

INVESTIGAÇÕES TECNOLÓGICAS SOBRE A DURABILIDADE DE ROCHAS APLICADAS EM REVESTIMENTOS EXTERNOS, PERANTE AGENTES MANCHANTES, CORROSIVOS E ATMOSFÉRICOS

Bianca Furlan Vieira¹; Eleno de Paula Rodrigues²

¹ Aluna de Iniciação Científica da Escola de Engenharia Mauá (EEM/CEUN-IMT);

² Professor da Escola de Engenharia Mauá (EEM/CEUN-IMT).

Resumo. *O desempenho de produtos químicos hidro-óleo-repelentes para a proteção de rochas ornamentais depende tanto das propriedades físico-químicas dos produtos, quanto das características petrográficas e tecnológicas das rochas. A partir de estudos laboratoriais já existentes envolvendo análises mineralógicas e petrográficas, realiza-se ensaios de caracterização tecnológica em rochas silicáticas (granitos), carbonáticas (mármore) e Limestones, submetidas a tratamentos superficiais com alguns produtos impermeabilizantes, correntemente utilizados no Brasil, verificasse uma análise previewal do desempenho destes materiais, os ensaios são realizados com base em normas, simulando-se condições reais que ocorrem durante a sua utilização (ataque químico, manchamento, intemperismo artificial).*

Introdução

Desde épocas muito antigas, as rochas são utilizadas como material de construção, auxiliando e preservando povos e suas culturas. Um marco inicial das atividades humanas é o período da Idade da Pedra, no qual as rochas eram transformadas em ferramentas utilizadas para sobrevivência. A partir do século XX, esta passou a ser aplicada no revestimento de estruturas de concreto, aço e alvenarias. Atualmente, a rocha é empregada nas mais variadas formas, tais como bruta, polida, britada e moída. A utilização das rochas em conjunto com materiais ligantes (betume ou cimento), isoladamente (lastros e enrocamentos) e como revestimento de edificações, é devidamente orientada pelo conjunto de normas brasileiras da ABNT. As rochas ornamentais são componentes de construção que se destinam ao embelezamento das edificações, e também lhes propiciam funcionalidade. Esses materiais rochosos apresentam suas características tecnológicas próprias e algumas delas, como durabilidade e resistência, que se modificam naturalmente ao longo do tempo, podem também ser afetadas pelas condições de uso.

Mesmo com os cuidados tomados na escolha das rochas, estas podem apresentar patologias, originadas por exposição à água e poluentes dissolvidos nesta, aos produtos naturais ou químicos, aos raios UV e tráfego. Então surge a necessidade da utilização e avaliação do desempenho de produtos químicos impermeabilizantes existentes no mercado, que têm a função de proteger e valorizar a superfície das rochas. Considerando-se a não existência de algumas metodologias de ensaios para rochas, foram adaptadas de normas específicas para caracterização tecnológica de materiais cerâmicos, constatado que isso é comumente realizado no Brasil.

Material e Métodos

Rochas ornamentais

Rochas possuem a definição genérica de corpos sólidos naturais, formados por agregados de um ou mais minerais cristalinos. As rochas ornamentais e de revestimento, podem ser extraídas em blocos ou placas, cortados em formas variadas e favorecidas por meio de diversos tipos de polimento. Muito utilizadas tanto como peças decorativas isoladas, como esculturas, tampos e pés de mesa, balcões, lápides e arte funerária em geral, quanto em

edificações, destacando-se, nesse caso, os revestimentos internos e externos de paredes, pisos e colunas.

Granitos são rochas ígneas silicáticas, compostas principalmente dos minerais: quartzo, feldspato e mica. O quartzo é reconhecido como mineral incolor, geralmente translúcido, já o feldspato é o principal influenciador no padrão cromático da rocha. Pode ser indicada para ambientes internos e externos, com alto tráfego e áreas úmidas. Nesse trabalho utiliza-se os seguintes granitos: Preto São Gabriel, Cinza Andorinha, Cinza Corumbá, Café Imperial, Branco Itaúnas e Branco Polar.

O mármore possui como composição mineralógica principal a calcita e a dolomita. O termo mármore designa todas as rochas carbonáticas, metamórficas ou não, capazes de receber polimento. Estes são menos duráveis e resistentes se comparado aos granitos. Indicado para ambientes internos e externos de baixo tráfego, exceto áreas úmidas e com proteção aos raios solares. Ensaia-se nesse trabalho os mármore: Branco Carrara, Branco Piques, Crema Marfil, Botticino e Marrom Imperial.

