

ENSAIOS TECNOLÓGICOS EM ARENITOS SILICIFICADOS: ESTUDO DE APROVEITAMENTO DE REJEITO DA MINERAÇÃO

Dayane Canavesi de Moraes¹; Ana Carolina Porto²; Denise Balestrero Menezes³; Teresinha de Jesus Bonucelli⁴

Resumo – Este estudo tem o objetivo de realizar ensaios de índices físicos, resistência e alterabilidade para análise das características do arenito silicificado poroso vermelho, que atualmente não tem seu uso aproveitado pelo mercado de rochas ornamentais, sendo acumulado em pilhas de rejeitos ao redor das áreas de mineração da região de São Carlos, estado de São Paulo, sudeste do Brasil. Ainda nem todos normatizados, os ensaios de alterabilidade têm várias referências na literatura técnica brasileira; deste modo a análise dos resultados foi obtida através de comparação com resultados encontrados por outros pesquisadores. O arenito silicificado poroso vermelho mostrou grande alteração quando em contato com ácido muriático e hidróxido de sódio, duas das soluções ensaiadas, perdendo sua cor original e apresentando alteração de sua friabilidade, respectivamente. Com relação aos ensaios normatizados de resistência a rocha manifestou baixa resistência, indicando possibilidade de uso como revestimento em áreas pouco movimentadas, como bordas de piscinas e outras de pequena circulação; a alta absorção favorece o resfriamento e secagem nestes casos.

Abstract – This study has the objective of performing physical index, resistance and alterability tests to analyze the characteristics of the red porous silicified sandstone, which is currently not used by the ornamental stone market, accumulating in tailings piles around the mining areas of the São Carlos region, state of São Paulo, southeastern Brazil. Not all alterability tests are standardized, so they have many references in the Brazilian technical literature; thus, the analysis of the results was obtained through comparison with conclusions found by other researchers. The red porous silicified sandstone showed a great alteration when in contact with muriatic acid and sodium hydroxide, two of the solutions tested, losing its original color and presenting alteration of its friability, respectively. In relation to the normalized tests of resistance, the rock showed low resistance, indicating the possibility of use as a paving in areas with little movement, such as swimming pool borders and others with little circulation; high absorption favors cooling and drying in these cases.

Palavras-Chave – Arenitos porosos; alterabilidade; Formação Botucatu; São Carlos.

¹ Graduanda em Engenharia Civil. Universidade Federal de São Carlos – SP. (16) 3351-8260, dayane.canavesi@hotmail.com
² Graduanda em Engenharia Civil. Universidade Federal de São Carlos – SP. (16) 3351-8260, anacporto01@hotmail.com
³ Geol., Profa. Dra., Dep. Engenharia Civil. Universidade Federal de São Carlos – SP. (16) 3306-6442, denisebm@ufscar.br
⁴ Eng. Civil, Profa. Dra., Dep. Engenharia Civil. Universidade Federal de São Carlos – SP. (16) 3351-9665, bonuceli@ufscar.br

1. INTRODUÇÃO

A utilização de rochas pelo homem como materiais de construção remonta à pré-história. As formas de uso foram sendo aperfeiçoadas, adquirindo funções não só construtivas, mas também estéticas. E até hoje são utilizadas na construção civil, tanto na forma de agregados (fragmentos), como nas rochas para revestimentos ou usos estruturais.

O conhecimento das características das rochas possibilita conhecer seus comportamentos quando utilizadas em construção, frente às solicitações que serão submetidas, podendo ocorrer desgaste ou rompimento e ainda, frente às possíveis reações químicas indesejadas entre seus componentes minerais e os agentes agressores ou ligantes. (FRAZÃO, 2002).

Ensaio em rochas são em grande parte normatizados pela Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT, como a NBR 15845 (ABNT, 2015 a,b,c,d,e,f), que define aqueles que avaliam as características tecnológicas da rocha para fins ornamentais e/ou de revestimento. Esta norma trata de vários ensaios relacionados às características da rocha, como composição, índices físicos e sua resistência a determinados esforços. Os resultados definidos por um conjunto de ensaios é que determina a aplicabilidade da rocha em determinada função.

