



“TEN YEARS WORKING TOGETHER FOR A SUSTAINABLE FUTURE”

Rocha Artificial Produzida Com Pó De Rocha E Aglomerante Polimérico

AGUIAR, M. C. ^{a*}, SILVA. A. G. P. ^a, GADIOLI, M. C. B ^b

- a. UENF/LAMAV – Universidade Estadual do Norte Fluminense / Laboratório de Materiais Avançados. Campos dos Goytacazes-RJ.
- b. CETEM/NR-ES, Centro de Tecnologia Mineral – CETEM / Núcleo Regional do Espírito Santo. Rodovia Cachoeiro-Alegre, km 05, Morro Grande, Cachoeiro de Itapemirim-ES.

*maricostalonga2@gmail.com

Resumo

As rochas artificiais têm hoje enorme importância na construção civil, constituindo notáveis ramos desta indústria. Este material é produzido por 95% de agregados naturais, ou seja, é considerado praticamente material natural. O objetivo deste trabalho foi estudar a produção de rocha artificial para aplicação em revestimento de interiores, utilizando resíduos da indústria de mármore da região de Cachoeiro de Itapemirim-ES. Foram estudadas as propriedades físicas e mecânicas das rochas artificiais, com adição de resíduos de mármore em uma faixa específica de granulometrias em 20, 80 e 180 mesh. As rochas foram produzidas por meio da técnica de vibração a vácuo. Para as peças produzidas foram determinadas a densidade e a absorção de água. O material foi submetido a ensaios de resistência a compressão e a flexão. O mármore artificial apresentou boas propriedades, sendo sua tensão de ruptura à flexão máxima de 37,75 MPa e resistência a compressão máxima de 72,47 MPa. Os resultados indicaram que o resíduo do mármore tem grande potencial para sua utilização na produção de rocha artificial e é uma alternativa de dar um destino para esse resíduo gerado na ordem de milhões de toneladas que representa sério problema ambiental.

Palavras-chave: Rocha artificial, mármore, resina.

1. Introdução

O setor de rochas ornamentais vem crescendo a cada ano, aumentando a extração, o beneficiamento e consequentemente contribuindo para uma maior quantidade de resíduos estocados no meio ambiente. O município de Cachoeiro de Itapemirim-ES, situado no sul do Estado do Espírito Santo, possui como principal atividade econômica a extração e o beneficiamento de rochas ornamentais.

O Espírito Santo por ser o principal polo industrial de rochas ornamentais do país, possui uma geração de resíduos de rochas muito grande, podendo dizer que o Estado sofre por problemas ambientais, no que diz respeito, a geração de resíduos das indústrias de rochas ornamentais. Uma das alternativas tecnológicas para se reduzir o impacto ambiental, é o aproveitamento desse tipo de resíduo para a fabricação de materiais (Aguiar et al. 2014).

A utilização dos resíduos de rochas para o desenvolvimento de rochas sintéticas mostra vantagens na diminuição da quantidade de resíduo a ser descartado na natureza, além de agregar valor a um resíduo indesejável, e possibilita a geração de novos empregos.

As rochas artificiais têm hoje enorme importância na construção civil, constituindo notáveis ramos desta indústria. A rocha artificial é produzida por 95% de agregados naturais, ou seja, é considerado praticamente material natural. Os agregados que compõem a rocha artificial podem ser constituídos por partículas de mármore, granito triturado, areia de quartzo, sílica cristalina ou óxido de silício (SiO_2) e demais compostos, que são misturados juntamente com agentes aglutinantes, como a resina epóxi, que dependendo do agregado principal origina-se o tipo de rocha artificial (Pedra artificial, 2010).

O Brasil importa materiais artificiais de 23 países, sendo China e Espanha os dois mais importantes. Apenas da China, as compras perfazem 82,6% do volume físico total importado, sendo 10,3% devidos à Espanha (Abirochas, 2016). Esses materiais possuem alto valor comercial e apresenta propriedades mecânicas similares às da rocha natural com uma menor absorção de água (Pedra artificial, 2010).

Apesar do elevado preço, placas de rocha artificial apresentam propriedades superiores às das placas cerâmicas de primeira linha, em função de sua excelente resistência à flexão e brilho superficial (Lee et al. 2008).

