



APROVEITAMENTO DE RESÍDUO INDUSTRIAL PARA A PRODUÇÃO DE REVESTIMENTO ARTIFICIAL

Rafael B. Miranda^{1*}, Elaine A. S. Carvalho¹, Vitor S. de Souza¹, Renan da Silva
Guimarães¹, Carlos Maurício Fontes Vieira¹

*1 – Laboratório de Materiais Avançados (LAMAV), Universidade Estadual do Norte Fluminense
Darcy Ribeiro (UENF). Avenida Alberto Lamego, 2000, Parque Califórnia, Campos dos Goytacazes,
CEP 28013-602, RJ.*

rafaelbittencourtmiranda@hotmail.com

RESUMO

Nestas últimas décadas, com o avanço da industrialização, a enorme quantidade de resíduos descartados pelas indústrias vem gerando discussões sobre soluções autossustentáveis, por preocupações com o meio ambiente. Uma dessas soluções é a rocha artificial, pois a utilização de resíduo pode ser uma boa alternativa para a produção deste tipo de material. Esta pesquisa tem como objetivo a criação de rocha artificial a partir dos resíduos de quartzito e fino de brita. O quartzito provém do processo de corte feito com lâmina diamantada, o fino de brita que vem das pedreiras tem comprovadamente o maior índice de desperdício do setor. Este estudo visa desenvolver e caracterizar uma rocha artificial pelo processo de vibração, compressão e vácuo. O resíduo foi dividido em três faixas granulométricas pelo método de peneiramento: Grosso e médio (finos de brita) e fino (quartzito). Os dados foram tratados através de análise estatística, utilizando a análise de variância (ANOVA). As proporções obtidas foram (50% grosso e médio), (33% grosso, médio e fino) e (67% grosso, 17% médio e 16% fino). As rochas desenvolvidas foram submetidas ao ensaio de índice físico e flexão. Os resultados obtidos classificam o material como sendo de alto potencial para ser utilizado como revestimento na área da construção civil.

***Palavras-chave:** Rocha artificial, fino de brita, quartzito.*

INTRODUÇÃO

A busca pelo delicado equilíbrio entre crescimento econômico e sustentabilidade tem sido uma das questões centrais. A ideia subjacente é que as economias devem ser capazes de manter um crescimento sustentado ao longo do tempo, mas consumindo menos recursos naturais e evitando a degradação do meio ambiente ⁽¹⁾. A tarefa mais desafiadora é usar os resíduos da indústria no lugar certo.

Entre as vantagens as rochas artificiais são, boa resistência mecânica e resistência à penetração de líquidos, permanecendo apenas na superfície. Isso é causado pela resina utilizada no processo de fabricação, que proporciona adesão entre as partículas da pedra e também penetra entre os interstícios, eliminando a porosidade das pedras naturais ⁽²⁾.

O reaproveitamento de materiais residuais permite a melhoria dos produtos já comercializados, bem como uma considerável redução de custo ⁽²⁾. Durante a explosão do quartzito nas operações de mineração, é gerada uma grande quantidade de resíduos, até 90% do total de material extraído. A razão para as altas quantidades de rejeitos, uma vez que o quartzito é utilizado, fundamentalmente, como rocha de revestimento e, portanto, deve ser extraído como uma placa, obedecendo aos padrões de espessura e comprimento ⁽³⁾. O resíduo de finos de brita, considerado rejeito do processo de obtenção da brita sendo denominado finos de pedra com granulometria (<4,8mm). Estas pedreiras produzem uma quantidade significativa de finos

principalmente no processo de britagem das rochas. Os finos de brita são acumulados em áreas restritas ao redor das centrais de britagem, por não ter uma utilização apropriada ⁽⁴⁾.

O principal objetivo desta pesquisa é a produção de uma rocha artificial a partir de resíduos de quartzito e pó de brita, com boas propriedades físicas e mecânicas atreladas a uma eficiente ligação das partículas pela resina epóxi. Sendo uma alternativa viável do ponto de vista técnico e ecológico, será possível agregar valor a algo que, embora adequado às leis ambientais vigentes, seria descartado na natureza.