Se considerarmos os usos menos exigentes quanto à resistência, como os revestimentos externos e alguns pisos, pode ser viável o uso mesmo fora dos padrões normatizados. Um exemplo disso é a utilização dos quartzitos porosos micáceos em fachadas e bordas de piscinas, comercialmente conhecidos como Pedra Mineira, Pedra Caxambu, Pedra São Tomé.

Nesses casos, ensaios de alterabilidade física e química são importantes, especialmente para as condições nas quais se encontra o Brasil, com pluviosidade e irradiação solar elevadas. Além disso, há também a exposição a produtos químicos e de limpeza. Com o passar do tempo, os materiais rochosos usados no revestimento de edificações tendem a se modificar e deteriorar naturalmente, podendo este processo se acelerar em condições climáticas agressivas, ambientes poluídos ou pela utilização de procedimentos construtivos e de manutenção inadequados. Atualmente, estão sendo pesquisados ensaios de alteração objetivando prever ou mitigar estes problemas (FRASCÁ et al., 1999; FRASCÁ & YAMAMOTO, 2003). Becerra & Costa (2007) realizaram um conjunto de ensaios que simula os principais agentes físicos e químicos, que ocasionam deterioração em rochas com aplicação ornamental, entre eles a ação de substâncias químicas de uso doméstico e industrial, a exposição a ambientes oxidantes (litorâneos) e a condições adversas do meio ambiente (chuva ácida).

Em São Carlos, cidade localizada na região sudeste do Brasil, ocorrem arenitos silicificados amarelos e vermelhos utilizados no passado como fundações das construções, calçadas (lajes e mosaico português) e revestimentos que podem ser ainda vistos, mas hoje com uso mais limitado. Estes arenitos da Formação Botucatu têm extração privilegiada, pois aparecem em escarpas, facilitando a retirada de placas e principalmente blocos, segundo Paraguassú et al. (2014).

O aspecto destes arenitos varia bastante conforme a maior ou menor cimentação por sílica e/ou óxido de ferro, em decorrência do fluxo de lava e fluidos provenientes dos derrames e/ou intrusão dos magmatitos básicos da Formação Serra Geral. (GIACOMELI et al., 2009). Para algumas camadas a menor silicificação resulta em rocha mais porosa. O arenito poroso vermelho, presente na região, é acumulado em pilhas de estéril, impactando o ecossistema e dificultando a readequação da área a outro uso. Além disso, é a camada que precisa ser retirada para a extração de outras de maior interesse, gerando custos e uma relação estéril – minério elevada.

Porto (2016) realizou ensaios normatizados pela NBR 15845 (ABNT, 2015 a,b,c,d,e,f), em amostras de arenitos silicificados ocorrentes na cidade de São Carlos, mas com pouca utilização pelo mercado de rochas ornamentais da região, fato que acarreta um grande descarte. Entre os litotipos e suas variações estudados estava o arenito poroso vermelho. Os resultados obtidos quanto à resistência não a indicam para o uso como elementos estruturais, mas na ciclagem água-estufa não houve perda de massa, indicando que há a possibilidade para alguns tipos de uso, como o revestimento. Para isto são importantes ensaios complementares, principalmente os ensaios de alterabilidade. As características deste material rochoso se assemelham, em alguns

casos, aos quartzitos porosos micáceos e, portanto, a investigação sobre utilizações semelhantes é válida, embora os arenitos tenham que ser serrados em placas para uso.

2. OBJETIVOS

Considerando que o arenito silicificado poroso vermelho é um material de rejeito da indústria de extração de rocha ornamental da região de São Carlos, este trabalho tem o propósito de realizar uma série de ensaios que caracterizem esta rocha, e discutir as possibilidades de uso para esta variação de arenito. Para isso procurou-se caracterizar o material não somente em relação as suas resistências físicas e químicas, mas também foram analisados aspectos estéticos que ele pode apresentar quando exposto a diferentes ambientes e produtos de limpeza, buscando demonstrar a pertinência de ensaios de alterabilidade ainda não normatizados.

3. METODOLOGIA

A metodologia consistiu em organizar, primeiramente, os resultados já obtidos para este litotipo por Porto (2016), que realizou ensaios de análise petrográfica macroscópica; velocidade de absorção de água e alterabilidade água-estufa seguida de compressão uniaxial. Após esta etapa foram levantados na literatura, outros ensaios para complementar a caracterização da rocha.