Este trabalho busca estudar a viabilidade da produção de rocha artificial para revestimento de interiores pelo processo que visa obtenção de peças com bom acabamento superficial. O domínio da produção de rocha artificial pode oferecer aos países produtores de rochas ornamentais, como o Brasil, meios para a redução do volume de resíduos depositados diariamente, além da possibilidade de inclusão de novos produtos nos catálogos da indústria de rochas ornamentais naturais.

2. Materiais e Métodos

Os materiais usados neste trabalho foram: resíduo de beneficiamento de mármore e resina epóxi.

A resina utilizada foi a epóxi SQ-2001 de aspecto líquido, obtida por meio da reação de bisfenol-A com epicloridrina, de viscosidade média e o endurecedor SQ-3154-BB, ambos da Redelease. Essa resina é de grau técnico, encontrada no comércio. Foram adquiridas juntamente com seus respectivos agentes de cura e foi escolhida por apresentar excelentes propriedades tecnológicas em compósitos.

O resíduo de mármore empregado foi coletado na empresa SULCAMAR na cidade de Cachoeiro de Itapemirim (ES), do processo de serragem pela tecnologia de tear diamantado. Foi coletado na forma de granulado fino e de cacos (pedaços). Este último foi moído para compor o agregado grosso.

A rocha artificial feita com resina foi preparada com 30% em peso de resina epóxi e com 70% em peso de resíduo de mármore em diferentes granulometrias (20, 80 e 180 mesh).

A Tab. 1 apresenta como foram preparadas as rochas artificiais. Foram escolhidas três granulometrias, identificadas como: grossa, média e fina. As rochas feitas com resina foram produzidas com: 100% do mármore na granulometria de 20 mesh, 100% em 80 mesh e 100% em 180 mesh. Posteriormente, foram feitas as misturas do resíduo com essas granulometrias, sendo preparadas misturas com resíduo de 50% / 50% de cada granulometria e a mistura das três sendo 33,33/33,33/33,33% de cada.

Tab. 1. Composições estudadas para fabricação da rocha artificial

	Resíduo		
	20 mesh	80 mesh	180 mesh
Composição (% em peso)	100	0	0
	0	100	0
	0	0	100
	50	50	0
	0	50	50
	50	0	50
	33	33	33

As diferentes formulações tiveram como objetivo encontrar a granulometria apropriada para a produção da rocha artificial. Além disso, as diferentes granulometrias escolhidas, foram utilizadas com o objetivo de verificar a influência do tamanho dos grãos na adesão com o aglomerante (resina), como também nas propriedades tecnológicas da rocha artificial.

A resina epóxi foi homogeneizada com o endurecedor em um pequeno recipiente de vidro. Após este procedimento, o resíduo de mármore foi adicionado e misturado manualmente durante 5 minutos, antes de ser vazado em moldes de silicone com tamanhos adequados para a realização das análises (70 x 20 x 10 mm) para os tamanhos retangulares e (40x40) para os tamanhos cilíndricos.

Os moldes foram recobertos com uma fina camada de vaselina para facilitar a posterior extração das amostras curadas.

Após o preenchimento, uma espátula foi usada para nivelar a mistura com o topo dos moldes. Depois, os moldes foram introduzidos na caixa de acrílico. A tampa da caixa foi fechada e a caixa colocada em cima de uma plataforma vibrante. A bomba de vácuo e a vibração são ligadas, como mostrado na Fig.1.

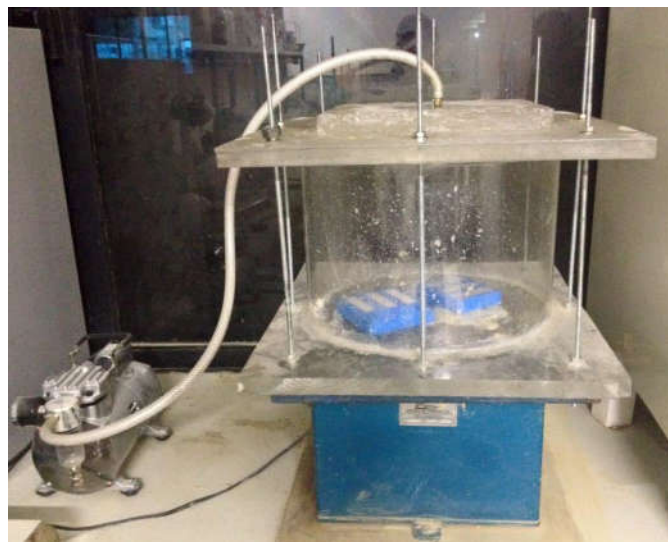


Fig. 1. Equipamento usado para confecção dos corpos de prova

A vibração ajuda a aumentar a compactação das partículas no molde e a empurrar as bolhas de ar para cima. O vácuo ajuda este movimento das bolhas e aumenta seu volume, principalmente quando chegarem à superfície, facilitando sua explosão.

