

CARACTERIZAÇÃO DAS PROPRIEDADES TÉRMICAS DA PEDRA RECONSTITUÍDA COM RESÍDUOS DA EXTRAÇÃO DE QUARTZITO PARA APLICAÇÃO EM REVESTIMENTO DE FACHADAS DE EDIFÍCIOS

Characterization of the thermal properties of reconstituted stone with the quartzite extraction waste for use in the coating of building facades

Clarissa de Andrade Queiroz ¹, Aluísio Braz de Melo ²

Recebido em 09 de janeiro de 2018; aceito em 18 de maio de 2018; disponível on-line em 12 de setembro de 2018.



PALAVRAS CHAVE:

Quartzito;
 Revestimento de fachadas;
 Pedra reconstituída;
 Condutividade térmica;
 Desempenho térmico.

KEYWORDS:

Quartzite;
 Façade cladding;
 Reconstituted stone;
 Thermal conductivity;
 Thermal performance.

RESUMO: O quartzito é uma rocha ornamental utilizada como revestimentos aplicados em fachadas residenciais, jardins, pavimentação de pátios, calçadas, saunas e piscinas. É uma rocha porosa, possui baixa absorção de água e é também conhecida como “pedra fria”. Quando utilizada como revestimento externo em fachadas, pode contribuir para a redução do fluxo de calor para os ambientes internos, uma vez que ao receber a radiação solar, possui baixa propagação das ondas de calor, o que é importante no contexto do clima tropical. Neste artigo, apresenta-se um estudo que tem como objetivo desenvolver um pré-moldado que compatibilize o aproveitamento do resíduo da extração de quartzito com uma aplicação também como revestimento de fachada nos edifícios e que aproveite a característica térmica do material original, de modo a criar barreira ao fluxo de calor para o interior da edificação. O método utilizado para o presente estudo foi o de pedras reconstituídas, através da pré-moldagem de pequenas peças com uso de compósito, com resíduos de pó de pedra de quartzito e resina de poliuretano vegetal obtida do óleo da mamona. Os resultados confirmaram que é possível moldar pedras reconstituídas com maior capacidade térmica, o que é interessante para revestimentos de fachada em edifícios localizados em clima tropical. A pedra proposta possui menor condutividade e transmitância térmica comparada ao quartzito. A presente pesquisa ao mesmo tempo em que apresenta uma possibilidade de redução dos impactos causados pelo despejo do resíduo de quartzito no meio ambiente natural, agrega uma contribuição positiva para o ambiente construído, uma vez que a pedra reconstituída apresenta propriedades térmicas melhoradas em relação ao quartzito in natura.

ABSTRACT: Quartzite is an ornamental applied rock as applied coatings on residential facades, gardens, pavement of patios, sidewalks, saunas and swimming pools. It is a porous rock, has low water absorption and is also known as "cold stone". When used as an external cladding on facades, it can contribute to a reduction of heat flow to the indoor environments, once it receives solar radiation, it has low heat wave propagation, which is important in the context of the tropical climate. In this paper, a study is presented that aims at a pre-molded one that compatibilizes the use of the residue of quartz extraction with an application also as facade cladding in the buildings and that takes advantage of a thermal characteristic of the original material, in order to create a barrier to the flow of heat into the building. The method used for the present study was reviewed by reconstituted stones through the preforming of small pieces with use of composite, with residues of quartz stone powder and polyurethane resin obtained from castor bean plant. The results confirm that it is possible to cast reconstituted stones with higher thermal capacity, which is interesting for facade coatings in buildings located in tropical climate. The proposed stone has lower productivity and thermal transmission compared to quartzite. The present research, while presenting a possibility of reducing the impacts caused by the dumping of the quartzite residue in the natural environment, adds a positive contribution to the built environment, since the reconstituted stone presents improved thermal properties in relation to the quartzite stone.

* Contato com os autores:

¹ e-mail: clarissaqueiroz@gmail.com (C.A. Queiroz)

Design Industrial; Mestre em Arquitetura e Urbanismo (PPGAU) pela Universidade Federal da Paraíba.

² e-mail: aluisiobmelo@hotmail.com (A. B. Melo)

Arquiteto; Doutor em Ciência e Engenharia dos Materiais pela IFSC/ IQSC/EESC-USP. Professor Associado do Departamento de Arquitetura e Urbanismo, do PPGAU e do PPGECAM da UFPB.

ISSN: 2179-0612 DOI: 10.5216/reec.V15i1.51039

© 2018-2019 REEC - Todos os direitos reservados.

1. INTRODUÇÃO

A produção do ambiente construído é responsável por grandes impactos no meio ambiente, sobretudo por ser uma atividade consumidora voraz de matérias-primas. Além disso, no processo de construção dos edifícios geram-se volumes importantes de resíduos sólidos (resíduos da construção civil), geralmente descartados de maneira clandestina nos espaços urbanos. Por outro lado, para cada material aplicado nas edificações, cuja origem é a partir da exploração e do processamento de matérias-primas extraídas da natureza, devem ser destacadas suas propriedades que podem contribuir na qualidade do ambiente construído. Por exemplo, o quartzito que é uma rocha ornamental utilizada para produzir revestimentos aplicados em fachadas residenciais, pavimentação de pátios, calçadas, saunas e piscinas, tem características interessantes para melhorar a qualidade do ambiente construído. Por ser uma rocha porosa, que possui baixa absorção de água e ser atérmica, também é conhecida como “pedra fria”. Devido a estas propriedades, o quartzito quando utilizado como revestimento de fachadas, pode contribuir para reduzir os fluxos de calor para os ambientes internos, uma vez que ao receber a radiação solar, possui baixa propagação das ondas de calor, o que é um aspecto importante para um edifício localizado em clima tropical.

No caso de regiões com clima quente, as transferências de calor entre os meios, externo e interno, de uma construção, é algo importante a considerar na especificação dos materiais. Segundo Frota e Schiffer (2001), em relação ao comportamento térmico do edifício neste contexto é relevante garantir o amortecimento e o atraso da onda de calor, devidos ao aquecimento ou ao resfriamento dos materiais aplicados na envoltória da construção. Portanto, essa estratégia depende diretamente das características térmicas

da envolvente e dos componentes construtivos internos. Logo, as escolhas dos materiais e dos sistemas construtivos são algumas medidas que, quando inseridas no contexto global de um projeto arquitetônico, podem contribuir para boas condições de climatização e redução de consumo energético com condicionamento artificial nas edificações.

Além do conforto térmico que pode ser agregado à edificação com a utilização do quartzito como revestimento, existe também uma questão ambiental relacionada ao impacto da extração da rocha. Sua extração gera uma grande quantidade de resíduos que têm potencial para serem aproveitados na confecção de novos componentes construtivos. Neste processo, se for preservada a característica térmica do material original e os novos componentes bem aplicados nas edificações, além de poder contribuir no conforto térmico, pode ser uma alternativa interessante para minimizar os prejuízos ambientais causados pela extração da rocha. O presente estudo propõe exatamente o aproveitamento desse resíduo no desenvolvimento de um pré-moldado que possa ser aplicado como revestimento externo de uma edificação.