Limestones são rochas sedimentares calcárias, muito porosas e com pouco brilho, compostas principalmente por calcita mineral. Encontrado em diferentes partes do mundo, pode apresentar fósseis, veios e pequenas variações cromáticas entre as chapas. Indicado para condições mais restritas, semelhantes às recomendadas para os mármore. Nessa pesquisa utiliza-se o Limestone Mont Charmot.

O padrão cromático é o principal atributo considerado para qualificação comercial de uma rocha ornamental e comercialmente os principais grupos de rochas ornamentais são, os granitos e os mármore. O índice físico considerado de maior importância para essa pesquisa é o de absorção d'água. Foram escolhidas e listadas na Tabela 1 a seguir, rochas com diferentes, colorações e absorções d'água, para impermeabilização com os produtos testados e verificação de sua eficácia.

Tabela 1- Padrão cromático e absorção d'água das rochas escolhidas.

Característica ->	Padrão cromático	Absorção d'água(%)
Rocha		
1-Granito Preto São Gabriel	preto	0,33
2-Granito Cinza Andorinha	cinza	0,31
3-Granito Cinza Corumbá	cinza	0,35
4-Granito Café Imperial	marrom	0,39
5-Granito Branco Itaúnas	branco	0,37
6-Granito Branco Polar	branco	0,25
7-Mármore Botticino	bege	0,55
8-Mármore Crema Marfil	bege	0,51
9-Mármore Marrom Imperial	marrom	0,31
10-Mármore Piques	branco	0,16
11-Mármore Carrara	branco	0,11
12-Limestone Mont Charmot	bege	6,45

A absorção d'água foi adquirida de fontes confiáveis, a partir de ensaios mineralógicos e petrográficos previamente realizados nas rochas. Os cuidados de aplicação desses grupos de rochas ornamentais é semelhante, deve ser feita a proteção para que não ocorra danos na superfície polida, além disso para limpeza das mesmas é aconselhado o uso de panos úmidos com água e detergente neutro ou com produtos específicos para cada tipo rochoso, a fim de prolongar sua beleza e vida útil.

Caracterização tecnológicas das rochas ornamentais

Além da parte estética desejável para as rochas ornamentais e de revestimento, a seleção e o uso dos materiais devem levar em consideração suas características tecnológicas, que reflete o comportamento físico-mecânico das rochas nas condições normais de utilização, permitindo diagnosticar patologias visuais decorrentes da seleção e aplicação inadequadas dos materiais. Para a definição desses e de outros parâmetros igualmente importantes, recomenda-

se que os materiais rochosos de ornamentação e revestimento sejam submetidos a ensaios de caracterização tecnológica. Os principais conjuntos de normas para a realização dos ensaios são, a ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) e a ASTM (American Society for Testing and Materials).

Nos ensaios realizados nesse trabalho, de manchamento, ataque químico e intemperismo artificial, para efeito comparativo foi medida a intensidade de brilho (com o auxílio do aparelho de Gloss Checker) de cada rocha, natural e impermeabilizada, antes e depois dos ensaios, além de observado os aspectos visuais das amostras testadas. Antes dos testes foi utilizado um aparelho de Gloss Checker, medidor da intensidade de brilho, da marca Sanwa Kenma, que não apresenta casas decimais, e após utilizou-se outro da marca BYK Gardner, que indica uma casa decimal, porém ambos estavam calibrados e apresentam dados confiáveis para estabelecer analogia.

Como o número de amostras obtido foi limitado para uma grande quantidade de produtos impermeabilizantes testados, então foi necessário na mesma rocha com superfície polida de aplicação de tamanho 0,1x 0,1 metros, dividir em 4 partes iguais para aplicação de 4 reagentes diferentes. Foi realizado com extremo cuidado e com o auxílio de vidros de relógio de 0,04 metros de diâmetro, assim cada teste foi protegido e isolado sem o risco de vazamento, que iria acarretar em descarte da amostra. Foram dois reagentes de manchamento (óleo e iodo) e dois de ataque químico (ácido cítrico e hidróxido de potássio), que serão explicados nos próximos tópicos, colocados na mesma amostra. Foram escolhidos pela maior reatividade e melhor simulação da situação de uso, não foi necessário nenhum descarte. As figuras 1 e 2, apresentam respectivamente, um conjunto de amostras durante o teste e uma amostra isolada ensaiada.