Decidiu-se pela realização dos seguintes ensaios: análise petrográfica macroscópica; determinação de densidade aparente, porosidade aparente e absorção de água; determinação das resistências à flexão por carregamento em quatro pontos e ao impacto de corpo duro; e alterabilidade química (Tabela 1). Com os ensaios definidos, coletou-se amostras do arenito poroso vermelho na pedreira Araújo (arrendatário Piccinin), na cidade de São Carlos, que foram encaminhadas para preparação de corpos de prova em dimensões adequadas à realização dos mesmos.

Tabela 1 – Tipos de ensaios realizados no arenito poroso vermelho

| Objetivo | Corpo de Prova (CP) | Norma / Procedimento |
|---|--|--|
| Análise Petrográfica (macro) | CP não especificado | NBR 15845-1 |
| Índices Físicos | 10 CP's com dimensões (mm) 50 x 50 x 50 | NBR 15845-2 |
| Resistência à flexão por carregamento em 4 pontos | 10 CP's com dimensões (mm) 20 x 200 x 260 | NBR 15845-7 |
| Resistência ao impacto de corpo duro | 5 CP's com dimensões (mm) 200 x 200 x 20 | NBR 15845-8 |
| Alterabilidade química | 20 CP's com dimensões (mm) 50 x 50 x 50 | Frasca et al. (1999); Frasca & Yamamoto (2003) |

3.1. Análise petrográfica macroscópica

Após a coleta das amostras realizou-se estudo petrográfico macroscópico. A análise foi realizada de acordo com o roteiro constante da norma NBR 15845-1 (ABNT, 2015a).

3.2. Índices Físicos - Determinação da densidade aparente, da porosidade aparente e da absorção de água

Os ensaios foram executados com base na norma NBR 15845-2 (ABNT, 2015b).

3.3. Determinação da resistência à flexão ou tensão de ruptura na flexão por carregamento em quatro pontos

Para a realização deste ensaio utilizou-se os equipamentos, os procedimentos e os cálculos estabelecidos pela norma NBR 15845-7 (ABNT, 2015e). Os corpos de prova foram separados em dois grupos, sendo o primeiro submetido à saturação por água destilada e o segundo deixado em estufa por 48 horas. Em seguida foram ensaiados utilizando-se a prensa com respectivos suplementos acoplados (Figura 1), sendo obtidos os valores de resistência à flexão, expressa pela tensão de ruptura na flexão.



Figura 1 – Corpo de prova em ensaio (Laboratório de Sistemas Estruturais da UFSCar)

3.4. Determinação da resistência ao impacto de corpo duro

A realização do ensaio de resistência ao impacto de corpo duro foi baseada na NBR 15845-8 (ABNT, 2015f) que visa observar a resistência da rocha à queda de objetos pesados. O ensaio foi realizado com cinco corpos de prova, até ocorrer sua ruptura ou fissuração (Figura 2)



Figura 2 – Ensaio de resistência ao impacto de corpo duro (Laboratório de Geotecnia da UFSCar)

3.5. Ensaio de alterabilidade química

Dentre os ensaios de alterabilidade, foi realizado o ensaio de resistência ao ataque químico, seguindo os procedimentos adaptados para rochas, por Frascá et al. (1999) e Frascá & Yamamoto (2003), referentes a norma NBR 13818 (ABNT, 1997). Este consiste na exposição, por tempos pré-determinados, de corpos de prova de rochas a reagentes utilizados em produtos de limpeza e de uso doméstico, para verificar a susceptibilidade da rocha ao seu uso.

No presente trabalho, foram utilizadas as soluções de hipoclorito de sódio, ácido sulfúrico e hidróxido de sódio, que são os reagentes que provocaram maiores alterações nos litotipos estudados por Frascá et. al. (1999) e Frascá & Yamamoto (2003). Além disso, optou-se por verificar as possíveis alterações geradas pelo ataque químico do ácido muriático, nome comercial de produto a base de ácido clorídrico em forma impura, utilizado para limpeza de pisos. As soluções e suas concentrações estão especificadas na Tabela 2.