Segundo estudo divulgado pela Fundação de Ensino Superior de Passos (FESP), da Universidade do Estado de Minas Gerais (UEMG)¹, durante a exploração do quartzito é gerado grande volume de resíduos, podendo estes ultrapassarem 90% do material extraído. De fato, na extração do quartzito, o grande volume de resíduo que é descartado a céu aberto gera degradação paisagística, interferência no processo de escoamento de águas superficiais e de subsuperfície, desmoronamentos, assoreamento de drenagens, além de problemas respiratórios na população do entorno, devido ao grande número de partículas sólidas em suspensão no ar. As áreas no entorno das jazidas onde tais resíduos

¹ “Estudo pioneiro propõe o uso de resíduos de quartzito como agregado de concreto” disponível em: <<http://www.agenciaminas.mg.gov.br/>> acessado em 10 de Outubro de 2013

são gerados sofrem bastante com as degradações do ambiente, sendo o fenômeno mais crítico nas regiões onde se concentram várias jazidas de extração do quartzito.

Diante dos dados apresentados, fica clara a preocupação que se deve ter com o descarte desses resíduos, fato que também motiva o desenvolvimento desta pesquisa. Trata-se de grandes volumes e o ideal é que se explorem possibilidades para sua reciclagem. Portanto, com a utilização dos resíduos em questão para produzir revestimentos para fachadas dos edifícios, por um lado, pode-se agregar valor ao conforto térmico do edifício, aproveitando-se da propriedade térmica do material, desde que se confirme a redução do fluxo de calor através do sistema de vedação vertical com a pedra reconstituída aplicada e, por outro, espera-se que tal processo possa contribuir na redução dos impactos ambientais, ao se vislumbrar uma possível destinação final para os resíduos.

2. OBJETIVO

O presente artigo apresenta o estudo que tem como objetivo desenvolver um pré-moldado que compatibilize o aproveitamento do resíduo da extração de quartzito com uma aplicação como revestimento de fachada nos edifícios, de modo que se aproveite a característica atérmica dos resíduos do material original e se reproduza em efeito de barreira ao fluxo de calor para o interior da edificação. Dessa forma, visa dupla contribuição aos meios ambientes, natural e construído, seja com a redução dos impactos negativos destes resíduos na natureza, seja com a melhoria da qualidade do ambiente construído, respectivamente.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA E CONTEXTUALIZAÇÃO

3.1 Características do quartzito e impactos ambientais na sua extração

O quartzito é uma rocha ornamental de

revestimento, composta quase inteiramente por quartzo, somado a muscovita, biotita e feldspato, dentre outros minerais encontrados em menor quantidade. A interpenetração dos grãos de quartzo confere à rocha altos níveis de tenacidade, resistência a abrasivos e dureza ao corte.

Os quartzitos são rochas metamórficas, granoblásticas a granolepidoblásticas, granulação fina a média, com alto grau de recristalização, estruturalmente maciços a laminados, compostos basicamente de quartzo, com percentuais, em geral, variáveis de 70% a 95% na composição modal. A mineralogia acessória pode incluir micas (muscovita), magnetita, granada, pirolusita, feldspatos, dumortierita e cianita, entre outros. É da presença ou ausência de alguns destes minerais, notadamente dumortierita, cianita e opacos (alterados), que resulta sua variada tonalidade de cor. (MENEZES e LARIZZATTI, 2005, p.14).

A variação da tonalidade do quartzito depende da sua composição. Os esverdeados apresentam essa cor devido à presença de epidoto, os azulados devido à cianita, purpúreos devido à hematita ou clorita, pretos devido à magnetita ou biotita.

São pedras de formação pré-cambriana de idade proteozóica superior, correlacionadas à formação Equador do grupo Seridó. Tais pedras apresentam-se com coloração variada, textura granoblástica, granulação fina a média e foliação bem desenvolvida (SOUZA et al., 2001). Em algumas regiões, os quartzitos são compostos por quartzo com micas de 75% de sílica (SiO₂). Geralmente são encontrados em forma de placas de rocha porosa, alva e brilhante, antiderrapante, com baixa absorção de água e atérmica, ou seja, não permite a propagação de ondas de calor, por esse motivo, é também conhecida como “pedra fria” (SOUZA, 1999).

Desde os anos de 1970 que a procura pelo quartzito é crescente no ramo da construção civil,

devido o aumento da demanda e, conseqüentemente, a extração que é feita de forma intensa e sem um acompanhamento tem gerado grandes impactos no entorno das jazidas. Nas pedreiras a lavra é feita de forma predatória e inapropriadamente, sem os levantamentos técnico-econômicos necessários, desencadeando uma série de problemas sociais e ambientais que comprometem o desenvolvimento da região (SOUZA et al., 2001).

Sabe-se que na maioria das pedreiras de quartzito nos municípios de Junco do Seridó, Várzea e São Mamede (interior da Paraíba), por exemplo, a lavra é feita manualmente e a céu aberto. No sistema manual, é feita uma extração direta de grandes blocos de pedra, ocasionalmente feita com o uso de explosivos. Essas pedreiras estão localizadas comumente na zona rural, onde o entorno é composto de vegetação da caatinga, com baixo índice pluviométrico e potencial hídrico. Devido a esse baixo potencial hídrico, no entorno das pedreiras, normalmente os impactos ambientais sofridos pela água são reduzidos. Nos escassos períodos de chuva, o impacto hídrico é observável na interferência no processo de escoamento de águas superficiais e de subsuperfície e no assoreamento de drenagens.

Os maiores impactos são vistos no solo, refletidos na degradação paisagística, mediante a remoção da vegetação e à disposição inadequada de grandes volumes de rejeito, que também correm o risco de desmoronamento. Devido à remoção da vegetação observa-se um deslocamento da macrofauna nas áreas mineradas e uma eliminação parcial da microfauna local (SOUZA et al., 2001).

Os impactos do lavramento do quartzito também são sentidos no ar. Devido ao grande número de partículas sólidas contendo sílica cristalina em suspensão, tanto os trabalhadores quanto a população do entorno das mineradoras e dos depósitos a céu aberto podem sofrer com doenças das vias aéreas, doenças crônicas do sistema respiratório, silicose e até o câncer

ocupacional. A silicose é uma doença pulmonar incurável, desencadeada pela inalação de poeiras contendo sílica cristalina, que se caracteriza pelo desenvolvimento de uma fibrose na região do tecido pulmonar (Revista Brasileira de Saúde Ocupacional, 2011).

3.2 PROPRIEDADES TÉRMICAS DAS PAREDES EXTERNAS DE EDIFÍCIOS

Segundo Frota e Schiffer (2001), o Sol representa importante fonte de calor e ao incidir seus raios sobre uma edificação, sempre haverá certo ganho de calor, que variará de acordo com a intensidade da radiação incidente e das características térmicas dos parâmetros do edifício. Segundo Van Deventer (1971) o desempenho térmico de uma edificação varia de acordo com a transferência de calor através dos diferentes componentes da estrutura e do fluxo de ar por ventilação e/ou infiltração. Sabe-se que a troca de calor através da estrutura depende das propriedades térmicas dos seus componentes, tais como resistência térmica, capacidade térmica, condutividade térmica, absorvidade, refletividade e calor específico, e pelas variáveis climáticas aos quais estão expostos, principalmente radiação solar, temperatura do ar, vento e umidade relativa de ar. No que diz respeito à ventilação, os fatores determinantes são a orientação, tamanho e posição das aberturas, temperatura do ar e regime de ventos.