Figuras 1 e 2- Conjunto de amostras em teste; Amostra ampliada (em cima- óleo e iodo; embaixo- ácido cítrico e hidróxido de potássio).

Determinação da resistência ao manchamento

Os ensaios para determinação da resistência ao manchamento foram realizados, como já mencionado adaptados para rochas, segundo as diretrizes da ABNT-NBR 13818 - Anexo G de 1997. Os agentes manchantes utilizados para execução do ensaio foram: solução alcoólica de iodo 13 g.L^{-1} (possui ação oxidante), que simula agentes manchantes culinários como shoyu, ketchup, café e vinho, e óleo de oliva (agente com formação de película). A solução alcoólica de iodo 13 g.L^{-1} foi preparada com o auxílio de uma técnica de química, no laboratório de química, localizado no prédio I do Instituto Mauá de tecnologia, campus São Caetano do sul e o óleo de oliva da marca Maria comprado em mercado comum.

Visualmente todas as amostras se encontravam em estado normal de cor e foram medidas as intensidades de brilho iniciais. A textura e o brilho se comparados com a rocha in natura se encontravam, em alguns casos, levemente alterados, como consequência da aplicação dos produtos. Os agentes manchantes foram gotejados com uma pipeta, na superfície da rocha, natural ou impermeabilizada, a ser ensaiada por um período de 24 horas, com o auxílio de vidro de relógio para o isolamento e a não evaporação do reagente. Posteriormente, procedeu-se às tentativas de remoção da mancha, avaliação e classificação simultâneas. A classificação ocorre de acordo com as classes de limpabilidade, se a mancha

foi removida com água quente corrida por 5 minutos a classificação é 5, com detergente fraco é 4, com detergente forte é 3 e com ácido clorídrico é 2, caso permaneça após todas as tentativas é 1. O detergente fraco utilizado foi o transparente da marca Ipê, o forte foi o Sapólio Radium clássico da marca Bom Bril e o ácido clorídrico 3% foi produzido com o auxílio de uma técnica de química, no laboratório de química, localizado no prédio I do Instituto Mauá de tecnologia, campus São Caetano do sul.

Após cada processo de limpeza as amostras são levadas por 2 horas para secagem em estufa (60°C), então é feito o exame visual e verificada a necessidade do uso de um produto mais potente para remoção, caso não seja necessário é feita a leitura final da intensidade de brilho com o Gloss Checker. Este ensaio foi realizado em corpos-de-prova naturais e impermeabilizados com 16 produtos diferentes para posterior avaliação do desempenho dos produtos químicos impermeabilizantes.

Determinação da resistência ao ataque químico

Este ensaio foi realizado e adaptado segundo as diretrizes estabelecidas pela ABNT-NBR 13818 - Anexo H de 1997. Para execução deste ensaio, foram utilizados, como reagentes, 2 produtos químicos, um ácido de baixa concentração, o ácido cítrico com concentração de 100 g L⁻¹, que exerce o papel de alimentos cítricos como limão e laranja, e um álcali de baixa concentração, o hidróxido de potássio (KOH) de 30 g L⁻¹, que representa a utilização de produtos de limpeza e de higiene. Reagentes preparados com o auxílio de uma técnica de química, no laboratório de química, localizado no prédio I do Instituto Mauá de tecnologia, campus São Caetano do sul.

Visualmente todas as amostras se encontravam em estado normal de cor. A textura e o brilho se comparados com a rocha in natura se encontravam, em alguns casos, levemente alterados como consequência da aplicação dos produtos. Os reagentes acima descritos foram colocados em contato, com auxílio de uma pipeta, gotejados na superfície polida da rocha, natural ou impermeabilizada, e deixados com proteção de vidros de relógio, para isolar e não evaporar, o ácido cítrico foi deixado por 24 horas, já o hidróxido de potássio foi colocado antes de todos os demais reagentes (ácido cítrico de ataque químico; óleo e solução alcoólica de iodo de manchamento), pois seu tempo de teste é de 96 horas.

