

ESTUDO DE MÁRMORES DOLOMÍTICOS PARA USO COMO ROCHAS ORNAMENTAIS

Davi Henrick Veras Diogenes ¹; Daniel Chaves Almeida ¹; Larissa de Sousa Silva ¹; Irani Clezar Mattos ²

Resumo – O Brasil, atualmente, se classifica como o 4º maior produtor e exportador de rochas ornamentais do mundo, e o estado do Ceará e o terceiro maior produtor e exportador de rochas ornamentais do Brasil, ficando atrás somente da Bahia e do Espírito Santo. Esse cenário mostra a necessidade da continua produção de trabalhos que possam embasar o crescimento estadual nessa área. O presente estudo visa identificar o potencial do mármore calcítico-dolomítico da região de Acarape (CE) para a utilização como rocha ornamental por meio dos testes de absorção de água, porosidade e densidade aparente, resistência ao manchamento e resistência ao ataque químico. Esses dados servirão de base para determinar o ambiente em que essa rocha pode ser utilizada como revestimento pétreo sem grandes perdas de seu valor estético.

Palavras-chave – Rochas Ornamentais; ataque químico; teste de manchamento.

Abstract – Brazil ranks as the 4th largest ornamental stones producer and exporter in the world, while Ceará state is the third largest producer and exporter of ornamental stones of Brazil. Bahia and Espírito Santo also are in the national ranking before Ceará state. This scenario reveals the necessity to continue producing works that will support the state's growth in this field. The purpose of this study is to identify the potential of calcitic-dolomite marble originated from the region of Acarape (CE) and its possible use as an ornamental rock, through some tests such as: water absorption, porosity and apparent density, stain resistance and chemical attack resistance. The data on this study will determine in which environment this rock can be used as a stone whilst losing the minimum of its aesthetic value.

Key words – Ornamental stones; chemical attack; stain resistance.

¹ Programa de graduação em Geologia da Universidade Federal do Ceará, (85) 3366-9867, davihenrick@gmail.com

² Profa., PhD, Universidade Federal do Ceará: Fortaleza - CE, (85) 3366-9867, ic-mattos@uol.com.br

1. INTRODUÇÃO

O estado do Ceará vem apresentando um crescimento exponencial no setor de rochas ornamentais, sendo atualmente é o terceiro maior exportador desse material do Brasil, ficando atrás somente do Espírito Santo e da Bahia. Logo, pesquisas em consonância com esse aquecimento do mercado de rochas ornamentais cearense, se fazem cada vez mais necessárias para orientar e embasar a exploração no estado.

Este trabalho tem por objetivo identificar o potencial do mármore dolomítico da região do município de Acarape, Ceará, para a utilização como rocha ornamental. O estudo cifrou-se em identificações de campo, determinação dos índices físicos de absorção de água, porosidade e massa específica, e determinação dos índices de resistência à alterabilidade, sendo eles, resistência ao ataque químico, e resistência ao manchamento.

O conhecimento de tais características da rocha, que se pretende utilizar com fins ornamentais, é essencial, tanto para que um produto de qualidade comprovada seja colocado no mercado, quanto para que os interessados conheçam suas características de resistência. As análises seguiram as normas da associação brasileira de normas técnicas (ABNT), para os testes de índices físicos e resistência química, também foram realizadas medições de RGB, a fim de determinar intensidade de manchamento utilizando-se o software ImageJ.

2. CONTEXTO GEOLÓGICO

2.1 Geologia Regional

A área de estudo faz parte da sequência metavulcanosedimentar de Acarape, estando inserida no contexto geológico do Complexo Ceará, do Domínio Ceará Central, que compõem a porção setentrional da Província Borborema (Almeida et. al., 1981).

A Província Borborema (PB) foi formada na Orogênese Brasileira/ Pan-Africana, durante a aglutinação entre os crátons São Luís - Oeste Africano e São Francisco – Congo, em torno de 600 Ma, que resultou na geração do supercontinente Oeste-Gondwana (Almeida et al., 1981). A Província Borborema é dividida em grandes domínios geotectônicos, são eles: Médio Coreau (DMC), Ceará Central (DCC) e Rio Grande do Norte (DRN) (Brito Neves et al. 2000).