Ao tratar de novos componentes construtivos, que se propõe para aplicação em fachadas de edifícios, a absorvância e a refletividade inerentes aos materiais são propriedades importantes a considerar para a definição dos compósitos, que se pretenda adotar no processo de aproveitamento dos resíduos de quartzito. Isto porque, quando os componentes são expostos à radiação solar o principal determinante da quantidade de calor absorvida é sua cor superficial.

Então, na medida do possível, deve-se preferir um material, ou melhor, uma composição

entre eles (resíduo e aglomerante), que resulte em cor mais clara, que absorve menos calor, se o objetivo for reduzir as temperaturas nos ambientes internos da edificação. Deve-se também se aproveitar da característica das cores claras, que têm alta refletividade e possibilidade de diminuir a transmissão de calor.

Outra propriedade que interessa na caracterização do novo componente construtivo, proposto para compor externamente a envoltória (fachada) do edifício, se refere à capacidade de retenção de calor do compósito (resíduo + aglomerante) utilizado na sua moldagem. Sabe-se que através da obtenção do valor da capacidade térmica da envoltória, que se relaciona diretamente com o calor específico dos materiais, pode-se avaliar o quanto estes materiais podem influenciar no amortecimento da onda de calor para o interior da edificação. Então, é interessante que o material apresente grande capacidade térmica, uma vez que ele precisará de maiores quantidades de calor para aumentar sua temperatura.

Considerando que a capacidade térmica (CT) também pode ser definida em função do volume ou da área (CT volumétrica - $\text{kJ/m}^3\cdot\text{K}$; CT área - $\text{kJ/m}^2\cdot\text{K}$), depreende-se que quanto maior forem essas capacidades térmicas para os elementos verticais (paredes) e horizontais (cobertura) de uma edificação, maior será a inércia térmica do sistema, ou seja, maior o amortecimento dos picos de temperatura internos em relação aos valores correspondentes no ambiente externo (GOMES, 2015). O desejável é que a maior capacidade térmica por área dos painéis de fachada executados com os novos componentes propostos contribua no aumento da inércia térmica do sistema de vedação vertical.

Em relação à condutividade térmica, que é uma propriedade intrínseca ao material e representa a quantidade de calor que atravessa o corpo do componente, no caso das edificações localizadas em regiões com baixa latitude, como é o caso do Norte/Nordeste do Brasil, o ideal é que se utilizem nas construções materiais com baixa

condutividade térmica. Logo, para o novo componente proposto, que se pretende conservar a característica do material original (quartzito), é importante que o compósito (resíduos de quartzito + aglomerante), utilizado na moldagem da pedra reconstituída para revestimento de parede externa, seja caracterizado como isolante térmico. Desta forma, é importante garantir baixa condutividade térmica para o revestimento proposto, tendo em vista que ao aplicá-lo na fachada da edificação, o calor produzido pela irradiação solar direta sobre o material, certamente, não será facilmente transportado para as outras camadas internas da parede, contribuindo para a inércia térmica do sistema de vedação.

3.3 PREMISSAS PARA ESTUDO COM PEDRAS RECONSTITUÍDAS

Na produção das pedras reconstituídas, que normalmente representa a composição entre resíduos de uma dada pedra natural com resina, o tamanho das partículas dos resíduos que constituem a matéria-prima não é importante, uma vez que os resíduos são moídos antes de serem misturados com a resina. Esse aspecto é relevante ao lidar com rejeitos industriais, que ocorrem em diferentes formatos e tamanhos. De fato, alguns tipos de pedras reconstituídas já são comercializados para uso na construção civil, tais como, Silestone (pedra reconstituída com quartzo), o Marmoglass (pedra reconstituída com resíduos do corte de mármore) etc.

A presença da resina é também usual em pedras ornamentais encontradas nas cidades históricas, com a função de recuperação de acervos, que submetidos ao intemperismo e a outros tipos de ambientes agressivos, sofrem a degradação. O emprego de resinas em restaurações de monumentos rochosos tem sido efetuado de maneira empírica, cujas práticas são utilizar as resinas misturadas com pó de rocha para enchimento de descontinuidades e colagem de peças deterioradas.

Com base nas referências apresentadas a

opção de elaborar compósito com resíduos da extração da pedra natural de quartzito, utilizando algum tipo de resina como aglomerante, parece ser a mais adequada. Certamente, entre as opções de aglomerantes que menos interfira na cor do novo componente aqui proposto parece ser mais indicado escolher alguma resina, que compatibilize a coloração adequada do produto final com as propriedades e requisitos relacionados à resistência mecânica, à durabilidade e à condutividade térmica.

4. METODOLOGIA

4.1 BENEFICIAMENTO DOS RESÍDUOS DA EXTRAÇÃO DE QUARTZITO

A princípio, como critério de escolha dos resíduos sólidos da extração das pedras naturais de quartzito a serem utilizados na reconstituição de pedras para revestimento no presente estudo foi importante considerar a cor da rocha original. Então, a preferência foi para a cor mais clara, devido a menor absorvidade de calor proporcionada pelas superfícies dos revestimentos de cores claras. A opção foi utilizar os resíduos de quartzito branco, proveniente de uma cidade do interior do nordeste do Brasil.

O resíduo de quartzito foi triturado em laboratório, de modo a produzir um pó de pedra, de cujo material resultante, a maior parte (38 %) ficou retido na peneira com malha de abertura igual 0,15 mm e, a outra grande parcela do material (59 %) passou pela mesma peneira, conforme ensaio granulométrico baseado na NBR 7211 (ABNT, 2009). Esse pó de pedra foi utilizado para definir o compósito com resina e moldar o componente proposto como placa reconstituída para revestimento, com as dimensões 20 cm x 20 cm x 1,8 cm (largura x comprimento x espessura), cuja coloração não é muito diferente da pedra de quartzito natural (Figura 1). A resina escolhida foi do tipo poliuretano vegetal obtida do óleo da mamona (resina de rícino), que após o processo de enrijecimento, não possui capacidade para uma nova fusão. Ela é estável e altamente resistente

à corrosão, abrasão, intempéries e substâncias agressivas (ácidos, álcalis e solventes). Ela é formulada e polimerizada a frio e não perde massa após a cura. Essa resina é obtida através de recursos naturais e renováveis, o óleo de mamona. Não agride o meio ambiente e é completamente isenta de metais pesados, solventes ou voláteis.

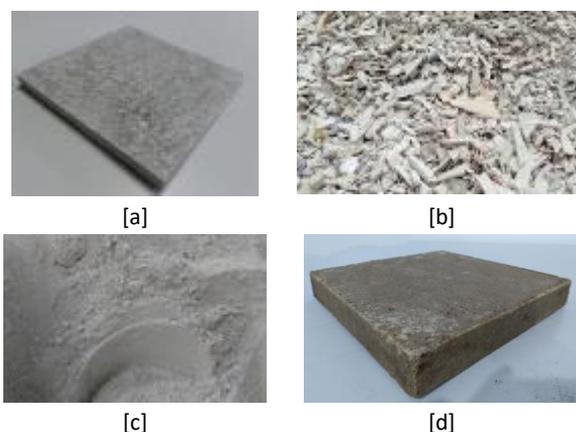


FIGURA 1: Colorações da placa de quartzito natural, do resíduo gerado durante a sua extração e da placa reconstituída com resina de rícino e resíduos da extração de quartzito: [a] pedra de quartzito natural; [b] resíduo da extração de quartzito; [c] resíduo depois de triturado (pó de pedra de quartzito); [d] pedra reconstituída com resina de rícino e resíduos em pó de quartzito.
FONTE: autoria própria.