MATERIAIS E MÉTODOS

O resíduo de partículas finos de granito (BRITA) foi coletado como resíduo de um processo de separação de seixos na pedreira de Itereré, Campos dos Goytacazes, Rio de Janeiro, Brasil. Após a coleta, o resíduo foi submetido à moagem em um moinho de bolas. Por meio de peneiramento a seco, o resíduo reduzido foi então separado em duas classes granulométricas: grande (2-0,71 mm) e médio (0,71-0,063 mm). O resíduo de quartzito fornecido pelo Centro de Tecnologia Mineral (CETEM), localizado na cidade de Cachoeiro, Espírito Santo, Brasil. Cujo a sua granulometria se encontra abaixo de 0,063mm e classificada como fina. A resina utilizada no presente trabalho foi a MC130, um epóxi do tipo diglicidil éter de bisfenol A (DEGEBA) fornecido pela EPOXYFIBER.

Determinação da densidade vibrada das 10 composições granulométricas.

A partir das três faixas granulométricas (grosso, médio, fino) foram propostas 10 misturas de partículas de composições diferentes, para isso utilizou-se um diagrama ternário de modelo cúbico completo (Figura 1), que foi desenvolvido na metodologia de modelagem numérico experimental rede Simplex (Simplex-Lattice Design. Para determinar a densidade das 10 misturas, para cada composição, o teste foi feito três vezes para garantir a validação estatística.

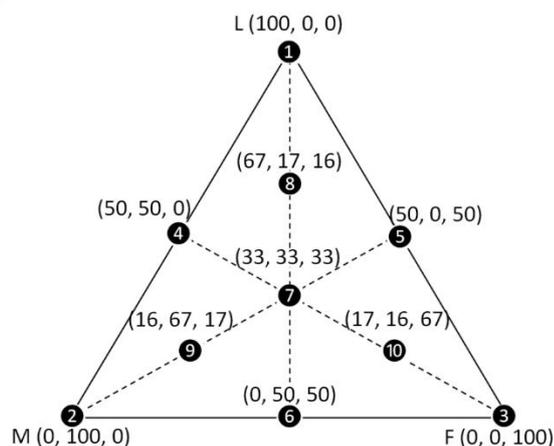


Figura 1: Diagrama ternário: partículas grandes (L), médias (M) e finas (F) (Carvalho et al, 2018).

Foi realizado o tratamento dos dados obtidos da densidade vibrada, utilizando a análise de variância (ANOVA) do delineamento inteiramente casualizado (DIC) ($p \leq 0,05$), com o intuito de verificar a existência de significância estatística entre o tratamento realizado. Uma vez comprovada a diferença estatística foi realizado o teste de comparação de médias de Tukey ($p \leq 0,05$), a fim de verificar qual traço obteve os melhores resultados. Os cálculos foram realizados utilizando a ferramenta excel do pacote office.

Produção das Placas de Rocha Artificial

Foram produzidas placas de rocha artificial, medindo 100 x 100 x 10 mm utilizando a resina epóxi DGEBA com o resíduo. O equipamento trata-se de um misturador planetário a vácuo. As partículas foram secas em estufa por 24 horas, pesadas e depositadas no interior do misturador junto a resina, a um sistema de vácuo. Terminado o tempo de mistura, o sistema é então posicionado sobre uma mesa vibratória a fim de promover o espalhamento da massa. O molde, ligado ao sistema de vácuo, foi posicionado sobre uma prensa hidráulica, marca Marcone MA 098-A, com capacidade para 15 T. Com uma força de compressão de 3MPa e mantida na prensa aquecida por 20 minutos. As placas produzidas foram então submetidas a um desbaste, utilizando lixas.