Após o período, as soluções dos reagentes foram removidas somente com água corrente e secagem em estufa (60°C) e iniciaram-se os procedimentos para determinação da resistência química dos materiais rochosos através da avaliação visual e verificação de brilho com o Gloss Checker, tanto nos corpos-de-prova naturais quanto nos impermeabilizados.

Determinação da resistência ao intemperismo artificial

Intemperismo artificial consiste na simulação de uma situação de exposição aos raios ultravioletas e na sequência de umedecimento, que cria um efeito de exposição aos raios solares e chuva, que ocorre quando a rocha é instalada do lado externo de fachadas ou pisos. A norma mais utilizada para esse ensaio é a ASTM G155-05a. Os procedimentos para realização dos ensaios simulam as condições esperadas de exposição real, entretanto são mais intensos (acelerados), no qual os corpos-de-prova ficam expostos à luz contínua de uma lâmpada de gás xenônio, simulando a luz solar do meio dia e a cada 102 minutos, é pulverizada água desmineralizada por 18 minutos.

Os testes foram feitos no equipamento de intemperismo artificial de Xenon da marca Qlab, modelo Qsun- Xenon test Chamber model Xe-3-HS, localizado no laboratório de ensaios e análises no prédio R, do Instituto Mauá de tecnologia, e foi feito somente com o mármore branco Carrara por se tratar uma das rochas mais frágeis com relação ao uso externo e em áreas úmidas, e devido a disponibilidade da máquina que possui calendário ocupado. A parte de da superfície de 0,1x0,1 metros polida de cada amostra foi coberta pela metade com fita crepe, de cada uma das 17 amostras (natural e 16 produtos), para serem colocadas no maquinário e foram deixadas por 240 horas para avaliação visual, de modificação

principalmente do brilho em relação aos mesurados anteriormente, além da verificação se as amostras ainda estão impermeabilizadas com relação à absorção d'água.

Caracterização tecnológica de produtos hidro-óleo repelentes

Os produtos hidro-óleo repelentes possuem algumas características como impedir a entrada de água e permitir a saída de umidade do material rochoso; constituir um “tecido” transparente e protetor contra poluentes, poeira e agentes biológicos; apresentar baixo coeficiente de dilatação térmica; apresentar propriedades físicas e mecânicas que permitam sua aderência à superfície, sem danificá-la e resistir a solicitações de desgaste; apresentar viscosidade adequada para penetrar na rocha e ser seguro ao operador na sua aplicação.

A escolha de um produto hidrofugante para utilização nos diversos materiais é tarefa difícil, pois os fabricantes não fornecem todas as informações necessárias sobre a composição química dos produtos, modo de atuação, durabilidade e conservação, ficando o consumidor sem parâmetros mínimos para escolha e controle da uniformidade. Nesse trabalho foram utilizados 16 tipos de diferentes produtos impermeabilizantes de diversas marcas, existentes no mercado que foram escolhidos de acordo com a oferta efetiva e somente aqueles que dizem que não formam película na superfície e assim não alteram as características das rochas. A aplicação de tais produtos surge para evitar o aparecimento de patologias tanto ocasionadas pela modificação natural da rocha, quanto pelo uso, então a importância da verificação de sua eficiência em diferentes tipos rochosos e situações. Foram seguidos as instruções de aplicação de cada fabricante, contidas no rótulo ou no site da empresa, para garantir a validade dos testes.

Para estabelecer uma boa comparação de eficiência, separou-se os 16 produtos em grupos que apresentam características semelhantes, os grupos são:

- Base água: Block D70 (marca: Bellinzoni), Luminatto 63 (marca: Eco Química), Luminatto 500 (marca: Eco Química), TK300A (marca: Tecnokoll), Hidro SST400 (marca: Tecnokoll).
- Base solvente de médio padrão: Block DPS (marca: Akemi), Toro (marca: Bellinzoni), Idea HP (marca: Bellinzoni), TK400S (marca: Tecnokoll), Proseal (marca: Tenax), Hydrex (marca: Tenax).
- Base solvente de alto padrão: IdeaGold (marca: Bellinzoni), Nano-effect (marca: Akemi), Stain- proof original (marca: Dry-treat), TK500S (marca: Tecnokoll), Protex (marca: Tenax).

Determinação dos componentes orgânicos dos produtos hidro-óleo repelentes através de espectroscopia Infravermelho e Raman

Estes ensaios foram realizados para determinação da composição química orgânica dos 16 produtos utilizados (hidro-óleo repelentes) para impermeabilizar as amostras de rochas, pois como já mencionado os fabricantes muitas vezes não fornecem dados sobre a composição dos mesmos.