4.2 CARACTERIZAÇÃO DAS PLACAS RECONSTITUÍDAS

No presente artigo, apresentam-se algumas caracterizações físicas e mecânicas do compósito definido para moldar as placas de revestimento, mas o principal enfoque é em relação às propriedades térmicas do material resultante.

Após vários testes visando a elaboração do compósito foi escolhida a proporção de 12 % da resina de rícino para 88 % de pó de resíduos da extração de quartzito. O tempo de cura padrão para todas as amostras foi definido com 24 horas. Os ensaios para determinação da densidade aparente, porosidade aparente e absorção de água das amostras com o compósito (resíduos de quartzito + resina de rícino) foram realizados, conforme as indicações da NBR 15845-2 (ABNT, 2015a). O ensaio para determinação do coeficiente de dilatação térmica linear foi

realizado, conforme indicações da NBR 15845-3 (ABNT, 2015b).

Para medição da resistência térmica e da condutividade térmica da amostra do compósito adotou-se o método fluxométrico em regime estacionário, de acordo com a NBR 15220-5 (ABNT, 2005a). Para determinar a condutividade térmica da pedra de quartzito in natura e do compósito proposto na moldagem das placas reconstituídas foi utilizado um Conduvímeter K30. Neste ensaio, se utilizam amostras planares, uma vez que se tem por base a medição do fluxo de calor e a diferença de temperatura entre as faces da amostra, submetidas ao gradiente térmico, definido no equipamento. As amostras das placas ensaiadas têm as seguintes dimensões: 20 cm x 20 cm (largura x comprimento); sendo as espessuras iguais a 2,8 cm para as placas reconstituídas e 1,8 cm para a pedra de quartzito natural. Cabe destacar que as placas comercializadas de quartzito natural podem ter variadas dimensões (largura e comprimento), inclusive com espessuras variando entre 1,0 cm e 2,0 cm.

4.3 COMPORTAMENTO TÉRMICO DA PEDRA RECONSTITUÍDA COMO REVESTIMENTO

Nessa etapa de ensaios, foi realizada uma comparação entre os comportamentos térmicos da pedra de quartzito natural e da pedra reconstituída proposta. Os dois materiais foram simulados como revestimentos assentados sobre uma das faces de pequenas paredes convencionais, com as seguintes dimensões: 1,00 m x 1,00 m x 0,11 m (largura x comprimento x espessura). Na comparação entre os comportamentos térmicos das pequenas paredes a expectativa é que as duas paredes com os revestimentos diferentes aplicados (pedra reconstituída x pedra de quartzito in natura) tenham semelhança nos resultados, o que serve como indicador de potencial positivo para o processo proposto de reconstituição da pedra.

As duas pequenas paredes (Figura 2) foram executadas com tijolos cerâmicos (8 furos), assentados com argamassa no traço 1:2:10

(cimento: cal: areia), e após um dia de espera foram chapiscadas, utilizando-se o traço 1:3 (cimento: areia). As pequenas paredes receberam emboço, 3 dias depois que foram chapiscadas, sendo feito em massa única, com traço 1:3:8 (cimento: cal: areia). Após 7 dias do emboço, em cada pequena parede foram assentadas (apenas em uma das superfícies) as diferentes placas de revestimento (pedras reconstituídas e pedras de quartzito natural) com uso da argamassa ACIII, sendo esperado o tempo de cura de 28 dias, antes de serem ensaiadas na câmara térmica. As dimensões das pedras de revestimento foram as correspondentes utilizadas no ensaio de condutividade térmica, considerando as variações de espessuras das pedras de quartzito natural.



[a]



[b]



[c]



[d]

FIGURA 2: Preparação da pequena parede para ensaios em câmara térmica. [a] parede emboçada ainda sem pedras de revestimento assentadas; [b] processo de assentamento das pedras de revestimento; [c] parede com uma face revestida com as pedras de quartzito; [d] parede com uma face revestida com as pedras reconstituídas.

FONTE: Autoria própria.

4.4 ENSAIO EM CÂMARA TÉRMICA

A câmara térmica é uma construção isolada com cerca de 6,8 m², a qual é dividida em

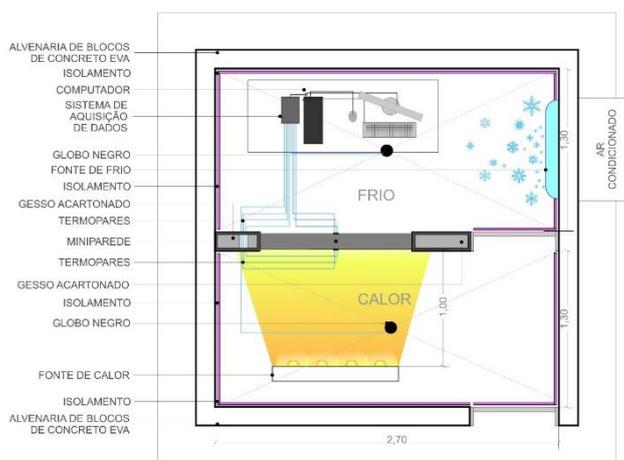
dois ambientes, um aquecido (cerca de 3,4 m²) e outro refrigerado (cerca de 3,4 m²), com a divisória de isolamento entre eles composta por parede em gesso acartonado (dry-wall), com manta de fibra de vidro em seu interior. O forro também é em gesso e na divisória entre os ambientes existe um espaço de encaixe onde é inserida a amostra da pequena parede a ser avaliada. Uma das suas faces da pequena parede fica exposta diretamente à fonte de calor composta por 12 lâmpadas incandescentes, totalizando 1.350 Watts de potência. E a outra face fica voltada para um ambiente refrigerado (ar condicionado de 12.000 BTUs).

Todas as faces internas das paredes da câmara térmica são revestidas com isopor de 2cm de espessura, para evitar que haja perda de calor para o meio externo no período noturno, quando a temperatura do ar externamente é mais baixa, mas não inferior a 20°C. A porta interna que divide os ambientes aquecido e refrigerado, também é revestida com isopor para evitar a troca de calor entre os ambientes, assim como a porta que permite o acesso do meio exterior para a câmara também possui sua face interna revestida. Durante os ensaios, a fonte de calor é posicionada a uma distância de 1 metro da pequena parede objeto de avaliação (Figura 3).

A instrumentação para medir a temperatura do ar da câmara térmica foi feita com a instalação de um termômetro de globo negro,

fabricado de forma artesanal com o uso de um termopar posicionado no centro de uma bola de pingue-pongue, pintada externamente na cor preta, sendo o termopar conectado ao sistema de aquisição de dados (modelo MX840A). De acordo com Moraes et al. (2006), os termômetros de globo negro feitos a partir de uma bola de pingue-pongue podem ser utilizados em substituição ao globo negro padrão, uma vez que resultam em resultados confiáveis e são de baixo custo. Os testes feitos por Gomes (2015) corroboram a validade da utilização dos referidos termômetros de globo negro. Com respeito ao posicionamento dos termômetros de globo negro, eles ficaram 1,5 m do piso, em posição correspondente ao centro geométrico de cada um dos ambientes (aquecido e refrigerado) da câmara térmica. Os registros de temperaturas foram a cada 1 segundo, no período de 24 horas, e depois foi realizada a média a cada hora.