O Domínio Ceará Central, onde a área de estudo está inserida, limita-se a norte pela província costeira, noroeste pela Zona de Cisalhamento Sobral-Pedro II, oeste pela Bacia do Parnaíba, e sudeste pela Zona de Cisalhamento Senador Pompeu. O Domínio é caracterizado por um embasamento gnáissico policíclico e cobertura alóctone, representada por uma sequência metassedimentar do tipo plataformar. Composta de quartzitos, mármore e metapelitos, intercalados com rochas metavulcânicas máficas e ácidas, fortemente afetada por uma tectônica de nappes e por volumosos corpos graníticos pré, sin, tardi e pós-brasiliano (Caby e Arthaud, 1986; Nogueira Neto, 2000; Arthaud, 2007).

De acordo com Arthaud et al. (2008), o Domínio Ceará Central pode ser subdividido em cinco conjuntos litotectônicos: embasamento policíclico, supracrustais proterozóicas, complexo ígneoanatótico, granitogênese pós-colisional e bacias pós-brasilianas. As sequências supracrustais são agrupadas sobre a denominação de Complexo Ceará.

2.2 Geologia Local

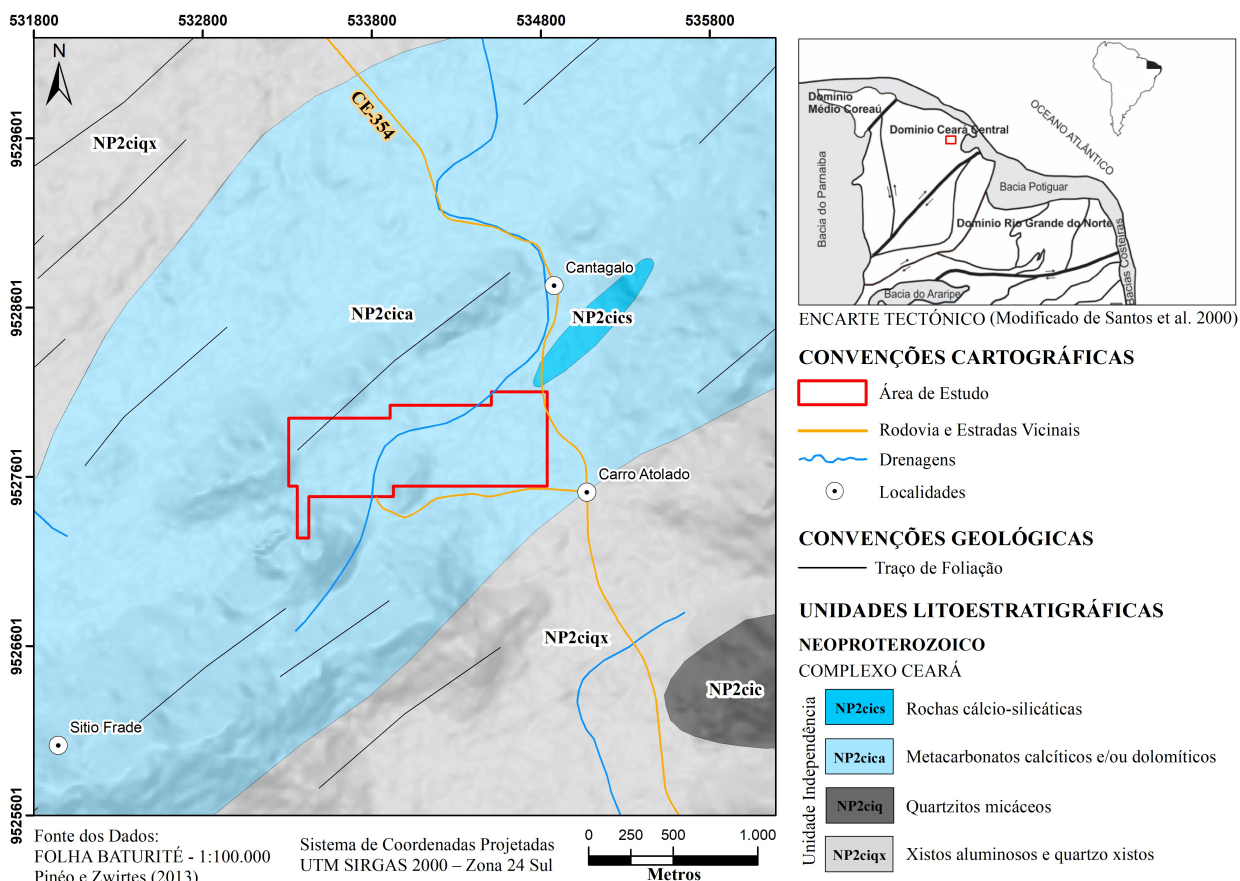
Na área de estudo, o Complexo Ceará é representado estratigraficamente pela Unidade Independência, sendo esta composta por rochas metassedimentares. Fetter et al. (2003),

consideram a possibilidade de a Sequência metassedimentar de Independência ser uma bacia de back-arc, formada durante a evolução do arco de Santa Quitéria, que teria se iniciado por volta de 770 Ma.