A espectroscopia de infravermelho (IR) é um tipo de espectroscopia de absorção, baseada na energia de vibração molecular. O espectro vibracional aparece como uma série de bandas, que são utilizadas para interpretação dos resultados. A posição das bandas de absorção, assim como as mudanças nos contornos das bandas revelam detalhes importantes da estrutura dos compostos e com base em dados tabelados, já pré-estabelecidos é possível analisar os resultados e obter a composição química de cada produto. Os espectros de

infravermelho podem ser obtidos por amostras nos estados líquido, sólido e gasoso. Os líquidos podem ser examinados em estado puro ou em solução, no caso das amostras apresentadas, foram todas analisadas em estado puro.

Também foi realizada a análise no espectro Raman, para confirmação dos dados obtidos no Infravermelho. O Raman contém informações similares às de um espectro de infravermelho, apesar da natureza dos fenômenos físicos ser diferente, espalhamento no caso da espectroscopia Raman e absorção no caso da Infravermelho. A análise por Espectroscopia Raman é feita sem necessidade de preparações ou manipulações das amostras analisadas. No infravermelho e no Raman, para a identificação de compostos orgânicos a faixa de comprimentos de interesse está entre 4.000 e 400 cm^{-1} .

Foram feitas análises nos equipamentos, o de Infravermelho é o Bruker FTIR, modelo ALPHA com o acessório de ATR de única reflexão com cristal de diamante com resolução espectral de 4 cm^{-1} e o de Raman é o FT-Raman Bruker, modelo RFS 100/S, dotado de detector de Ge (resfriado com N_2 líquido) e laser de $\text{Nd}^{3+}/\text{YAG}$ para excitação em 1064 nm e resolução de 4 cm^{-1} , ambos pertencentes ao Instituto de Química da Universidade de São Paulo - USP. Os resultados foram obtidos e interpretados sob a orientação do aluno de mestrado Otávio Mendes Gil.

Através dos dados obtidos nos ensaios de espectrofotometria no infravermelho e no Raman, foram gerados gráficos e analisando-os, nota-se que os produtos impermeabilizantes TK300A, Luminatto 63, Luminatto 500, HidroSST400 e BlockD70 são muito semelhantes quimicamente., todos possuem base água e presença de alquenos, pois possuem bandas de estiramento e deformação das ligações químicas que vibram nas mesmas faixas de frequência do espectro. A única divergência é no Block D70 no qual nota-se também a presença de éster. Os outros 11 produtos são base solvente, possuem componentes químicos muito semelhantes, principalmente a forte presença de hidrocarbonetos tipo alcanos e aldeídos. No entanto, notou-se que apesar de esses produtos serem muito semelhantes entre si, existem pequenas diferenças, uma vez que cada produto é fabricado por uma empresa diferente, com proporções e misturas distintas de seus principais componentes.

Aqueles classificados como base solventes de médio padrão, possuem em geral menor complexidade se comparados com os de alto padrão. Os destaques dentre os produtos de médio padrão, são o Hydrex e Proseal que possuem éster também em sua composição, e o Block DPS com alquenos, alquinos, éster e éter.

Nota-se dentre os produtos base solvente de alto padrão a forte presença de hidrocarbonetos. O Nano-effect, o Protex e o Idea Gold, possuem éster em sua composição química. No TK500S nota-se alquenos, alquinos, éster e éter. Já no Stain- proof original além desses componentes verifica-se a forte presença de álcool.

As bandas de hidrocarbonetos na região das vibrações de deformação, aliada à forma bastante pronunciada dos picos na região das vibrações de estiramento, indica que a cadeia carbônica é aberta e formada por ligações simples entre o carbono e o hidrogênio. As cadeias carbônicas abertas geralmente são bastante extensas, o que lhes confere características de impermeabilização. Além disso, esses hidrocarbonetos alifáticos formam uma classe de compostos orgânicos apolares e, portanto, configuram-se como excelentes repelentes de água.

Resultados e Discussão

As discussões e os resultados são expressos principalmente em função dos aspectos visuais (cor, textura), pela presença ou não de resíduos e pela medição do brilho na superfície da rocha polida.