Após a pequena parede ser colocada no espaço vazio da divisória entre os ambientes na câmara térmica, foram realizados complementos entre o gesso acartonado e a pequena parede com placas de isopor, sendo as juntas entre materiais diferentes fechadas com massa PVA (Figura 3, lado direito). A face da pequena parede que teve as placas de revestimento assentadas (placas de quartzito ou placas reconstituídas) sempre ficou voltada para o ambiente aquecido. A face voltada para o ambiente refrigerado recebeu pintura na



[a]



[b]

FIGURA 3: [a] representação em planta baixa dos ambientes; [b] disposição da pequena parede e instrumentação para medição das temperaturas durante o ensaio em câmara térmica (lado direito).

FONTE: Autoria própria.

cor branca, diretamente sobre o emboço, previamente executado. Em cada face da pequena parede foram colocados três termopares, de forma que ficassem posicionados no eixo central vertical da parede, equidistantes um do outro e correspondentes entre faces. Sobre cada termopar foram fixadas placas de isopor de modo privilegiar as medições a partir do contato do termopar apenas na face de contato com a pequena parede revestida. Após a instalação da pequena parede e da instrumentação com os termopares, deu-se o período de descanso de 24 horas, como procedimento padrão para esperar a secarem da massa PVA utilizada nas juntas e da pintura numa das faces da amostra, ou seja, esperou-se um período para a pequena parede estabilizar no local no ensaio, mantendo-se as portas (interna e externa) fechadas.

Para o início do ensaio, tanto a fonte de calor quanto o ar condicionado foram ligados ao mesmo tempo e mantidos em funcionamento durante 24 horas, com a porta entre os dois ambientes internos sempre fechada. O mesmo sistema de aquisição de dados (modelo MX840A) foi programado de maneira a registrar a cada segundo também os valores das temperaturas superficiais de cada face da pequena parede em teste. Posteriormente, dados foram sistematizados de modo a obter também a média aritmética por hora.

Os resultados são apresentados por meio de gráficos, mostrando a variação das temperaturas em função da duração do ensaio (24 horas). Nesse caso, foram consideradas inicialmente as temperaturas medidas nos três termopares para fazer as médias finais por hora para cada face das pequenas paredes. Com essas médias foram determinadas as variações médias de temperatura entre as faces exposta e oposta ao calor de cada amostra. A temperatura média global para cada face das amostras ensaiadas foi calculada sem considerar, os dados registrados nas 14 horas iniciais. Isso foi adotado em acordo com o estudo de Gomes (2015), levando em conta que este foi período em que as temperaturas nos

termopares ainda variavam muito, aumentando e diminuindo, segundo as faces das amostras.

4.5 CÁLCULOS DAS PROPRIEDADES TÉRMICAS DO SISTEMA DE VEDAÇÃO COM PEDRAS RECONSTITUÍDAS

Para finalizar a análise do comportamento térmico das pequenas paredes ensaiadas na câmara térmica foram realizados cálculos das principais propriedades térmicas (resistência térmica, transmitância térmica, capacidade térmica, atraso térmico e fator solar), que permitem caracterizar o desempenho térmico do sistema de vedação e as contribuições dos seus componentes, conforme previsto na NBR 15220-2 (ABNT, 2005b). Para fazer esses cálculos foi necessário utilizar dados característicos dos componentes presentes em cada tipo de sistema de vedação a comparar, tais como, a condutividade térmica, a densidade e o calor específico dos materiais. Em relação aos valores de absorvância (α), que têm influência direta devido à cor dos materiais, foi adotado o valor de 0,20%, considerando a cor branca para ambos os revestimentos.

Para alguns dados e materiais, foram aproveitados os resultados de ensaios realizados em laboratório. Por exemplo, os dados de condutividade térmica obtidos nos ensaios realizados (segundo a NBR 15220-5; ABNT, 2005a) com as placas de quartzito natural e reconstituída foram aproveitados nos cálculos. Com respeito à densidade do compósito utilizado na reconstituição da pedra também foi aproveitado o dado obtido em ensaio realizado segundo a NBR 15845-2 (ABNT, 2015a).

Contudo, para a determinação da densidade do material presente nas placas de quartzito natural teve-se que proceder de forma indireta. Inicialmente, considerou-se um dado (SOUZA et al., 2013) sobre a quantidade de sílica presente na rocha de quartzito de cor branca, cuja origem é da mesma jazida aqui utilizada. De acordo com o estudo realizado por Souza et al. (2013), a amostra de quartzito possui cerca de 70%

de sílica. Adicionalmente, considerou-se a ASTM C 616M-15 (2015) como referência, que determina algumas propriedades e parâmetros para rochas ornamentais utilizadas como revestimento, nas quais se afirma que as rochas de quartzito que apresentam um percentual de sílica maior do que 60% e menor do que 90% possuem densidade maior do que 2.000 kg/m³ e menor do que 2.400 kg/m³. Dessa forma, a partir desses valores de referência e da quantidade de sílica (70%) presente na rocha de quartzito de cor branca utilizada adotou-se nos cálculos o valor de densidade igual a 2.100 kg/m³.

Com relação ao calor específico da pedra de quartzito foram tomados como referência valores indicados na NBR 15220-2 (ABNT, 2005b). Neste caso, observou-se a coerência entre os valores indicativos para condutividade térmica (λ) e o calor específico (c) para diversos materiais, em função da sua massa de densidade aparente (ρ). A partir disso, verificou-se que a norma sugere que para pedras que possuam densidade entre 1.900 kg/m³ e 2.300 kg/m³, deve ser adotado o valor para calor específico igual a $0,84 \frac{\text{kJ}}{(\text{Kg.K})}$. Para o valor do calor específico adotado para a pedra reconstituída (resina de rícino + resíduos de pó de quartzito), inicialmente considerou-se que a resina epóxi e a resina de rícino teriam propriedades semelhantes. Então, como a NBR 15220-2 (ABNT, 2005b) não oferece valores aproximados de calor específico na categoria de polímeros, foi utilizado o valor igual a $1,8 \frac{\text{kJ}}{(\text{Kg.K})}$, obtido por Costa (2009), como calor específico para as amostras das placas reconstituídas.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 DENSIDADE, POROSIDADE E ABSORÇÃO DE ÁGUA DAS PEDRAS RECONSTITUÍDAS

A densidade do compósito preparado com os resíduos de pó de quartzito e resina de rícino para moldagem da pedra reconstituída foi igual a 1.960 kg/m³, cujo valor é um pouco menor do que aquele considerado para a pedra de

quartzito natural (2.100 kg/m³). Comparando-se a densidade das duas pedras (pedra reconstituída x pedra de quartzito natural), de fato, verifica-se coerência entre os valores, uma vez que o compósito na pedra reconstituída é o resultado da mistura de 88 % de pó de pedra dos resíduos de quartzito com 12 % de resina de rícino. Além disso, sabendo-se que os polímeros possuem densidades mais baixas, normalmente entre 900 e 1.700 kg/m³ (NBR 15220-2, ABNT, 2005b), como esperado, o compósito de pó de pedra de resíduos de quartzito com a resina de rícino teve densidade inferior a da rocha natural, mas superior a dos polímeros, uma vez que na proporção dos compósitos, a quantidade de resina é bem inferior à quantidade de resíduo da rocha triturada. Logo, o resultado para a densidade aparente das amostras comparadas confirma a lógica esperada.