A metodologia deste ensaio consistiu na imersão parcial, por aproximadamente um mês, de conjuntos de cinco corpos de prova de arenito poroso vermelho, previamente secos, nestas soluções reagentes. As soluções eram trocadas em dias alternados durante todo o período de forma a manter a concentração constante. Antes do início do ensaio, os corpos de prova foram todos medidos, secos e pesados após secar em estufa a 70° C até a estabilização do peso. Ao final do ensaio, as amostras foram novamente lavadas, secas e pesadas até a estabilização e os resultados de perda de massa comparados.

Tabela 2 – Concentração das substâncias utilizadas para o ensaio de alterabilidade química

| Substância / produto | Concentração |
|---|--|
| Ácido Sulfúrico (H ₂ SO ₄) | 1% (V/V) |
| Hidróxido de Sódio (NaOH) | 1 N |
| Hipoclorito de Sódio (NaClO) | 2,5% em massa |
| Ácido Muriático (HCl + R-SO ₃ H + amido) | 35% de HCl, 7% de ácido sulfônico, 3% de amido |

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Como não foi realizada análise petrográfica microscópica, optou-se por comparar os valores dos ensaios realizados com o arenito poroso vermelho, com os valores referentes ao Arenito com porcentagem de sílica livre maior ou igual a 60%, presente na Tabela 3, que está embasada em Frascá (2011) e que estabelece alguns valores padronizados pela ASTM (*American Society of Testing Materials*) para rochas ornamentais destinadas ao uso como revestimento. A análise dos resultados foi complementada com o uso da Tabela 4, relativa à classificação de qualidade de rochas da ABIROCHAS (CHIODI FILHO & RODRIGUES, 2009).

Tabela 3 - Valores padronizados pela ASTM referentes a ensaios de rochas para uso como revestimento. (Modificada de Frascá, 2011).

| Norma | Tipo de Rocha | Densidade (kg / m ³) | Absorção de água (%) | Compressão Uniaxial (MPa) | Módulo de Ruptura (MPa) | Flexão em 4 Pontos (MPa) |
|------------|--|----------------------------------|----------------------|---------------------------|-------------------------|--------------------------|
| ASTM C 616 | Arenito ≥ 60% sílica livre | ≥ 2003 | ≤ 8 | ≥ 27,6 | ≥ 2,4 | n.e. |
| | Arenito Quartzítico ≥ 90% sílica livre | ≥ 2400 | ≤ 3 | ≥ 68,9 | ≥ 6,9 | n.e. |
| | Quartzito ≥ 95% sílica livre | ≥ 2560 | ≤ 1 | ≥ 137,9 | ≥ 13,9 | n.e. |

Para uma análise mais completa das características referentes ao arenito poroso vermelho, considerou-se os resultados obtidos por Porto (2016), que realizou ensaios de velocidade de absorção de água e alterabilidade água-estufa seguida de compressão uniaxial com amostras desse mesmo tipo litológico.

Para os ensaios não normatizados de alteração química foi realizada uma avaliação macroscópica visual de efeitos dos ataques nas rochas ao longo dos ciclos realizados, comparando-se também com as características de coerência inicial e final, além de alterações de cor e aspectos estéticos. Para quantificação da alteração utilizou-se a comparação de perda massa antes e após os ensaios.

Tabela 4 – Proposta da ABIROCHAS relativa a qualificação Tecnológica de Rochas (modificada de HENRIQUES & TELLO, 2006; apud CHIODI FILHO & RODRIGUES, 2009)

| Parâmetros Tecnológicos de Referência | | | | | |
|---------------------------------------|-------------------------|----------------------------|--------------------------------|----------------------------|---------------------|
| Absorção d'Água (%) | Porosidade aparente (%) | Resistência ao Impacto (m) | Resistência à compressão (MPa) | Resistência à Flexão (MPa) | |
| | | | | 3 pontos | 4 pontos |
| Muito Alta > 3,0 | Muito Alta > 6,0 | Muito Baixa < 0,30 | Muito Baixa < 40 | Muito Baixa <6 | Muito Baixa <4,5 |
| Alta 1,0–3,0 | Alta 3,0–6,0 | Baixa 0,30–0,50 | Baixa 40–70 | Baixa 6-10 | Baixa 4,5-7,5 |
| Média 0,4–1,0 | Média 1,0–3,0 | Média 0,50–0,70 | Média 70–130 | Média 10-16 | Média 7,5-11,5 |
| Baixa 0,1–0,4 | Baixa 0,5–1,0 | Alta 0,70–0,95 | Alta 130–180 | Alta 16-20 | Alta 11,5-15 |
| Muito Baixa < 0,1 | Muito Baixa < 0,5 | Muito Alta > 0,95 | Muito Alta > 180 | Muito Alta > 20 | Muito Alta > 15 |