Determinação da resistência ao manchamento

Foram feitos quadros como exemplificado na Tabela 2, para o teste in natura e para cada um dos 16 produtos testados. Os resultados obtidos ao natural demonstram que alguns materiais rochosos impedem naturalmente a ação de produtos químicos manchantes, contudo, outros encontram-se intensamente danificados pela ação destes produtos, permanecendo manchados mesmo após os procedimentos de limpeza descritos na Norma, como acontece com o mármore Crema Marfil.

Como já mencionado a comparação estabelecida dos produtos, primeiramente a análise entre aqueles com base água. Os produtos base água com melhor desempenho no total de amostras foram o TK300A e o Luminatto 500, pois deixaram resíduos em um número pequeno de amostras. Já para os base solvente médio padrão aquele com melhor eficácia foi o TK400S, pois em somente 3 amostras não foi possível a total limpeza. Enfim entre aqueles base solvente de alto padrão, o Stain- proof original e o Nano-effect obtiveram melhor performance. Nota-se, como era previsto, que existe um crescimento de melhor desempenho na seguinte ordem: base água, base solvente médio padrão e base solvente alto padrão.

Após a aplicação dos produtos químicos impermeabilizantes, notou-se que a resistência ao manchamento das rochas silicáticas de coloração escura aumentou. Na grande maioria dos casos, os corpos-de-prova obtiveram a classificação 5, indicando que o agente manchante é facilmente removido com água quente e, portanto, o corpo-de-prova permanece com suas características estéticas inalteradas.

Em casos isolados, com os granitos de coloração clara, notou-se que os corpos-de-prova quando submetidos à ação do agente manchante iodo, sofreram pequena redução da resistência ao manchamento. Contudo, as manchas puderam ser removidas através da escovação com detergente forte ou ácido clorídrico.

No entanto, observa-se que a resistência a manchas causadas pela ação do iodo, nas rochas carbonáticas impermeabilizadas, sofre, de maneira geral, brusca diminuição. Em muitos casos, os materiais obtiveram a classificação 1, indicando que a mancha não pôde ser removida.

Tabela 2 - Exemplo de quadro para resistência ao manchamento.

Produto: Nano-effect - Akemi							
Ensaio -> Rocha	Brilho	Óleo			Iodo		
	antes	Lavagem	Observações	Brilho	Lavagem	Observações	Brilho
1-Granito Preto São Gabriel	74	4	sem resíduos visíveis	73,9	5	sem resíduos visíveis	73,7
2-Granito Cinza Andorinha	59	4	sem resíduos visíveis	58,2	2	sem resíduos visíveis	58,4
3-Granito Cinza Corumbá	66	4	sem resíduos visíveis	65,2	2	sem resíduos visíveis	65,9
4-Granito Café Imperial	76	4	sem resíduos visíveis	75,8	5	sem resíduos visíveis	73,7
5-Granito Branco Itaúnas	67	4	sem resíduos visíveis	66,4	2	sem resíduos visíveis	60,7
6-Granito Branco Polar	70	4	sem resíduos visíveis	62,1	2	sem resíduos visíveis	69,2
7-Mármore Botticino	85	4	sem resíduos visíveis	83,3	2	sem resíduos visíveis	84,9
8-Mármore Crema Marfil	80	4	sem resíduos visíveis	69,4	1	amarelado	43,9
9-Mármore Marrom Imperial	76	4	sem resíduos visíveis	58,5	2	sem resíduos visíveis	67,8
10-Mármore Pigues	45	4	sem resíduos visíveis	44,8	1	levemente amarelado	24,8
11-Mármore Carrara	87	4	sem resíduos visíveis	80,7	2	sem resíduos visíveis	64
12-Limestone Mont Chramot	2	4	sem resíduos visíveis	1,7	2	sem resíduos visíveis	1,7

Determinação da resistência ao ataque químico

A Tabela 3 exemplifica o que foi realizado para verificação da resistência ao ataque químico. Os resultados obtidos para as rochas ao natural demonstram que alguns materiais rochosos impedem naturalmente a ação de produtos químicos, como o granito Branco Polar e o Cinza Corumbá. Contudo, outros encontram-se intensamente danificados pela ação destes

produtos, permanecendo com suas características estéticas bastante alteradas, como a maioria dos mármore com o ácido cítrico.