Quanto à porosidade e absorção de água o compósito utilizado na moldagem das pedras reconstituídas apresentou os seguintes valores, respectivamente, 1,44 % e 0,74 %, que são valores muito baixos. Em relação à absorção de água pelas rochas naturais, sabe-se que depende da quantidade de sílica presente na sua composição química. Os quartzitos brancos da região do Seridó da Paraíba e do Rio Grande do Norte, dentre os quais aquele que foi utilizado como pó de pedra dos resíduos nos compósitos para moldagem da pedra reconstituída, a absorção de água é muito variável, entre 3 % e 8 %. Contudo, ao levar em conta que a pedra de quartzito natural tem cerca de 70 % de sílica, determinado por difração de raios-X no estudo de Souza et al. (2013), e os dados referenciais da ASTM C 616M-15 (2015) para absorção de água, que os relacionam com as concentrações de sílica nas rochas, nos quais para amostras entre 60 % e 65 % de teor de sílica, indica-se absorção de água igual a 8 %, adotou-se esse valor para efeito do presente estudo.

5.2 COEFICIENTE DE DILATAÇÃO TÉRMICA LINEAR DAS PEDRAS RECONSTITUÍDAS

Os corpos de prova com o compósito utilizado na pedra reconstituída não apresentaram

nenhum tipo de dilatação ou contração térmica ao longo do ensaio, realizado conforme a NBR 15845-3 (ABNT, 2015b). De certa forma, o resultado confirma o comportamento dos polímeros que, em geral, possuem baixo coeficiente de dilatação térmica, uma vez que são materiais muito estáveis após a cura. Logo, a presença da resina de rícino, que aglomera as partículas do pó de pedra dos resíduos de quartzito deve predominar no comportamento do compósito, influenciando no coeficiente nulo obtido para a dilatação térmica linear.

5.3 CONDUTIVIDADE TÉRMICA: PEDRA RECONSTITUÍDA X PEDRA DE QUARTZITO NATURAL

A condutividade térmica dos materiais em questão é resultado da média de três medições realizadas no condutímetro K30. É possível observar (Tabela 1) que apesar de possuírem valores aproximados, a pedra reconstituída (Resina de rícino + resíduo de pó de quartzito) apresenta valor relativamente menor, o que significa que a presença da resina no compósito melhorou o comportamento térmico, que já era uma qualidade da pedra de quartzito natural.

Ao comparar os resultados obtidos nos ensaios para as pedras, reconstituída e de quartzito natural, com os valores tabelados na NBR 15220-5 (ABNT, 2005a) para outras rochas naturais, constata-se o motivo pelo qual o quartzito é considerado uma “pedra fria”. A condutividade térmica pedra de quartzito natural é

consideravelmente muito menor comparado aos valores das outras rochas naturais.

5.4 COMPORTAMENTO TÉRMICO DA PEDRA RECONSTITUÍDA APLICADA EM PEQUENA PAREDE

Na Figura 4, é possível perceber que as temperaturas superficiais nos dois lados da pequena parede com pedra reconstituída (resina de rícino + resíduos de pó de quartzito) tendem a se estabilizarem a partir da 14ª hora, seguindo o comportamento padrão esperado para este ensaio na câmara térmica. Desta forma, os registros se mantêm com pouca variação depois que a transferência de calor entre as faces da amostra passa do regime transitório para o regime permanente. A temperatura ambiente em cada lado (aquecido e refrigerado) da câmara térmica tende a se estabilizar depois das 4 primeiras horas de ensaio, sendo próxima de 50°C e 22°C nos lados aquecido e refrigerado, respectivamente. Como a temperatura na superfície no lado aquecido da pequena parede com pedra reconstituída se estabilizou em torno dos 46°C a diferença entre as temperaturas do ambiente e da superfície da amostra em teste é cerca de 4°C. Ao fazer a mesma comparação para o lado refrigerado, verifica-se que a diferença é cerca de 10°C. Considerando apenas as 10 últimas horas de registro das temperaturas superficiais para calcular as temperaturas médias globais, para cada face da pequena parede com pedra reconstituída, a diferença entre elas é de 13,8°C.

TABELA 1: Condutividade térmica das amostras das pedras, reconstituída e de quartzito natural, comparada às outras rochas naturais.

Amostras	Condutividade térmica (λ)
	W/m.K
Pedra de quartzito natural	0,62
Pedra reconstituída (Resina de rícino + resíduo de pó de quartzito)	0,55
Outras rochas naturais (valores tabelados NBR 15220-5 (2015a))	
Granito	3,0
Mármore	2,9
Ardósia/xisto	2,2
Basalto	1,6

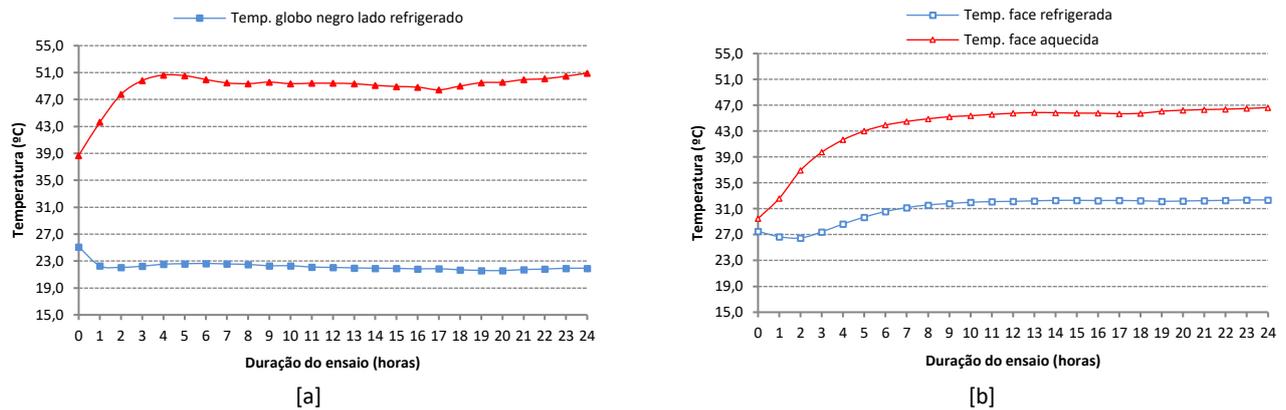


FIGURA 4: Variações das temperaturas durante o ensaio em câmara térmica com a pequena parede com pedras reconstituídas (resina de rícino + resíduos de pó de quartzito): [a] temperatura ambiente na câmara térmica no ensaio da pequena parede com pedra reconstituída; [b] temperatura superficial da pequena parede com pedra reconstituída. **FONTE:** Autoria própria.