As amostras permaneceram na caixa de acrílico sob vácuo até que o aglomerante atingiu uma rigidez tal que impediu o movimento das partículas e das bolhas de ar. Após essa etapa, o material já duro foi levado à estufa e permaneceu a uma temperatura de 120°C por 2h para a realização total da cura da resina contida no material.

O resíduo foi caracterizado por meio de difração de raios-X (DRX) e análise química.

O ensaio de difração de raios-X (DRX) foi realizado no Centro de Tecnologia Mineral - CETEM, pelo equipamento Bruker-AXS D5005 equipado com espelho de Goebel para feixe paralelo de raios-X, nas seguintes condições de operação: radiação Co K α e 2 θ variando de 5 a 80°. A composição química das amostras foi realizada por espectrometria de fluorescência de raios-X, utilizando equipamento Phillips modelo PW 2400 / sequencial da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ).

As propriedades tecnológicas avaliadas foram: densidade, absorção de água, tensão de ruptura à flexão (três pontos) e compressão.

A densidade das peças foi determinada pela massa dividida pelo volume. Foram realizadas medições de comprimento, largura e altura dos corpos de prova com auxílio de um paquímetro digital marca MITUTOYO, e as massas foram determinadas por meio de uma balança digital Shimadzu modelo S3000. O ensaio de absorção de água foi realizado de acordo com a norma ASTM C373-72.

Os ensaios para determinar a tensão de ruptura à flexão e a resistência à compressão das rochas artificiais produzidas foram realizados segundo a norma NBR 15845-2010, utilizando em uma máquina de ensaios universal da marca EMIC e modelo DL 10000.

Para os ensaios para determinar a resistência à flexão foram preparados corpos de prova com formato retangular de dimensões de 70 x 20 x 10 mm e para os ensaios de compressão foram usadas amostras cilíndricas com diâmetro de 40x 40mm .

3. Resultados e discussão

A Fig. 2 mostra o difratograma de raios-X e a Tab. 2 apresenta a composição química obtida por fluorescência de raios-X do resíduo de mármore. Na análise do difratograma do resíduo de mármore observa-se que os picos predominantes são os da calcita (CaCO₃) e da dolomita (MgCa(CO₃)₂). Sua composição é característica de rochas carbonáticas.

A composição química do resíduo de mármore, como esperado exibe características essencialmente típicas de rochas carbonáticas, sendo composto predominantemente de MgO e CaO, e elevado valor de perda ao fogo, fruto da decomposição térmica dos carbonatos durante a análise química. Este resíduo apresenta composição característica de um mármore dolomítico calcítico, tanto por revelar teor de 16,6% em MgO, quanto pela razão MgO/CaO em torno de 0,43 conforme classificação demonstrada na Tab. 3.

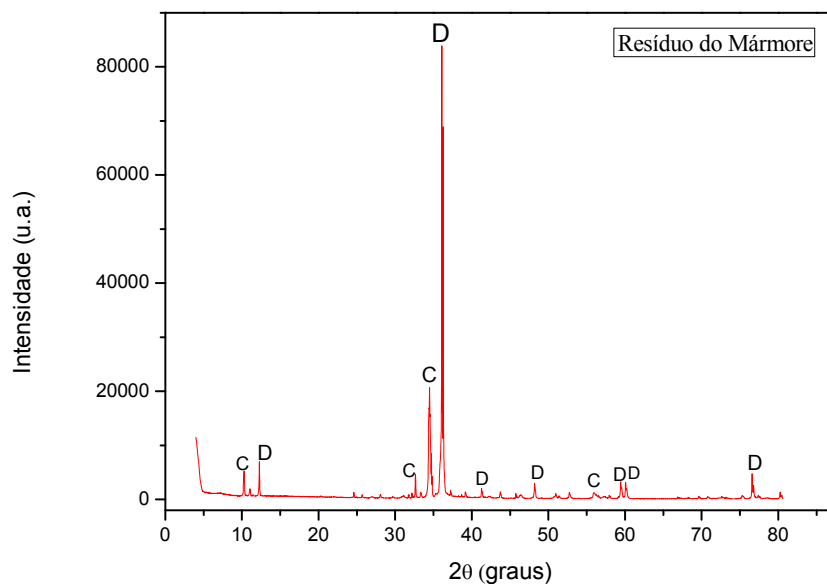


Fig. 2. Difratoograma de raios-X do resíduo de mármore.
C= Calcita (CaCO_3), D= Dolomita ($\text{MgCa}(\text{CO}_3)_2$)