Caracterização das Placas de Rochas Artificiais

Para determinação da densidade, porosidade e absorção à água foi utilizada como base a norma ABNT NBR 15845-2:2015. Dez corpos de prova de dimensão aproximada de 30x30x10 mm foram utilizados. Já para quantificar a tensão de ruptura à flexão foi avaliado o desempenho mecânico da rocha artificial desenvolvida, testadas sob condição de flexão em um sistema de três pontos de acordo com a norma ABNT NBR 15.845-6:2015 e realizada na máquina universal de ensaios mecânicos, marca Instron, modelo 5582.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A tabela 1 apresenta os valores da densidade vibrada das 10 composições granulométricas, desenvolvida na metodologia de modelagem numérico experimental rede Simplex (Simplex-Lattice Design).

Tabela 1: Densidade vibrada dos resíduos de fino de brita (granulometria grande e média) e quartzito (granulometria fina).

Densidade Vibrada		
Misturas	Composições	Média (g/cm³)
1	100% (L); 0% (M); 0% (F)	1.01±0.1
2	0% (L); 100% (M); 0% (F)	1.68±0.02
3	0% (L); 0% (M); 100% (F)	1.47±0.01
4	50% (L); 50% (M); 0% (F)	1.43±0.07
5	50% (L); 0% (M); 50% (F)	1.70±0.04
6	0% (L); 50% (M); 50% (F)	1.53±0.01
7	33% (L); 33% (M); 33% (F)	1.73±0.01
8	67% (L); 17% (M); 16% (F)	1.69±0.03
9	16% (L); 67% (M); 17% (F)	1.40±0.04
10	17% (L); 16% (M); 67% (F)	1.62±0.03

Por se tratar de um parâmetro da média das densidades vibradas foi realizado o tratamento dos dados com análise de variância considerando um delineamento inteiramente casualizado (DIC) realizado com 95% de nível de confiança ($p \leq 0,05$), com posterior contrastes de médias pelo teste de Tukey. A Tabela 2 apresenta a ANOVA para o parâmetro densidade vibrada,

enquanto a Tabela 3 apresenta o teste de Tukey para o mesmo parâmetro, para a ANOVA foram utilizadas 3 repetições com 10 misturas.

Analisando os resultados obtidos nas Tabelas 2 e 3 é possível verificar que os tratamentos estudados apresentam diferença estatística, o que quer dizer que entre as 10 misturas, pelo menos três são diferenciadas. Um importante ponto a ser lembrado é que o coeficiente de variação para o ensaio foi de 14,5%, o que representa que os resultados obtidos são confiáveis.

Tabela 2: ANOVA para DIC da densidade vibrada de médias da densidade vibrada ($p \leq 0,05$).

FV	GL	SQ	QM	F
tratamento	9,0000	1,3698	0,1522	109,7607
Resíduo	20,0000	0,0277	0,0014	
Total	29,0000	1,3975		

Conclusão: F calculado > F tabelado, existe diferença estatística. F tabelado = 2,39

Para fazer a diferenciação utilizou-se o teste de Tukey, onde foi possível concluir que os tratamentos com maiores densidades são 5, 7 e 8. O teste de Tukey comprova estatisticamente que a adição de uma maior quantidade da granulometria fina apresenta uma das maiores densidades, devido que as partículas menores preenchem os vazios entre as maiores. Ao mesmo tempo, é muito difícil desenvolver um modelo que possa prever o comportamento de misturas que envolvam partículas não esféricas devido a elevada quantidade possível de formatos de partículas, bem como a infinidade de combinações que podem surgir através delas ⁽⁴⁾.

A tabela 4 apresenta os valores da densidade aparente, absorção de água e porosidade aparente, das rochas artificiais produzidas com o resíduo de finos de brita e quartzito com as 3 composições definidas estatisticamente (5, 7 e 8) e com 15% de resina epóxi calculado.

Tabela 3: Teste de Tukey.

Tratamento	Média	Teste de Tukey
5	1,79	A
7	1,73	AB
8	1,7	AB
2	1,68	BC
10	1,62	CD
6	1,53	DE
3	1,47	EF
4	1,44	EF
9	1,41	F
1	1,02	G

Tabela 4: Propriedades físicas da rocha artificial produzida, RABQ-5, RABQ-7 e RABQ-8.