Segundo Pinéo (2017), ocorrem na área quartzitos lenticulares, de textura granoblástica e granulação média, constituídos por quartzo, muscovita, sericita, biotita e turmalina; mármores lenticulares de textura granoblástica, constituído por calcita, plagioclásio, muscovita, margarita, wollastonita; Rochas de composição cálcio-silicática, dispostas em formato lenticular com textura granoblástica a granonematoblástica e estrutura bandada. Constituída por tremolita, actinolita, K-feldspato, plagioclásio, quartzo, granada, anfibólio, calcita, flogopita, e xistos de textura lepidoblásticas, constituída por quartzo, plagioclásio, K-feldspato, biotita, muscovita, granada, sillimanita.

Considerando a natureza faciológica, Torres (2006) dividiu a sequência Acarape em duas subunidades: i) A subunidade Aracoia, que contém os mármores estudados, é constituída por associação metavulcano-sedimentar, dominada por rochas metassedimentares terrígenas, representadas por paragneisses e xistos, que contém intercalações lenticulares de quartzitos, rochas calcissilicáticas, mármores, rochas metavulcânicas e/ou metasubvulcânicas, desenvolvida em ambiente plataformar marinho raso e ; ii) A subunidade Baturité que engloba rochas metapelíticas, com alternâncias centimétricas de metapsamitos, que sugerem metarritmicos, contendo localmente intercalações decamétricas de quartzitos, anfibolitos e piroxenitos, representaria a fácies mais profunda na paleogeografia da Sequência Acarape (Figura 1).

Figura 1: Mapa geológico da área de estudo.



3. METODOLOGIA

A rocha estudada consiste em um mármore calcítico-dolomítico com nódulos de sílica, que é extraído no município de Acarape, estado do Ceará, possui coloração branca a cinza claro,

tendo composição mineralógica composta por calcita (60%), dolomita (38%), contendo em algumas partes diopsídio, clorita, tremolita e relíquias, provavelmente, de sulfetos segundo Torres (2006).

Os testes físicos tomaram por base a norma ABNT NBR 15854-2 (ABNT, 2015), para a determinação da densidade aparente, porosidade aparente e da absorção de água. Os testes de ataque químico tomaram por base a norma ABNT NBR 16596 (ABNT, 2017), que simula os danos causados pelo contato prolongado da rocha com materiais de limpeza, substâncias básicas, ácidas e bebidas em velocidade acelerada.

Para os testes físicos utilizaram-se cubos com dimensões de 2,5 cm, os cubos devidamente limpos em água corrente, escovados com uma escova de cerdas macias e postos para secar por 40 horas, posteriormente a secagem os corpos de prova foram pesados individualmente na condição submersa, utilizando-se uma balança Marte Ad2000 de precisão 0,01g. Após a pesagem submersa retiraram-se os corpos da água e o excesso de água foi seco com um pano úmido, então foram pesados novamente na forma saturada, em seguida postos para secar, e após 40 horas pesados novamente, na forma seca. Os valores obtidos foram utilizados para calcular a absorção de água, a densidade e a porosidade aparente.

Para os ensaios de ataque químico, foram selecionadas dez placas de dimensões 10 cm x 10 cm x 2 cm, essas placas foram fotografadas com um zoom de 7,5X em uma lupa Nikon SMZ18. Após fotografadas a superfície das placas, foram isoladas por aros de 2 cm de espessura (de tubos de PVC) fixados com silicone transparente, após o isolamento os 10 reagentes normatizados (Tabela 1) foram colocados em contato com a superfície da rocha, de modo a retardar a evaporação, e prolongar o contato dos reagentes com a rocha, placas de Petri cobriram os aros.

Após o tempo normatizado para o contato com cada reagente ter sido cumprido, os aros foram retirados e as rochas limpas em água corrente. Posteriormente elas foram fotografadas novamente e analisadas a olho nu, nesta análise observou-se mudança de cor, degradação de minerais e corrosão.