4.1. Análise petrográfica

O arenito poroso vermelho apresenta as seguintes características: cor secundária avermelhada (óxido de ferro) e manchas pretas de manganês; granulação de areia fina; estrutura predominantemente maciça e porosa, com estratificações plano-paralelas em algumas amostras, sem deslocamento; composição de grãos de quartzo, cimento silicático e presença de óxidos ou hidróxidos de ferro intergranulares; textura do tipo clástica/detrítica; grau de alteração tipo inalterada (sã).

Comparando-se com outros litotipos de arenito silicificado, o arenito aqui analisado apresenta maior rugosidade superficial dada pela menor silicificação (menor cimentação).

4.2. Índices físicos: densidade aparente, porosidade aparente e absorção de água

A Figura 3 apresenta os resultados obtidos para os índices físicos. A densidade aparente média do arenito poroso vermelho obtida foi de 2.132,5 kg/m³, a porosidade aparente foi de 10,2% e a absorção de água de 4,8%.

Estes resultados são compatíveis com os limites apresentados na Tabela 3 (Frasca, 2011) para arenitos com porcentagem de sílica maior que 60%, concluindo-se que o arenito poroso vermelho se enquadraria para uso como revestimento. Segundo a qualificação sugerida por Chiodi Filho & Rodrigues (2009), explicitada na Tabela 4, esta rocha apresenta porosidade e absorção de água classificadas como muito altas, mas isso é impedimento para o seu uso.

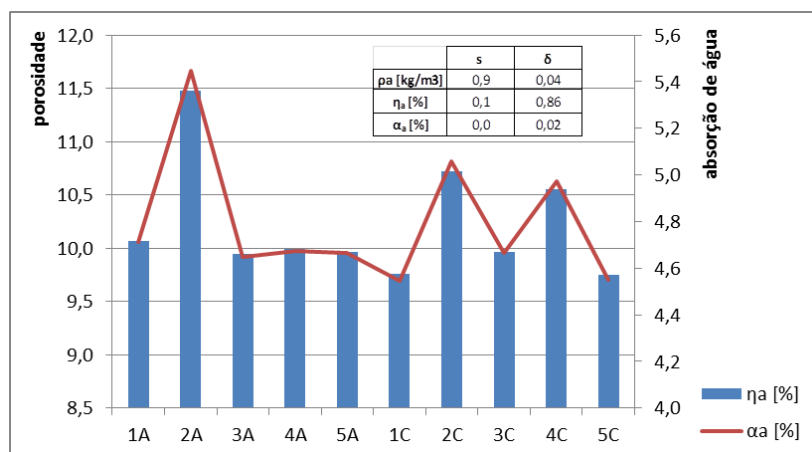


Figura 3 – Valores obtidos de porosidade aparente e absorção de água

4.3. Determinação da resistência à flexão por carregamento em quatro pontos

Os resultados encontrados de resistência à flexão por carregamento em quatro pontos estão apresentados na Tabela 5.

A média obtida para a tensão de ruptura na flexão das amostras em estado seco foi de 6,00 MPa e a das amostras em estado úmido foi de 6,47 MPa. Verifica-se que, praticamente, não há diferença na resistência a flexão para os corpos de prova secos ou úmidos. Estes resultados estão acima dos valores para arenitos com porcentagem de sílica maior que 60% da Tabela 3 (Frasca, 2011), para o módulo de ruptura a flexão (quando se usa carregamento em 3 pontos). Embora a Tabela 3 não apresente valores referentes a resistência à flexão para carregamento em 4 pontos, eles seriam menores, e por isso é possível realizar essa comparação. Segundo os limites sugeridos por Chiodi Filho & Rodrigues (2009), explicitados na Tabela 4, esta rocha apresenta resistência a flexão baixa.