Tab. 2. Composição química do resíduo de mármore

Composição	(%)
SiO_2	3,3
Al_2O_3	0,08
MgO	16,6
K_2O	0,01
Fe_2O_3	0,03
Na_2O	ND
CaO	38,1
PPC*	41,8

PPC* = Perda por calcinação

Tab. 3. Classificação das rochas carbonáticas em função dos teores cálcio e magnésio (Rêgo, 2005).

Classificação	Teores de MgO %	Razão MgO / CaO
Calcário Calcítico	0,0 - 0,1	0,00 - 0,02
Calcário Magnesiano	1,2 - 4,3	0,03 - 0,08
Calcário Dolomítico	4,4 - 10,5	0,09 - 0,25
Dolomítico Calcítico	10,6 - 19,1	0,26 - 0,56
Dolomito	$\geq 19,2$	$\geq 0,57$

O valor da densidade real das partículas variam dependendo da composição mineralógica da mesma. A densidade real das matérias-primas utilizadas na pesquisa foi de $1,05 \text{ g/cm}^3$ para a resina pura e $2,71 \text{ g/cm}^3$ para o mármore natural.

A Fig. 3 mostra o gráfico de densidade das rochas artificiais produzidas neste estudo. O resíduo influenciou positivamente na densidade da resina, mesmo ocorrendo esse aumento da rocha artificial comparada a resina pura, ainda foi inferior em relação à relatada pelos fabricantes.

Os fabricantes informam que os valores de densidade para rochas artificiais estão entre $2,4$ e $2,5 \text{ g/cm}^3$ (Alicante, 2015). A menor densidade encontrada acarreta em um material com menor peso por metro quadrado, ou seja, mais leve. Uma maior densidade deixaria o compósito com maior compactação.

De acordo com a densidade real, a densidade que essa rocha artificial com resina pode atingir é de $1,84 \text{ g/cm}^3$. Esse valor é calculado com base de 30% em peso de resina. Essa menor densidade contribui para a porosidade aberta e fechada.

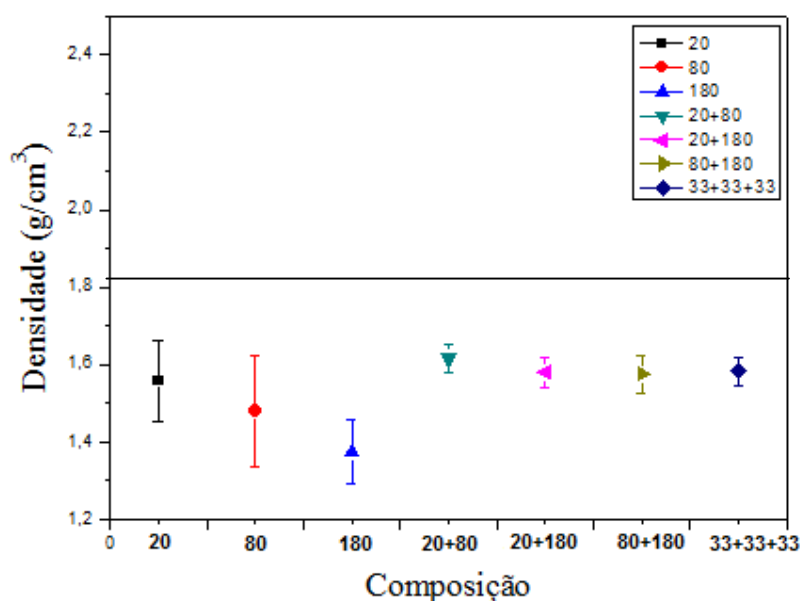


Fig. 3. Densidade das composições

A absorção é um parâmetro utilizado para medir a porosidade aberta do material. A porosidade dos materiais estudados pode ter ocorrido pela viscosidade do material que dificultou a acomodação no molde. Somente a vibração não foi suficiente para fazer o material fechar os vazios. A compressão pode contribuir no fechamento da porosidade.