Como já mencionado a comparação estabelecida dos produtos, primeiramente a análise entre aqueles com base água. Dentre os produtos base água, os melhores resultados no geral de amostras, foram com o TK300A e com o Block D70. Posteriormente entre os base solvente médio padrão, verificou-se que todos os produtos dessa classificação apresentaram performance semelhante, sem nenhum destaque. Nos base solvente alto padrão, é possível notar uma pequena melhora somente com o produto Nano- effect. Então nenhum dos produtos estudados conseguiu proteger os mármore contra o ataque químico do ácido cítrico, observando uma eficiência quase constante de resistência ao ataque químico, apenas com pequenas variações pontuais, entre os 16 produtos impermeabilizantes estudados.

Posteriormente à aplicação dos produtos impermeabilizantes, nota-se que as rochas silicáticas, submetidas à ação dos reagentes químicos, mantiveram a mesma resistência ao ataque químico que a apresentada pelos corpos-de-prova ao natural.

Contudo, observa-se, também uma exceção com relação as amostras de Limestone, apresentou uma baixa resistência ao ataque químico por ácido cítrico, mesmo com a aplicação dos produtos impermeabilizantes. As rochas carbonáticas impermeabilizadas, de forma geral, mantiveram a mesma classificação de resistência ao ataque químico que os corpos-de-prova em estado natural.

Tabela 3- Exemplo de quadro para resistência ao ataque químico.

Produto: Stain-proof original- Dry-treat					
Ensaio ->	Brilho	Ácido cítrico		KOH(hidróxido de Potássio)	
Rocha	antes	Visual	Brilho	Visual	Brilho
1-Granito preto São Gabriel	64	levemente clareado	62,1	sem resíduos visíveis	62,7
2-Granito Cinza Andorinha	60	sem resíduos visíveis	52	sem resíduos visíveis	54,3
3-Granito Cinza Corumbá	60	sem resíduos visíveis	53,5	sem resíduos visíveis	58,1
4-Granito Café Imperial	67	sem resíduos visíveis	63,3	sem resíduos visíveis	66,8
5-Granito Branco Itaúnas	62	sem resíduos visíveis	61,5	levemente amarelado	55,7
6-Granito Branco Polar	70	sem resíduos visíveis	70	sem resíduos visíveis	65,5
7-Mármore Botticino	84	branco e áspero	15,8	sem resíduos visíveis	71,5
8-Mármore Crema Marfil	78	branco e áspero	2	sem resíduos visíveis	73,5
9-Mármore Marrom Imperial	75	branco e áspero	9,5	sem resíduos visíveis	71,6
10-Mármore Piques	65	branco e áspero	13,7	sem resíduos visíveis	65
11-Mármore Carrara	76	branco e áspero	10,7	sem resíduos visíveis	70,5
12-Limestone Mont Chramot	2	branco e áspero	1,5	sem resíduos visíveis	1,6

Determinação da resistência ao intemperismo artificial

A Figura 3 ilustra uma amostra de mármore Branco Carrara submetida ao intemperismo artificial após 240 horas no equipamento de Xenon, foi coberta metade com fita crepe antes de ser colocada no equipamento, nota-se a disparidade de brilho visualmente.



Figura 3 - Amostra de intemperismo.

O desgaste originado pela exposição às intempéries, representadas nesta pesquisa pela simulação fotohidrotérmica, pode ser avaliado, indiretamente, através da análise das alterações no nível de lustro do material rochoso e através da mudança com relação à absorção d'água nas amostras impermeabilizadas.

De acordo com os dados da Tabela 4, os valores de lustro mostram alterações significativas em 15 das 17 amostras analisadas, sendo melhor preservado somente com o produto TK300A, que é base água e com o Nano-effect, como base solvente. Entre esses 2 que ofereceram melhor proteção, a melhor eficiência é o Nano-effect, pois as características da amostra permaneceram praticamente inalteradas com relação também à absorção d'água.

Tabela 4 - Ensaio de intemperismo artificial.