O teste de manchamento consistiu em selecionar sete placas de dimensões 10 cm x 10 cm x 2 cm, fotografa-las e isola-las utilizando aros de 2 cm de espessura. Após o isolamento, substâncias cotidianas consideradas manchantes foram colocadas em contato com a superfície da rocha por 24 horas. Passado o período determinado, os aros foram retirados, a superfície da rocha foi limpa, e classificada com base na sua resistência ao manchamento (Tabela 2) por cada substância testada. Após a limpeza, as placas foram fotografadas, e a intensidade da mudança de cor foi medida utilizando o software ImageJ.

Tabela 1: Reagentes de acordo com a norma ABNT NBR 16596 (ABNT, 2017).

Produtos simulados pelos reagentes	Reagentes	Fórmula Química	Concentração	Tempo de Ataque
Detergentes e sabões	Cloreto de Amônio	NH ₄ Cl	100g/L	24 horas
Desinfetantes e agentes alvejantes	Hipoclorito de sódio	NaClO	20 mg/L	24 horas
Sucos, frutas cítricas e refrigerante	Ácido cítrico	C ₆ H ₈ O ₇	100 g/L	24 horas
Produtos alimentícios	Ácido láctico	C ₃ H ₆ O ₃	100 g/L	24 horas
Vinagre, solventes, perfumes e corantes	Ácido acético	CH ₃ COOH	3% v/v	24 horas
Ácido muriático	Ácido clorídrico	HCl	3% v/v	96 horas
Ácido muriático	Ácido clorídrico	HCl	18% v/v	96 horas
Sabões em geral	Hidróxido de potássio	KOH	30 g/L	96 horas
Sabões em geral	Hidróxido de potássio	KOH	100 g/L	96 horas
	Água deionizada	H ₂ O		96 horas

Tabela 2: Nível de resistência ao manchamento

Classes	Resistencia ao manchamento
1	Manchamento não removível
2	Mancha removível com HCl
3	Mancha removível com sapólio
4	Mancha removível com detergente e água quente
5	Mancha removível com água quente

4. RESULTADOS

4.1 Índices físicos

Os índices físicos foram determinados utilizando-se dez corpos de prova cúbicos de 2,5 centímetros. A rocha apresentou alta porosidade e absorção de água, condizente com os dados esperados para rochas carbonáticas. Os valores elevados de porosidade e absorção (Tabela 3) explicam a suscetibilidade da rocha ao manchamento. Os dados obtidos nos ensaios podem ser considerados elevados se comparados com dados obtidos em mármore esteticamente semelhantes. (Comparações com mármore já consolidados no mercado podem ser observadas na Tabela 4).

Tabela 3: Resultados dos testes de absorção de água, porosidade e densidade aparente.

Amostras	Msec (g)	Msat (g)	Msub (g)
1	20,35	20,54	16,18
2	20,55	20,79	15,93
3	20,52	20,73	15,79
4	19,8	19,98	15,26
5	19,83	20,01	15,47
6	19,57	19,81	14,88
7	20,32	20,49	13,52
8	18,98	19,08	12,79
9	20,1	20,32	13,29
10	21,02	21,35	14,11
Media:	20,104	20,31	14,722
Desvio padrão:	0,58	0,626	1,153
Coefficiente de Variação:	0,028	0,03	0,078
Densidade aparente:	3597,7 kg/m ³		
Porosidade aparente:	3,68%		
Absorção de água	1,02%		

Tabela 4: Comparação dos valores de porosidade e absorção da rocha ensaiada com rochas esteticamente semelhantes já consolidadas no mercado de rochas ornamentais. Dados obtidos do Atlas de Rochas Ornamentais do Estado do Espírito Santo (Sardou Filho, 2013) e do Manual de Caracterização, Aplicação, Uso e Manutenção das Principais Rochas Comerciais no Espírito Santo (Alencar, 2013).

Rocha	Porosidade (%)	Absorção d'água (%)
Mármore ensaiado	3,68	1,02
Mármore Branco Azulado	0,17	0,06
Branco Cintilante	0,09	0,25
Acinzentado	0,06	0,17
Mármore Branco Clássico	0,09	0,26
Mármore Cachoeiro White	0,04	0,01