A prensagem contribui para o material ficar mais compacto, menos poroso, e assim, obter uma menor absorção de água. Esta porosidade pode ser responsável pela qualidade e propriedades mecânicas do material. A elevada absorção de água é consequência da elevada porosidade, contribuindo assim, para uma menor resistência mecânica, pois esses poros podem atuar como concentradores de tensões dentro do material (Martins, 2016). Os valores informados pelos fabricantes de rocha artificial encontram-se na faixa de 0,09 a 0,40%.

A absorção de água, mostrado na Fig. 4, foi maior para as rochas menos densas, pois quanto menos denso o corpo de prova, menos empacotado está, pois, seus grãos não ficam tão próximos e tendencialmente, o corpo de prova terá mais espaços vazios. As partículas finas ajudam no aumento da resistência mecânica

A rocha artificial fabricada com a mistura das três granulometrias (33+33+33) obteve a menor absorção de água, devido ao rearranjo das partículas, fechando os espaços vazios, e diminuindo a porosidade.

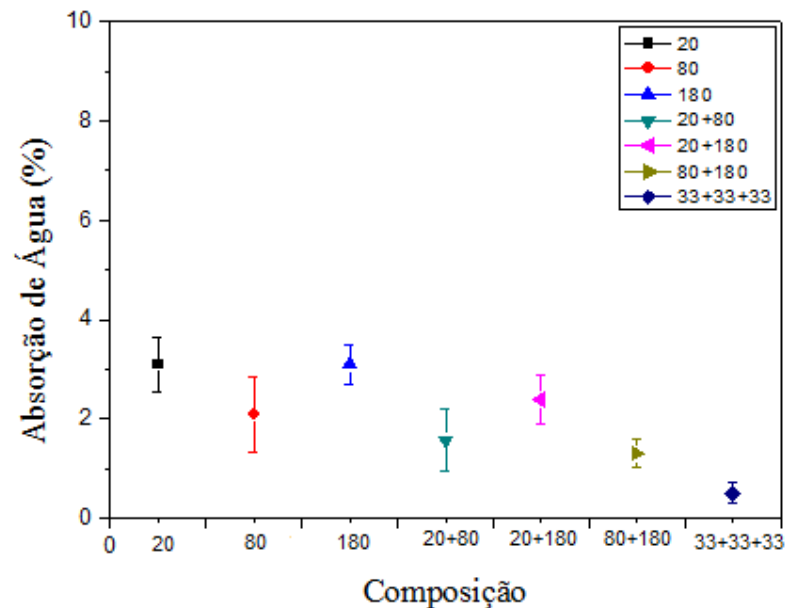


Fig. 4. Absorção de água das composições

A Fig. 5 apresenta os resultados de tensão de ruptura à flexão das rochas artificiais produzidas. Segundo a norma ASTM C503, uma tensão de ruptura à flexão maior que 7 MPa é esperada para uma rocha natural.

Nos métodos de produção utilizados pelo fabricante de rochas artificiais, segundo Alicante (2015) e por Lee et al. (2008), a resina é misturada à carga antes da colocação no molde, o que pode favorecer o recobrimento das partículas pela resina. Além disso, partículas finas foram utilizadas, aumentando a proporção de materiais de maior resistência, o que pela regra das misturas levaria o compósito a uma maior resistência. De forma complementar, os autores utilizaram cargas de maior resistência mecânica e não adicionaram solvente à resina utilizada. No presente trabalho, foi utilizado o mesmo método do fabricante e dos autores, sendo o material misturado antes de ser colocado no molde.

Segundo Ribeiro, 2014 os fabricantes relataram valores para a tensão de ruptura em flexão de 14 a 31 MPa. No presente trabalho a resistência das rochas de granulometrias mais finas (80, 180 e com a mistura e 80+180) foram maiores que a relatada pelos fabricantes. Possivelmente, as partículas pequenas deixaram menos vazios estruturais (porosidade) e melhor compactação nos compósitos no que se reflete em melhores propriedades mecânicas. Como pode ser visto na Fig. 5, os resultados de resistência mecânica dos corpos de prova estão bem acima da norma.