Tabela 5 – Resistência à flexão por carregamento em quatro pontos para amostras em estado seco e úmido

| Amostras secas | Resistência à flexão 4 pontos (MPa) | Amostras úmidas | Resistência à flexão 4 pontos (MPa) |
|----------------|-------------------------------------|-----------------|-------------------------------------|
| CP1 | 3,50 | CP1 | 2,72 |
| CP2 | 5,34 | CP2 | 8,68 |
| CP3 | 4,93 | CP3 | 7,62 |
| CP4 | 14,31 | CP4 | 8,24 |
| CP5 | 1,95 | CP5 | 5,11 |

4.4. Determinação da resistência ao impacto de corpo duro

Com os resultados obtidos nesse ensaio, pode ser observado que o valor médio da altura de ruptura foi 0,3m. Segundo os limites sugeridos por Chiodi Filho & Rodrigues (2009) esta rocha apresenta resistência ao impacto baixa (altura de 0,3 a 0,5m).

4.5. Ensaio de alterabilidade química

As amostras imersas nas soluções de ácido sulfúrico e hipoclorito de sódio não sofreram alteração, como mostra a Figura 4. Na solução de hipoclorito de sódio houve a precipitação sal na superfície, sem afetar a rocha, sendo removida na lavagem.



Figura 4 – Corpos de prova não alterados ao final do ensaio de imersão em ácido sulfúrico à esquerda e hipoclorito de sódio à direita

A solução que mais causou alteração no arenito poroso vermelho foi a de hidróxido de sódio. Ao final do ensaio era perceptível a perda de grãos que o ataque da base estava proporcionando à rocha; foi possível observar também a perda de cimentação de óxido de ferro, tornando assim a rocha friável (Figura 5). Após a pesagem a variação de peso neste ensaio foi de -0,01%, indicando a perda de massa visualizada.



Figura 5 – Perda de grãos das amostras devido ao ensaio de alteração química com solução de hidróxido de sódio e corpo de prova com as arestas arredondadas devido à imersão na solução.

Em ácido muriático o arenito poroso vermelho mostrou grande alteração de coloração ao passar dos dias, até a solução de imersão apresentou mudança, de incolor para um amarelo. A variação de peso não foi significativa. O óxido de ferro do cimento é o responsável pela cor avermelhada destes arenitos, e o ácido muriático reagiu com esse óxido de ferro, alterando a cor, provavelmente pela mudança de valência do Ferro, como pode ser observado na Figura 6.



Figura 6 – Amostras e solução de ácido muriático com cores alteradas após ciclagem

4.6. Avaliação geral das características dos arenitos vermelhos porosos

O arenito poroso vermelho, pouco silicificado apresenta aspecto visual interessante para uso como revestimento.

Quanto aos resultados de índices físicos, a densidade aparente média ($2.132,5 \text{ kg/m}^3$) e absorção de água (4,8%), são consideradas compatíveis com os limites definidos para este tipo de rocha pela ASTM (Tabela 3). Os dados de porosidade aparente (média de 10,2%) são diretamente correlacionados com a absorção de água, conforme observado na Figura 3.

Porto (2016), em ensaio de velocidade de absorção de água em função do tempo, obteve valores iniciais elevados para a absorção de água; observou ainda que em tempos intermediários a absorção foi superior ao valor final, demonstrando a rápida absorção e evaporação de água nestes arenitos. Esta facilidade tanto em absorver água, como em perder por evaporação, é considerada boa para uso como revestimento em áreas externas de baixa circulação, assim como entorno de piscinas.

Quanto às características de resistência, a tensão de ruptura a flexão (por 4 pontos), apresentou valores médios de 6,0 MPa em estado seco e 6,47 MPa em estado úmido, não indicando perda de resistência quando molhados. Além disso, esses valores estão acima dos valores de referência sugeridos pela ASTM (Tabela 3). Quanto aos ensaios de resistência ao impacto de corpo duro a média de altura de rompimento foi 0,3m, que pode ser considerada baixa, de acordo com os valores apresentados na Tabela 4 (proposta ABIROCHAS).