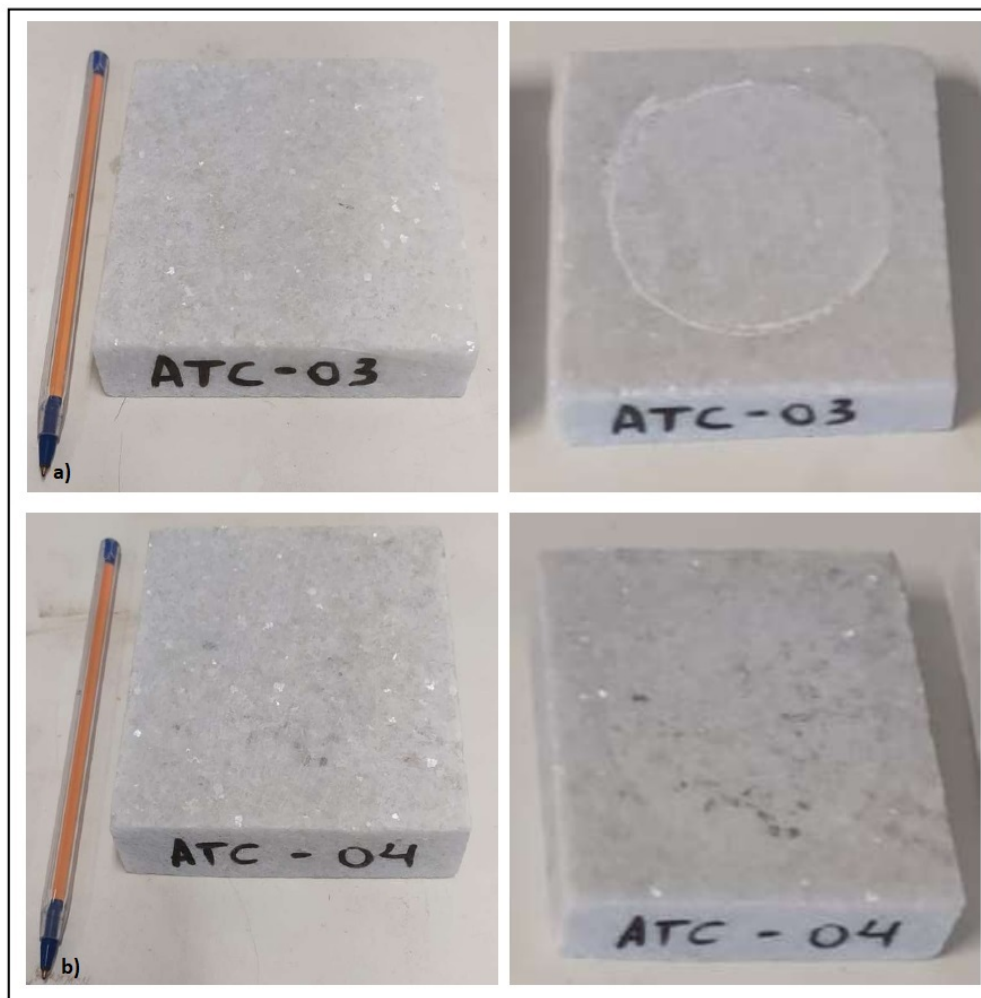
4.2 Ataque químico

A resistência que uma rocha apresenta ao ataque químico está diretamente relacionada com a sua composição mineralógica e características petrográficas (NAVARRO, 2002). Foram realizados na rocha 10 ensaios de ataques químicos com os diferentes reagentes apresentados na tabela 1, dos quais, 5 geraram baixas alterações, 1 gerou alteração intermediária e os outros 4 geraram alta alteração.

A rocha ensaiada apresentou resistência a alterações causadas por hipoclorito de sódio, cloreto de amônio, hidróxido de potássio com concentração de 30 g/L, hidróxido de potássio com concentração 100 g/L e pela água deionizada, não apresentando nenhuma mudança perceptível a olho nu após o contato com esses reagentes.

A alteração intermediária foi causada pelo ácido acético, que ocasionou um leve embranquecimento com uma mudança na asperidade da superfície da placa. Já as altas alterações foram causadas pelo ácido cítrico, ácido láctico e ácido clorídrico (3% e 18% v/v). O ácido cítrico danificou totalmente a superfície da placa, causando um intenso embranquecimento e a deposição de uma espécie de camada de sal sob a superfície da placa (figura 2), assim como observado por Dalmas (2019) no “mármore mudador”. O ácido láctico, além de ter causado um embranquecimento na rocha, também causou a dissolução dos minerais carbonáticos, levando a um realce das tremolitas, que resistiram a dissolução, como pode ser observado na figura 2. O ácido clorídrico (nas duas concentrações) causou um intenso amarelamento na superfície da placa, juntamente com a dissolução dos minerais carbonáticos e conseqüentemente o realce da tremolita que resistiu à dissolução.