Os resultados obtidos para o ensaio em câmara térmica com a pequena parede com revestimento em pedra de quartzito in natura (Figura 5) demonstram que o comportamento padrão é o mesmo, mas com algumas diferenças. Por exemplo, a temperatura no ambiente aquecido se estabilizou em 48°C, enquanto a temperatura da face exposta ao calor, ao atingir o regime permanente de transferência de calor entre as superfícies ficou constante em 38°C, com uma diferença entre as temperaturas do ambiente e da face revestida com pedra de quartzito de cerca de 10°C. No lado do ambiente resfriado, a temperatura do ambiente se estabilizou em

aproximadamente 19°C e a face da pequena parede exposta a esse ambiente se estabilizou em cerca de 28°C, estabelecendo uma diferença da ordem de 9°C entre a temperatura do ambiente refrigerado e da face da pequena parede com pedras de quartzito natural, ou seja, praticamente a mesma diferença observada no ensaio com a pequena parede com pedras reconstituídas aplicadas como revestimento. Com relação à diferença para as temperaturas médias globais entre as faces, aquecida e refrigerada, da pequena parede com pedras de quartzito naturais constata-se que foi da ordem de 10,2°C.

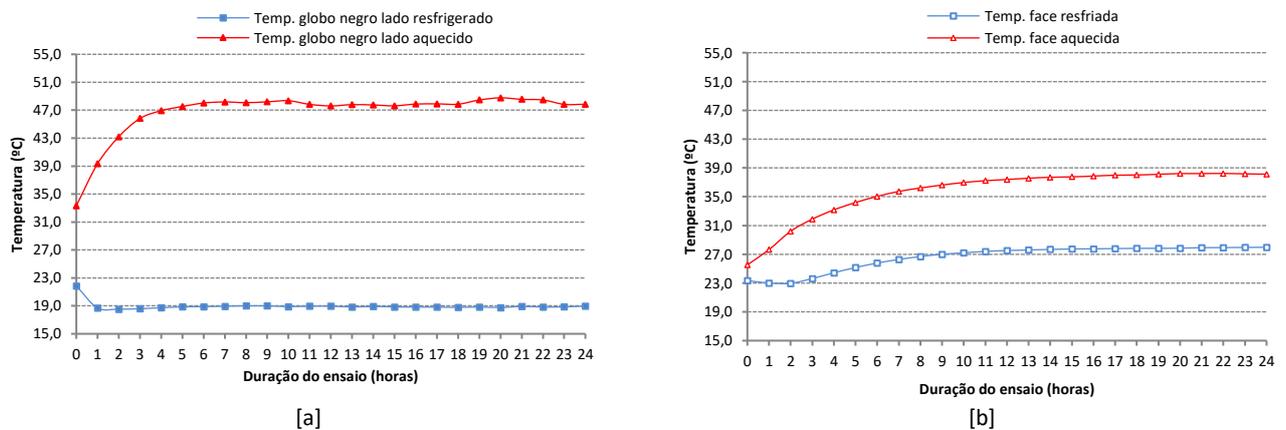


FIGURA 5: Variações das temperaturas durante o ensaio em câmara térmica com a pequena parede com pedras de quartzito natural: [a] temperatura ambiente na câmara térmica no ensaio com pequena parede com pedra de quartzito; [b] temperatura superficial da pequena parede com pedra de quartzito. **FONTE:** Autoria própria.

Embora as temperaturas iniciais de cada ensaio realizado em câmara térmica não sejam as mesmas, percebe-se claramente que a superfície da pequena parede com pedras reconstituídas, voltada para o ambiente aquecido, se aquece bastante, ao atingir o regime permanente de transferência de calor, o que resultou em menor diferença (4°C) entre as temperaturas do ambiente e da superfície. Entretanto, o revestimento composto por resina de rícino e pó de quartzito presente nesta face da parede parece reter parte desse calor, que não se transfere completamente para as outras camadas da parede. Assim, parece que o calor fica mais concentrado na superfície revestida com a pedra reconstituída (resina de rícino + pó de quartzito). É válido considerar que o tipo de resina e a cor final da pedra reconstituída (um pouco mais escura do que a pedra de quartzito *in natura*) pode também influenciar nesse maior aquecimento da superfície da amostra. Deve-se lembrar de que a superfície da pequena parede com pedra de quartzito natural voltada para o ambiente aquecido, durante o ensaio, permanece cerca de 10°C abaixo da temperatura do ambiente. Neste caso, o efeito de pedra fria se destaca, uma vez que a superfície da pedra de quartzito natural se mantém com temperatura consideravelmente inferior à temperatura do ambiente.

A análise para a temperatura média global remete ao entendimento de que quanto maior for a diferença entre os valores para as

faces expostas aos ambientes aquecido e refrigerado, maior é o efeito de retenção de calor do material aplicado na face aquecida. Assim, apesar do revestimento ser exposto à mesma fonte de calor, não conduz todo o calor para as outras camadas internas da parede. Nesse sentido, a pedra reconstituída com resina de rícino e pó de resíduo de quartzito, colocada na face voltada para o ambiente aquecido foi capaz de reter mais calor e não transferi-lo para a superfície oposta (voltada ao ambiente refrigerado). Esta pode ser uma característica desejável para os revestimentos de fachada de edifícios em contextos de clima tropical, quando ao se submeterem a forte incidência direta solar (ex.: fachada oeste), poderá conduzir menos calor e favorecer temperaturas mais amenas para o ambiente interno.

5.5 PROPRIEDADES TÉRMICAS CALCULADAS PARA O SISTEMA DE VEDAÇÃO COM PEDRAS RECONSTITUÍDAS

Na Tabela 2 são apresentados os resultados dos cálculos das propriedades térmicas (resistência térmica, capacidade térmica, transmitância térmica, atraso térmico e fator de ganho solar) referente às pedras de revestimento comparadas isoladamente (quartzito natural e reconstituída com resina de rícino e pó de resíduo de quartzito), bem como considerando cada parede com estes revestimentos aplicados em apenas uma das faces.

TABELA 2: Propriedades térmicas da pedra quartzito *in natura*, da pedra reconstituída (resina de rícino + pó de quartzito) e comportamento térmico das paredes com e sem os revestimentos em pedra aplicados em uma das faces.

	Resistência térmica de superfície a superfície (R_t) ($m^2.K$)/W		Capacidade térmica (C_t) KJ/ $m^2.K$	Transmitância Térmica (U) W/ $m^2.K$	Atraso térmico (Φ) Horas	Fator de ganho solar (FSo) %
Material de revestimento						
• Pedra quartzito natural; $e = 1,5$ cm	0,019		26,46	5,15	3,00	4,12
• Pedra reconstituída (resina de rícino e pó de quartzito); $e = 1,8$ cm	0,020		63,70	4,93	4,32	3,95
	Resistência térmica de superfície a superfície (R_t) ($m^2.K$)/W	Resistência total (R_t total) ($m^2.K$)/W	Capacidade térmica (C_t) KJ/ $m^2.K$	Transmitância Térmica (U) W/ $m^2.K$	Atraso térmico (Φ) Horas	Fator de ganho solar (FSo) %
Sistema de vedação (paredes)						
• Pedra reconstituída (resina de rícino e pó de quartzito) sobre emboço cimentício + tijolos cerâmicos (8 furos) + reboco cimentício; $e = 12,5$ cm	0,21	0,38	218,19	1,62	4,23	2,10
• Pedra quartzito natural sobre emboço cimentício + tijolos cerâmicos (8 furos) + reboco cimentício; $e = 12,8$ cm	0,20	0,37	180,95	2,72	3,68	2,17
• Emboço cimentício + tijolos cerâmicos (8 furos) + reboco cimentício; $e = 11$ cm	0,16	0,33	145,49	3,03	3,02	2,43

Os resultados dos cálculos feitos para a parede sem as pedras de revestimento assentadas em nenhum dos lados foram adicionados na comparação entre os sistemas de vedação. Também é importante lembrar que as pedras de revestimento foram consideradas assentadas em apenas uma das faces da parede, mantendo-se a outra com reboco cimentício como revestimento.