Os resultados de compressão uniaxial após ensaio de alterabilidade água/estufa, realizados por Porto (2016), apresentaram tensão de ruptura média de 53 MPa, considerada baixa pelos critérios da Tabela 4. Entretanto, está acima do valor sugerido pela ASTM (Tabela 3) para arenitos com porcentagem de sílica igual ou superior a 60%, para uso como revestimento.

Montanheiro et al. (2011) estudaram arenitos silicificados da Formação Botucatu no estado do Paraná e encontraram valores de porosidade e absorção superiores aos aqui estudados e de resistência a compressão uniaxial inferiores, da ordem de 30,5 MPa. Os litotipos pesquisados pelos autores são amplamente utilizados como revestimento, mesmo com as características inferiores à norma, o que não ocorre com a rocha oriunda de São Carlos aqui estudada.

Valores não muito distintos daqueles obtidos aqui foram observados em estudo de Fernandes (2002) com quartzitos de Minas Gerais. Os litotipos mais porosos apresentaram menor resistência, mas boa aplicabilidade em locais de menor circulação e onde a absorção de água é benéfica.

Quanto às características de alterabilidade, Porto (2016) havia identificado em ensaio de alterabilidade água-estufa que, após 30 ciclos de estufa por 8 (\pm 1) horas e de imersão em água por 16 (\pm 1) horas não houve perda de massa significativa ou alterações visuais nos corpos de prova ensaiados.

Nos ensaios de alterabilidade química realizados, os resultados mostraram desempenho bom e sem efeitos visíveis quando imersos em ácido sulfúrico e hipoclorito de sódio. Este último gerou precipitações superficiais de sal, removidas após lavados os corpos de prova. Quando utilizada a solução de ácido muriático o arenito poroso vermelho mostrou grande perda de coloração, resultando em rocha amarelada e manchada, provavelmente pela mudança de valência do Fe de cimentação desta rocha. Portanto, não apresentou resistência ao manchamento com uso de produto comum no mercado de pedras, sendo necessário cuidado de não aplicar nestas rochas de coloração vermelha. Quanto ao ensaio em solução de hidróxido de sódio, ao seu término era perceptível a perda de grãos da rocha, inclusive de cimentação de óxido de ferro, resultando em friabilidade à rocha, com perda de peso média de -0,01%.

5. CONCLUSÃO

Com os dados obtidos, foi possível determinar aspectos estéticos, físicos e químicos da rocha estudada, o arenito poroso vermelho.

Analisando todos os resultados obtidos concluiu-se que o arenito poroso vermelho não é adequado para uso estrutural, tendo uma resistência à compressão e à flexão baixa, mas pode ser utilizado em revestimentos especialmente onde não há grande circulação de pessoas.

Cuidados devem ser tomados quanto à utilização de alguns produtos de limpeza.

A alta absorção de água e porosidade aparente no arenito poroso vermelho indicam que seu uso para revestimentos de borda de piscinas, ou áreas externas uma vez a absorção d'água e consequente evaporação rápida evitam o empoçamento de água e facilitam a drenagem de pisos externos. Ele é um material antiderrapante, devido a sua superfície áspera e causa reflexão da luz solar, proporcionada por sua coloração clara, permitindo que o material funcione como refratário térmico, evitando o aquecimento de ambientes.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos aos apoios da Pedreira Araújo (arrendatário Márcio Piccinin) e seus funcionários, ao Sr. Amarai da Oxpisos pela preparação de amostras, aos técnicos Ricardo Luiz Canato e Sidnei Muzetti pelo apoio na realização de ensaios, aos laboratórios de Geociências, Sistemas Estruturais e Geotecnia do DECiv – UFSCar. Ao CNPq que possibilitou parte desta pesquisa.