Figura 2: Mármore dolomítico antes e depois do ataque químico com ácido cítrico (a) e antes e depois do ataque com ácido láctico (b).



4.3 Resistência ao manchamento

Sete corpos de prova, de medidas 10 cm x 10 cm x 2 cm foram submetidos ao teste de manchamento, para a realização dos testes utilizou-se 7 agentes manchantes presentes no cotidiano de uma moradia. Após o ataque com os reagentes, as rochas foram fotografadas e as medidas RGB foram calculadas.

As medidas de mudança de RGB calculadas para rochas ornamentais serradas devem ser compreendidas de forma diferente das mudanças calculadas para placas polidas e resinadas, a segunda geralmente apresenta uma diferença maior entre os valores medidos antes e depois do ataque, enquanto a primeira apresenta uma diferença menor entre os valores antes e depois. Uma mudança de 10% no valor de RGB (seja tendendo para o escurecimento ou para o clareamento) para uma placa polida pode ser considerada uma mudança de cor intermediária, enquanto uma mudança de cor medida em 10% para uma placa serrada já pode ser considerada uma mudança forte. Logo, conclui-se que valores de mudança de cor medidas em RGB para placas polidas, só pode ser comparado propriamente com medidas retiradas em outra placa polida, e medidas retiradas em placas serradas só podem ser comparadas com medidas retiradas em outras placas serradas.

As variações positivas nos valores de RGB indicam um escurecimento de amostra, enquanto as variações positivas indicam um clareamento (Bolonini, *et al.*, 2016). Os reagentes que causaram uma maior mudança de cor, foram respectivamente a palha de aço com água, o vinho e o molho shoyu (Tabela 3).

Além das médias em RGB após o ataque, também foi medida a resistência que a rocha apresentou a ser manchada, de acordo com a escala apresentada na Tabela 2. A rocha estudada se mostrou pouco resistente ao manchamento, após os ataques somente dois agentes puderam ser limpos, enquanto os outros cinco causaram manchas permanentes (Tabela 4).

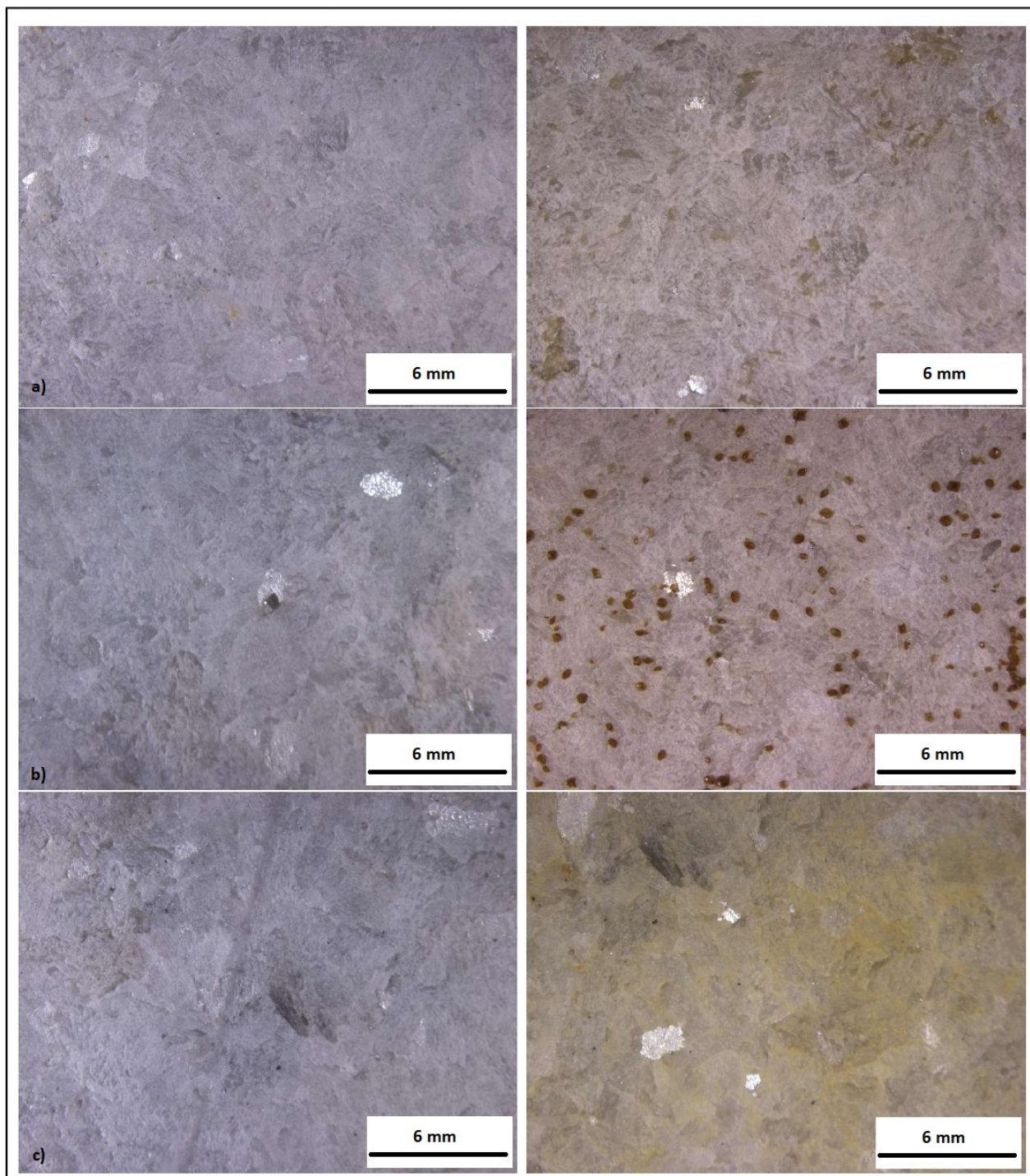
Tabela 3: Valores de mudança de RGB após o ensaio de manchamento.