Rocha Artificial	Densidade (g/m ³)	Absorção (%)	Porosidade (%)
RABQ-5	2,20±0,05	0,14±0,10	0,31±0,23
RABQ-7	2,32±0,03	0,06±0,02	0,14±0,05
RABQ-8	2,28±0,09	0,17±0,07	0,38±0,14

A densidade da RABQ (5,7 e 8) ficou abaixo dos valores das indústrias de rochas artificiais, que informam valores de densidade que se situam na faixa entre 2,4 a 2,5 g/cm³. A norma ABNT NBR 15844 (2015) recomenda que o valor de porosidade em rochas de revestimento seja inferior a 1%. Já Rodriguez e Chiodi Filho (2020) e Costa, et al. (2021) analisaram tecnicamente as normas para rochas e elaboraram uma proposta geral de qualificação para o seu uso como revestimentos e as classificaram como porosidade muito baixa ou de excelente qualidade, respectivamente, se for inferior a 0,5% ^(5,6). Assim, aos três tipos de composição da RABQ se adequa à norma e pode ser classificado nestas categorias propostas pelos autores.

A RABQ-7 obteve 0,06%, o menor valor de absorção de água, sendo classificado por Rodriguez e Chiodi Filho (2020) e Costa, et al. (2021) como um material de absorção de água muito baixa e com excelente qualidade, pois é menor que 0,1%. Que sugere uma aplicação coerente em ambientes de umidade elevada, como zonas externas (pisos e fachadas), cozinhas e banheiros, permitindo a fabricação de pias e lavabos ^(5,6).

Os maiores valores de porosidade e absorção do RABQ, foram as composições 5 e 8. Isto pode ser devido a uma redução na eficiência do empacotamento, com a introdução de partículas maiores que os vazios existentes, essas promoverão o surgimento de novos vazios, levando a um aumento na porosidade e redução da eficiência do empacotamento. Assim, a sequência de preenchimento dos vazios existentes entre as partículas, ou melhor, a distribuição granulométrica do sistema determina o aumento ou não da densidade de empacotamento.

As curvas de tensão-deformação que exprimem o comportamento mecânico das rochas produzidas e da resina epóxi, podem ser visualizadas na Figura 2.

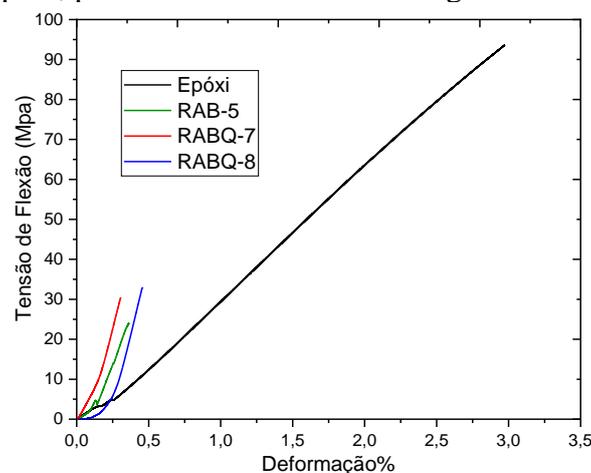


Figura 2: Comportamento Mecânico no Ensaio de Resistência à Flexão.

Inicialmente, o valor de tensão máxima do RABQ-5 de $24,4 \pm 2,5$ Mpa, RABQ-7 de $31 \pm 2,3$ Mpa e RABQ-8 de $32,5 \pm 2,7$ Mpa. De acordo com Rodrigues e Chiodi Filho (2020) e Costa, *et al.* (2021), as rochas de revestimento possuem resistência muito alta ou excelente qualidade quando o valor da tensão de ruptura é superior à 20/22Mpa, respectivamente. Já a norma NBR 15844 (2015) estipula o valor de resistência à flexão em três pontos mínimo de 10Mpa para a utilização de rochas em revestimentos. Todos as três composições obtiveram uma qualidade excelente, podendo ser indicado para ser utilizado em painéis de mármore fixados com insertes metálicos em fachadas de prédios, pois irá resistir à elevada força dos ventos ou em pisos suspensos/elevados sem substrato.