Rocha: Mármore Branco Carrara				
Observações ->	Brilho antes	Depois		
Produto		Brilho	Visual	Impermeabilização (água)
1-Natural	86	6,6	fosco	-
2-Toro- Bellinzoni	84	6,5	fosco	permanece
3- Block D70- Bellinzoni	78	5,2	fosco	afetado
4-Idea HP- Bellinzoni	92	8,3	fosco	afetado
5-Idea Gold- Bellinzoni	94	8,5	fosco	permanece
6-Block DPS-Akemi	66	3,5	fosco	permanece
7-Nano-effect-Akemi	75	74,1	levemente fosco	permanece
8-Hydrex- Tenax	91	11,5	fosco	permanece
9-Proseal- Tenax	87	6,5	fosco	permanece
10-Protex- Tenax	62	2,8	fosco	permanece
11-Luminatto 63- Eco Química	87	10,9	fosco	afetado
12-Luminatto 500- Eco Química	74	3	fosco	afetado
13- TK300A- Tecnokoll	46	63,8	levemente fosco	afetado
14- SST400 Faber- Tecnokoll	85	16,1	fosco	permanece
15- TK400S- Tecnokoll	90	3,5	fosco	permanece
16- TK500S- Tecnokoll	93	4,5	fosco	permanece
17- Stain-proof original- Dry-treat	76	3,4	fosco	permanece

Conclusões

A seguir, são reproduzidas as principais conclusões obtidas nesta pesquisa, e já referidas nos capítulos anteriores:

Os principais produtos químicos hidro-óleo-repelentes, disponíveis no mercado nacional de rochas ornamentais, compõem-se, basicamente, de hidrocarbonetos. Esses produtos em sua maioria, quando aplicados em superfícies rochosas ornamentais, promovem considerável redução na capacidade de absorção d'água. Tais propriedades, na maioria dos casos, conservam a mesma característica diante da ação de agentes atmosféricos, conforme demonstrado através de ensaios de simulação fotohidrotérmica.

Na maioria dos casos, após a aplicação dos produtos impermeabilizantes em superfícies rochosas polidas, os níveis de lustro são conservados ou mesmo incrementados, valorizando a beleza natural do material rochoso. As rochas que apresentam índices de absorção d'água mais elevados, e ou revelam forte alteração cromática após serem saturadas com água, são as que mais requerem a aplicação dos produtos impermeabilizantes para sua proteção. Neste trabalho, os produtos com base de hidrocarbonetos alifáticos foram os que mostraram melhor desempenho nos testes. Após a exposição ao intemperismo artificial nas amostras de rochas carbonáticas, as películas de proteção impermeabilizantes se mantiveram praticamente intactas com quase todos os produtos de base solvente e perderam sua eficácia na grande maioria dos impermeabilizantes base água, na qual se notou aumento da absorção d'água.

A resistência ao ataque químico por ácido cítrico e hidróxido de potássio apresentada pelas rochas silicáticas no estado natural e impermeabilizadas, praticamente não sofreu alteração com a aplicação de qualquer dos produtos químicos impermeabilizantes. Tais produtos não ofereceram nenhuma proteção adicional, nos granitos, contra a ação dos reagentes químicos utilizados, os quais representam os principais agentes presentes em produtos de limpeza e frutas cítricas comumente colocados em contato com as rochas ornamentais durante o uso. Já as rochas carbonáticas e o Limestone, sofreram alterações mesmo com a aplicação dos produtos impermeabilizantes, principalmente com o ácido cítrico.

A resistência ao manchamento diante dos agentes de ação oxidante (iodo) e ou formadores de película (óleo) obteve significativo aumento em rochas silicáticas e carbonáticas de tonalidades média a escura, após a aplicação da maioria dos produtos impermeabilizantes. Para rochas claras os produtos impermeabilizantes Nano-effect e Stain-proof foram os que ofereceram maior proteção contra manchas, sobretudo as de ação oxidante.

Referências bibliográficas

- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. (2005) *G155-05a: Standard Practice for Operating Xenon Arc Light Apparatus for Exposure of Non-Metallic Materials*.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (1997) *NBR 13818: Placas Cerâmicas para Revestimento. Especificação e Método de ensaio -Determinação da Resistência ao Manchamento-Anexo G*.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (1997) *NBR 13818: Placas Cerâmicas para Revestimento. Especificação e Método de ensaio -Determinação da Resistência ao Ataque Químico -Anexo H*.
- Chiodi Filho, C.; Rodrigues, E. P. (2009) *Guia de aplicação de rochas em revestimentos*. ABIROCHAS - São Paulo.
- Galan, C. G. (2001) *Avaliação do desempenho de produtos químicos hidro-óleo- repelentes como fator de proteção e valorização de rochas ornamentais*. 87p. Dissertação (Mestrado). IGCE/UNESP- Rio Claro.