Reagente	R(%)	G(%)	B(%)	Total(%)
Óleo de sardinha	10,50%	6,78%	3%	6,60%
Vinho (11% de álcool)	8,46%	-4,93%	-16,73%	-4,80%
Palha de aço + água	5,35%	-2,40%	-28%	-9%
Vinagre de maçã	15,60%	5,21%	-2,46%	5,88%
Óleo	-3,61%	-5%	-6,20%	-4,90%
Molho Shoyu	-1,90%	-8,40%	-17,10%	-9,40%
Refrigerante	3,50%	-0,20%	-6%	-1%

Tabela 4: Resultado dos testes de nível de resistência ao manchamento

Agentes manchantes	Classes	Resistencia ao manchamento
Sardinha	5	Mancha removível com água quente
Vinho	1	Manchamento não removível
Aço	1	Manchamento não removível
Vinagre	1	Manchamento não removível
Óleo	3	Mancha removível com sapólio
Shoyu	1	Manchamento não removível
Refrigerante	1	Manchamento não removível

Figura 3: Mármore dolomítico antes e depois do teste de manchamento com molho shoyu (a), vinho (b) e palha de aço + água (c).



5. CONCLUSÃO

Por fim, conclui-se que o mármore dolomítico estudado, devido a sua alta porosidade e absorção de água, apresenta uma fraca resistência ao manchamento, entretanto a rocha mostrou uma boa resistência ao ataque químico causado por substâncias não ácidas. Os resultados demonstram a necessidade de maiores cuidados com a limpeza e com o trato com a rocha. Cuidados esses que são essenciais para que ela mantenha o seu valor estético.

Embora outros testes de resistência ainda se façam necessários para a caracterização total da rocha, recomenda-se que essa não seja utilizada em locais que facilitem o manchamento, o

contato acidental, ou até proposital de substâncias com a rocha, como pisos e bancadas. Além disso, um cuidado especial deve ser tomado com a limpeza desse material pétreo, evitando o uso de materiais de limpeza de pH ácido e utilizando somente produtos de limpeza de pH neutro.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a CAPES ao CNPq e a Universidade Federal do Ceará pelo fomento e bolsas de pesquisa, e também agradecem ao NUTEC pelo suporte oferecido.

REFERÊNCIAS

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. *Rochas para Revestimento - Determinação da Densidade Aparente, da Porosidade Aparente e da Absorção de Água*. Norma NBR 15.845/2. Rio de Janeiro. 2015.

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. *Rochas para Revestimento – Resistência ao ataque químico*. Norma NBR 16596. Rio de Janeiro. 2017.

ALENCAR, Carlos Rubens Araújo. Manual de caracterização, aplicação, uso e manutenção das principais rochas comerciais no Espírito Santo: rochas ornamentais. Instituto Euvaldo Lodi-Regional do Espírito Santo. Cachoeiro de Itapemirim/ES: IEL, 2013.

ALMEIDA, F.F.M.; HASUI, Y.; BRITO NEVES, B.B.; FUCK, R.A. (1981) Brazilian structural provinces: na introduction. *EarthScience Reviews*, 17, p. 1-29.