A análise a partir dos cálculos das propriedades térmicas está em concordância com a análise dos resultados dos ensaios realizados com as pequenas paredes na câmara térmica. Ou seja, para contextos de parede de fachada de edifícios inseridos em clima tropical, as duas análises apontam para o melhor comportamento térmico para a amostra que tem a pedra reconstituída (resina de rícino + pó de resíduos de quartzito) como revestimento, uma vez que apresentou menor transmitância térmica dentre as analisadas. Além disso, esta mesma parede resultou com maior capacidade térmica, que tem relação com a capacidade deste elemento vertical reter calor, sem transferi-lo para as outras camadas da parede. Da mesma forma, a parede revestida com pedra reconstituída proposta (resina de rícino + pó de resíduos de quartzito) como revestimento externo de fachada de edifício é a que apresenta maior atraso térmico e menor fator de ganho solar.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base nas análises feitas neste estudo, é possível concluir que a pedra reconstituída proposta com utilização de compósito que agrega pó de resíduos da extração de quartzito, com resina de poliuretano vegetal de rícino é tecnicamente viável no seu processo de moldagem e atende aos requisitos físicos mecânicos para aplicação como revestimento de fachada. Neste sentido, além da contribuição para o destino dos resíduos em questão, tem-se o uso de uma resina de origem vegetal, que pode

agregar valor eco ambiental ao processo como um todo.

O potencial de aplicação da pedra reconstituída como revestimento de fachada de edifícios e sua contribuição na retenção do calor proveniente do ambiente externo foram demonstrados, na medida em que a caracterização das propriedades térmicas confirmam o seu melhor comportamento, comparado com a pedra de quartzito natural. Esta característica também corroborada, através de ensaios em câmara térmica, permite concluir que a pedra reconstituída como revestimento aplicado em parede cumpre a função de reter o calor com aumento da temperatura superficial, mas sem transferir o calor para outras camadas internas da parede. Ou seja, incorpora o efeito barreira para o calor, mesmo sem se caracterizar como pedra fria, como é confirmado para pedra de quartzito. Neste sentido, vale destacar que a pedra reconstituída possui menor condutividade térmica comparada a pedra de quartzito.

A pedra reconstituída proposta também apresenta menor transmitância e maior capacidade térmica, que são também propriedades interessantes para efeito de aplicação em revestimento de fachada de edifícios inseridos em regiões com clima tropical, onde o interesse normalmente é reduzir as temperaturas nos ambientes internos.

O presente estudo se destaca por contribuir no avanço do conhecimento sobre o processo de reciclagem de resíduos de quartzito, demonstrando como o conforto térmico nas edificações pode ser melhorado com a utilização da pedra reconstituída proposta como revestimento de fachada. Além disso, no aspecto ambiental, se destaca por confirmar a possibilidade na redução dos impactos negativos inerentes ao processo de extração das placas de revestimento de quartzito, no qual se gera uma grande quantidade de resíduos.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-5: Desempenho Térmico das Edificações. Parte 5: Medição da resistência térmica e condutividade térmica pelo método fluxométrico.** Rio de Janeiro, 2005a.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-2: Desempenho Térmico das Edificações. Parte 2: Método de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes construtivos.** Rio de Janeiro, 2005b.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15845-2: Rochas para revestimento. Parte 2: Determinação da densidade aparente, da porosidade aparente e da absorção de água.** Rio de Janeiro, 2015a.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15845-3: Rochas para revestimento. Parte 3: Determinação do coeficiente de dilatação térmica linear.** Rio de Janeiro, 2015b.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7211: Agregados para concreto: Especificações.** Rio de Janeiro, 2009.
- ASTM C616M-15, Standard Specification for Quartz-Based Dimension Stone, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2015.
- COSTA, Rejane M. **Corpo de prova de resina epóxi com propriedades Termocromáticas para avaliação qualitativa do Feixe ultra-sônico aplicado em fisioterapia.** Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Biomédica, COPPE, da Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2009.
- Estudo pioneiro propõe o uso de resíduos de quartzito como agregado de concreto.** Disponível em <<http://www.agenciaminas.mg.gov.br/noticias/estudo-pioneiro-propoe-o-uso-de-residuosde-quartzito-como-agregado-de-concreto-2/>>. Acessado em 10 de Outubro de 2013.
- FROTA, A. B.; SCHIFFER, S. R. Manual de conforto térmico. 6. ed. São Paulo: Nobel, 2001
- GOMES, Emmily. **Desempenho térmico de alvenarias: uma alternativa com o uso de blocos eva.** Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal da Paraíba- UFPB, 2015.
- MENEZES, R. G.; LARIZZATTI, J. H. **Rochas ornamentais e de revestimento: conceitos, tipos e caracterização tecnológica.** Rio de Janeiro: UFRJ, 2005, p.14.
- MORAES. S. R. P.; OLIVEIRA. A. L. R.; SIMÃO, P. S.; RODRIGUES. J. S. **Eficiência bioclimatológica dos termômetros construídos com Luminária plástica e bola de pingue-pongue, em comparação ao Globo negro padrão - outono e primavera.** Enciclopédia Biosfera, Centro Científico Conhecer - Goiânia, Vol.7, N.12; p. 1-14. 2011.
- Revista Brasileira de Saúde Ocupacional. **Silicose em trabalhadores de quartzito da região de São Tomé das letras- Minas gerais: dados iniciais indicam um grave problema de saúde pública.** Volume 36, nº 123. Jan/Jun, 2011.
- SOUSA, et al. **Uma abordagem técnica e ambiental sobre os depósitos de quartzito no estado da Paraíba.** I Simpósio brasileiro de rochas ornamentais e II Seminário de rochas ornamentais do nordeste, Anais, realizado em Salvador, BA – 28 de novembro a 01 de dezembro de 2001.
- SOUSA, Antônio Pedro Ferreira. **Geologia Lavra e Aproveitamento Racional dos Quartzitos na Região de Várzea e Junco do Seridó – PB.** Campina Grande – PB, 1999.
- SOUZA, et al. **Caracterização química e mineralógica de resíduos de quartzitos para utilização em revestimento cerâmico.** 4º Fórum Internacional de Resíduos Sólidos. Porto Alegre, RS – 22 a 24 de Julho de 2013.
- VAN DEVENTER, E. N.; **Climatic and Other Design Data for Evaluating Heating and Cooling Requirements of Buildings.** Pretoria, National Building Research Institute, (Research Report,c 300). 1971.