CONCLUSÕES

Este estudo investigou a técnica de desenvolver rocha artificial, bem como suas propriedades físicas e mecânicas. A partir dos resultados experimentais obtidos neste estudo, podem-se tirar as seguintes conclusões:

- Através do tratamento dos dados, apresentou diferença estatística com três composições diferenciadas, a 5 (50% (L); 0% (M); 50% (F)), 7 (33% (L); 33% (M); 33% (F)) e 8 (67% (L); 17% (M); 16% (F));
- A absorção de água foi de RABQ-5 (0,14%), RABQ-7 (0,06%) e RABQ-8 (0,17%), sendo que o RABQ-7 obteve uma excelente qualidade. Para a porosidade, os valores de 0,31%, 0,14% e 0,38% se adequa à norma e pode ser classificado nestas categorias propostas pelos autores.

- o valor de tensão máxima do RABQ-5 de 24,4±2,5 Mpa, RABQ-7 de 31±2,3 Mpa e RABQ-8 de 32,5±2,7 Mpa, se enquadram com material de revestimento de alta qualidade;
- Portanto, as três composições tiveram propriedades e tem grande potencial para ser usado como material alternativo, o que os tornam um forte concorrente às pedras naturais que são atualmente comercializadas nestes segmentos.

REFERÊNCIAS

1. SILVA, F.S.; RIBEIRO, C.E.; RODRIGUEZ, R.J.S.: Physical and mechanical characterization of artificial stone with marble calcite waste and epoxy resin. Mater. Res, v. 21, n. 1, p.1-6, 2018.
2. DEMARTINI, T.J.C.; RODRIGUEZ, R.J.S.; SILVA, F.S.: Physical and mechanical evaluation of artificial marble produced with dolomitic marble waste processed by diamond-plated bladed gangsaws. J. Mater. Res. Technol, v.7, n.3, p.308-313, 2018.
3. FRANCKLIN, I. J.; PINTO R.; SILVA, M.H.; AURELIANO, F. S.; COSTA, A.A.F.; GARCIA, V.L.G. Study of reactive powder concrete using quartzite tailings from the state of Minas Gerais – Brazil. Procedia Manuf., v.38, p.1758-1765, 2019.
4. GOMES, M.L.P.M., CARVALHO, E.A.S., DEMARTINI, T.J.C., CARVALHO, E.A., COLORADO H.A., VIEIRA C.M.F. Mechanical and physical investigation of an artificial stone produced with granite residue and epoxy resin. Journal of Composite Materials, v.9, n.55, p.1247-1254, 2020.
5. CHIODI, F.C., RODRIGUEZ, H.P. Guide application of stones in coverings, Abirochas, São Paulo, 2009.
6. COSTA, F.P., FERNANDES, J.V., MELO, L.R.L., RODRIGUES, A.M., MENEZES, R.R., NEVES G.A. The potential for natural stones from northeastern Brazil to be used in civil construction. Minerals, v. 11, n.5, 2021.

USE OF INDUSTRIAL WASTE FOR THE PRODUCTION OF ARTIFICIAL STONE

ABSTRACT

In recent decades, with the advance of industrialization, the huge amount of waste discarded by industries has generated discussions about self-sustainable solutions, due to concerns about the environment. One of these solutions is the artificial rock, as the use of waste can be a good alternative to produce this type of material. This research aims to create artificial rock from quartzite and gravel residues. The quartzite comes from the cutting process made with diamond blade, the gravel, that comes from the quarries, has proven to be the highest rate of waste in the sector. This study aims to develop and characterize an artificial rock by the process of vibration, compression, and vacuum. The residue was divided into three granulometric ranges by the sieving method: big and medium (gravel) and small (quartzite). Data were treated through statistical analysis, using analysis of variance (ANOVA). The proportions obtained were (50% big and medium), (33% big, medium, and small) and (67% big, 17% medium and 16% small). The developed rocks were submitted to the physical index and bending test. The results obtained classify the material as being of high potential to be used as a coating in civil construction.

Keywords: Gravel, quartzite, artificial stone.