REFERÊNCIAS

- ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas (1997) ABNT NBR 13818: *Placas cerâmicas para revestimento* - Especificação e métodos de ensaios. 78p.
- ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas (2015a) ABNT NBR 15845-1: *Rochas para revestimento - P 1: Análise petrográfica*. 4 p.
- ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas (2015b) ABNT NBR 15845-2: *Rochas para revestimento - P 2: Determinação da densidade aparente, da porosidade aparente e da absorção de água*. 4 p.
- ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas (2015c) ABNT NBR 15845-5: *Rochas para revestimento - P 5: Determinação da resistência à compressão uniaxial*. 4 p.
- ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2015d) ABNT NBR 15845-6: *Rochas para revestimento - P 6: Determinação do módulo de ruptura (flexão por carregamento em três pontos)*. 5 p.
- ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2015e) ABNT NBR 15845-7: *Rochas para revestimento - P 7: Determinação da resistência à flexão por carregamento em quatro pontos*. 5 p.
- ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2015f) ABNT NBR 15845-8: *Rochas para revestimento - P 8: Determinação da resistência ao impacto de corpo duro*. 4 p.
- BECERRA, J. E. B.; COSTA, A. G. (2007) Ensaios de alteração acelerada para avaliação da durabilidade de seis granitos ornamentais brasileiros. *Revista Geonomos*, v. 15/2, p. 33-42.
- CHIODI FILHO, C.; RODRIGUES, E. DE P. (2009) *Guia de aplicação de rochas em revestimentos*. Projeto Bula. São Paulo: ABIROCHAS, 118 p.: il.
- FERNANDES, T. M. G. (2002) *Caracterização petrográfica, química e tecnológica dos quartzitos do centro produtor de São Thomé das Letras no sudoeste do estado de Minas Gerais*. Tese (Doutorado) em Geociências (Geologia Regional), UNESP, Rio Claro, 141p.
- FRASCÁ M. H. B. DE O. (2011) *Tipos de rochas ornamentais e características tecnológicas*. In: Tecnologia de rochas ornamentais: pesquisa, lavra e beneficiamento. Vidal, F.V.; Azevedo, H.C.A.; Castro, N. F. Rio de Janeiro: CETEM/MCTI. p 43 – 97
- FRASCÁ, M. H. B. DE O.; FRAZÃO, E. B.; QUITETE, E. B. (1999) Alterabilidade de rochas ornamentais: Metodologia para previsão da durabilidade pela exposição a produtos de limpeza. *Anais: V Congreso Iberoamericano de patología de las construcciones, VII Congreso de control de calidad*. Montevideo. Uruguai. Asiconpat/CIB: Montevideu. v. 3, p. 1831-1836.
- FRASCÁ, M. H. B. DE O.; YAMAMOTO, J. K. (2003) Ensaios de alteração acelerada em rochas para revestimento - Estudos experimentais em rochas graníticas. *Anais: IV Simpósio de Rochas Ornamentais do Nordeste*. Fortaleza. Rio de Janeiro: CETEM/SBG, 2003. p.165-172. Disponível em: http://mineralis.cetem.gov.br/bitstream/cetem/1476/1/21-IV_simposio_de_rochas_ornamentais_do_nordeste.pdf. Acesso em fev. 2017.
- FRAZÃO, E. B. (2002) *Tecnologia de Rochas na Construção Civil*. São Paulo, ABGE, 130p.
- GIACOMELI, H.; AZZI, A. DE A.; ZANARDO, A. (2009) Tipos de silicificação reconhecidos no Nordeste da Bacia do Paraná. *Anais: XI Simpósio de geologia do sudeste, XV Simpósio de geologia de Minas Gerais*. São Pedro (SP). P.56.
- MONTANHEIRO, T. J.; ARTUR, A. C.; MONTANHEIRO, F.; NEGRI, F. A.; GESICK, A. L.; BOGGIANI, P. C. (2011) Investigação tecnológica de arenitos silicificados da Formação Botucatu para uso como rocha de revestimento. São Paulo, UNESP, *Geociências*, vol. 30, nº 2, p. 237-251.
- PARAGUASSÚ, A.B. (org.); RODRIGUES, J.E. (org.); RIBEIRO, R. P. (org.); FRAZÃO, E. B.(org.). (2014) *Indústria da Pedra: da Extração à Aplicação Final*. 1. ed. EESC - USP, São Carlos, 2014. 130p. [rec. eletrônico]. Disponível em: <http://www1.eesc.usp.br/sgs/images/industriapedra/livro.pdf>. Acesso em abril 2018.
- PORTO, A. C. (2016) Sistematização de Ensaios tecnológicos para a montagem de uma litoteca de rochas ornamentais e agregados. *Relatório de IC*, CNPq. CCET, UFSCar. São Carlos.