ARTHAUD, M.H. (2007) *Evolução neoproterozóica do grupo Ceará (domínio central, NE Brasil): da sedimentação à colisão continental brasileira*. Brasília: UnB, 2007. 132 p. il. Tese (Doutorado em Geociências. Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Brasília.

Arthaud M.H; Caby R.; Fuck R.A; Dantas E.L; Parente C.V. (2008) *Geology of the Northern Borborema Province, NE Brazil and its correlation with Nigeria, NW Africa*. Geological Society of London, Special Publication, 294: 49-67.

BOLONINI, M. GODOY, A.M.; BOLONINI, L.C.A.S.; SILVEIRA, L.L.L.; SANTOS, E. (2016) Uso da correlação entre imagens na classificação da descaracterização superficial de rochas ornamentais submetidas ao ataque químico. Simpósio de Rochas Ornamentais do Nordeste IX. João Pessoa, 2016c. *Anais...* João Pessoa: CETEM.

BOLONINI, T.M.; GODOY, A.M.; FIGUEIREDO, C.A.M.; MAURÍCIO, A.; PEREIRA, M.F.; CLEMENTE, I.M.; SILVA, F.D.O. (2016) Análise de cor em imagens digitais e análise de brilho para rochas ornamentais submetidas ao ataque químico. . Simpósio de Rochas Ornamentais do Nordeste IX, João Pessoa, 2016a. *Anais...* João Pessoa: CETEM.

BRITO NEVES B.B., DOS SANTOS E.J., VAN SCHMUS W.R.. Tectonic History of the Borborema Province, Northeastern Brazil. In: Cordani U., Milani E.J., Thomaz Filho A., Campos D.A. (eds.) Tectonic Evolution of South America. 31st International Geological Congress. Rio de Janeiro, p. 151-182. 2000.

CABY, R.; ARTHAUD, M.H. (1986) Major precambrian nappes of the Brazilian belt, Ceará, northeast Brazil. *Geology*, v. 14, p. 871-874.

DALMAS, A.G. (2019) *Caracterização tecnológica com ênfase no ataque químico em mármore para uso ornamental*. Trabalho de conclusão de Curso. Graduação em Geologia. Universidade Federal do Pampa. 46p.

FETTER, A. TICIANO, J.S.S.; VAN SCHMUS, W.R.; HACKSPACHER, P.C.; BRITO NEVES, B.B.; ARTHAUD; M.H.; NOGUEIRA NETO, J.A; WERNICK, E. (2003) Evidence for neoproterozoic continental arc magmatism in the Santa Quitéria Batholith of Ceará State, NW Borborema Province, NE Brazil: implications for the assembly of west Gondwana. *Gondwana Research*, v. 6, n. 2, p. 265-273.

NAVARRO, F. C.; ARTUR, A. C. (2002) Caracterização petrográfica como ferramenta para a previsão do comportamento físico e mecânico de granitos ornamentais: uma discussão. Simpósio de Rochas Ornamentais do Nordeste III. Recife, 2002. *Anais...* Rio de Janeiro: CETEM/MCT.

NOGUEIRA NETO J.A. (2000) *Evolução Geodinâmica das faixas granulíticas de Granja e Cariré, extremo noroeste da Província Borborema*. PhD Thesis, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, 171 p.

PINÉO, Tercyo Rinaldo Gonçalves (org.). *GEOLOGIA E RECURSOS MINERAIS DA FOLHA BATURITÉ SB.24-X-A-I: escala 1:100.000*. Fortaleza: CPRM, 2017. 93 p.

PINÉO, Tercyo Rinaldo Gonçalves; Zwirter, S. Programa Geologia do Brasil. *Baturité Folha SB.24-X-A-I*. Fortaleza: CPRM, 2013. 1 mapa colorido, 96 x 67,5 cm. Escala: 1:100.000.

SARDOU FILHO, Ruben et al. Atlas de rochas ornamentais do estado do Espírito Santo. CPRM, 2013.

TORRES, P.F.M.; PARENTE, C.V.; SIAL, A.N.; DANTAS, E.L.; FUCK, R.A.; VERÍSSIMO, C. U.V; ARTHAUD, M.H. (2006) *Aspectos geológicos, petrográficos e geoquímicos dos mármores dolomíticos com nódulos de quartzo da sequência metavulcano-sedimentar de Acarape-CE*. Brazilian Journal of Geology, v. 36, n. 4, p. 748-760, 2006.