio/2002. n. 03, p.12-15.
- Chiodi Filho, Cid. Critérios de Especificação de Rochas para Revestimentos. Pedras do Brasil, Vitória, junho/2002. n. 04, p.32-34.
- Frască, M. H. B. O., Estudos experimentais de alteração acelerada em rochas graníticas para revestimento, tese de doutorado, Programa de Pós-Graduação em Recursos Minerais e Hidrologia, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 2003.
- Frască, M. H. B. O e Quitete, E. B., Estudos diagnósticos de patologias em rochas de revestimento, Congresso Iberoamericano de Patologia de las construcciones, 7, Montevideo, 1999.
- Frazão, E. B. Tecnologia de Rochas na Construção Civil. São Paulo: Nacional, 2002. 132 p.
- Garcia, M., Biocida pode salvar profetas de Aleijadinho, Revista Ciência Hoje, 2006.
- Garcia-Valles, M., Vendrell-Saz, M., Molera, J., Blasquez, F., Environ. Geol, 36, 1998, 137.
- Hale, P. A. e Shakoor, A. A., Laboratory investigation of the effects of cyclic heating and cooling, wetting and drying, and freezing and thawing on the compressive strength of selected sandstones, Environ Eng. Geosci 9, 2003, 117-130.
- Keller, E. A., Environmental geology, New Jersey:Prentice Hall, 1996.
- Lazzarani, L. e Salvatori, O., Stud. Conserv. 34, 1989, 20.
- Lima, M. A. B., Estudo do comportamento dos gneisses Casablanca, Juparaná Delicato e Giallo Falésia (Ceará-Brasil) em atmosfera salina, Tese de doutorado, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro – SP, 2006.

- Morani, B. M., Queiroz, J. P. C, Ribeiro, R. C. C. e Caranassios, A., Caracterização da deteriorização do mármore componente das banheiras históricas situadas no Parque Nacional da Tijuca, XVII Jornada de Iniciação Científica – CETEM, Rio de Janeiro – RJ, 2009.
- Rampazzi, L., Andreotti, A., Bonaduce, I., Colombini, M. P., Colombo, C. e Toniolo, L., Analytical investigation of calcium oxalate films on marble monuments, *Talanta*, 63, 2004, 967.
- Theoulakis, P. e Moropoulou, A., Microstructural and mechanical parameters determining the susceptibility of porous building Stones to salt decay, *Construction and Building Materials*, V. 11, n. 1, 1997, p. 65-71.
- Vandrell-Saz, M., Krumbein, W. E., Urzi, C. e Garcia-Valles, M., in: J. Riederer (Ed.), *Processing of the eighth International Congress on deterioration and conservation of stone*, Berlin, 1996, p.609.
- Vicente, M. A., Delgado-Rodrigues, J. E Acevedo, J., Degradation and conservation of granitic rocks in monuments, Brussels: European Commission, 471 p., *Protection and Conservation of the European Cultural Heritage*, Research Report n 05, 1996.
- Viles, H. A., Urban air pollution and the deterioration of buildings and monuments. In: Brune, D., Chapman, D. V., Gruynne, M. D., Pacyna, J. M., *The global environment: science technology and management*, Weinheim, Scandinavian Science Publ., VCH, 1997, 599-609.
- Winkler, E. M. e Singer, P. C., Crystallization pressure of salts in stone and concrete, *Geological Society of America Bulletin*, V.83, 1972, p 3509-3514.
- Zivica, V. e Bajza, A., Acidic attack of cement based materials, a review, part 1: principle of acidic attack, *Construction and Building Materials*, V. 5, 2001, p. 331-340. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. D256: Standard Test Methods for Determining the Izod Pendulum Impact Resistance of Plastics. Philadelphia: ASMT, 1993.

SÉRIES CETEM

As Séries Monográficas do CETEM são o principal material de divulgação da produção científica realizada no Centro. Até o final do ano de 2010, já foram publicados, eletronicamente e/ou impressos em papel, mais de 200 títulos, distribuídos entre as seis séries atualmente em circulação: Rochas e Minerais Industriais (SRMI), Tecnologia Mineral (STM), Tecnologia Ambiental (STA), Estudos e Documentos (SED), Gestão e Planejamento Ambiental (SGPA) e Inovação e Qualidade (SIQ). A Série Iniciação Científica consiste numa publicação eletrônica anual.

A lista das publicações poderá ser consultada em nossa homepage. As obras estão disponíveis em texto completo para download. Visite-nos em <http://www.cetem.gov.br/series>.

Últimos números da Série Rochas e Minerais Industriais

SRMI-15 – O potencial dos agrominerais alternativos na região Nordeste do Brasil. Marcelo Soares Bezerra, 2011.

SRMI-14 – Estudos de Caracterização Tecnológica e Beneficiamento do Caulim da Região Borborema-Seridó (RN). Fernanda Arruda Nogueira Gomes da Silva, Flávio Teixeira da Silva, Adão Benvindo da Luz, João Alves Sampaio, João Alves Sampaio, 2008.

SRMI-13 – Aproveitamento de feldspato pegmatítico da região Borborema-Seridó para produção de vitrocerâmica feldspática reforçada com leucita. Carla Napoli Barbato, Tsuneharu Ogasawara e João Alves Sampaio, 2008.

SRMI-12 – Pigmentos Inorgânicos: Propriedades, Métodos de Síntese e Aplicações. Rui de Goes Casqueira e Shirleny Fontes Santos, 2008.

INFORMAÇÕES GERAIS

CETEM – Centro de Tecnologia Mineral
Avenida Pedro Calmon, 900 – Cidade Universitária
21941-908 – Rio de Janeiro – RJ

Geral: (21) 3867-7222

Biblioteca: (21) 3865-7218 ou 3865-7233

Telefax: (21) 2260-2837

E-mail: biblioteca@cetem.gov.br

Homepage: <http://www.cetem.gov.br>

NOVAS PUBLICAÇÕES

Se você se interessar por um número maior de exemplares ou outro título de uma das nossas publicações, entre em contato com a nossa biblioteca no endereço acima.

Solicita-se permuta.

We ask for interchange.