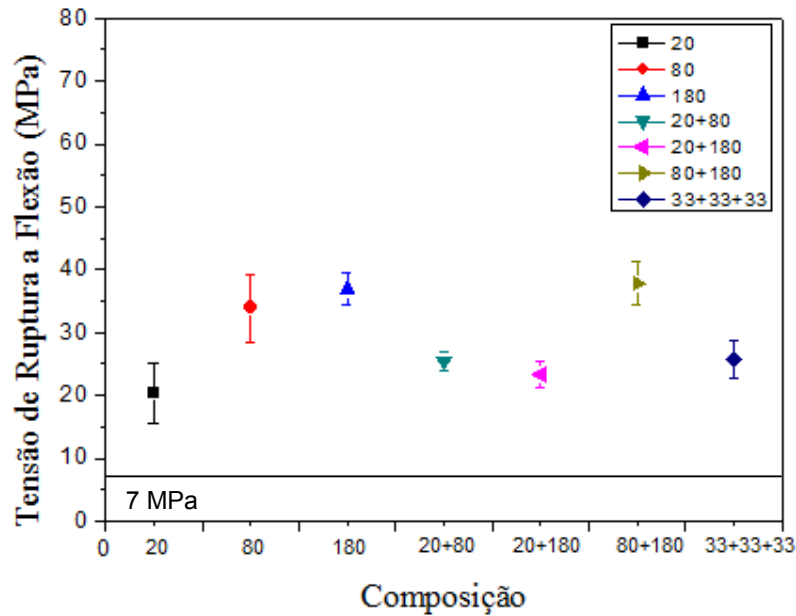


Fig. 5. Tensão de Ruptura à Flexão das composições

De acordo com a norma ASTM C503 (2003), a tensão de ruptura em compressão tem que ser maior que 52 MPa para uma rocha natural. Segundo Ribeiro, 2014 os fabricantes relataram valores para a resistência à compressão de mármore artificiais de 97 a 150 MPa. Desta forma, os valores obtidos para a resistência à compressão das rochas artificiais com resíduos de mármore estão acima do exigido pela norma, mas, se mostraram menores que os valores relatados por Ribeiro, 2014 para a indústria. Isto sugere que, embora os resultados estejam acima do exigido para mármore naturais, ainda é necessário aprimorar as rochas artificiais produzidas com resina desse trabalho, possivelmente pela melhoria do processamento. A Fig. 6 apresenta a resistência a compressão das rochas artificiais.

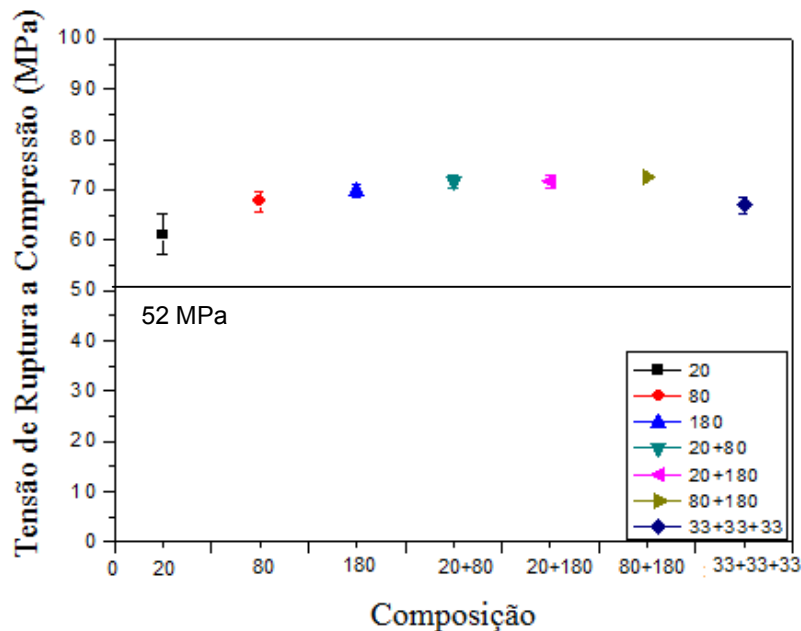


Fig. 6. Resistência à compressão das composições

4. CONCLUSÃO

Neste trabalho, foi realizada a produção de rocha artificial com a utilização de resíduo de mármore e resina. As principais conclusões são:

- O resíduo é constituído basicamente de óxido de cálcio (CaO) e óxido de magnésio (MgO).
- Pode-se observar a presença dos minerais Calcita (CaCO₃) e Dolomita (MgCa(CO₃)₂), caracterizando o resíduo de mármore como dolomítico calcítico.
- O material que obteve a menor absorção de água foi com a mistura das três granulometrias (33+33+33). Esse valor ficou dentro do relatado pelo fabricante. Essa baixa absorção de água foi devido a menor porosidade do material no seu processo de fabricação.
- Os resultados de resistência à flexão das rochas produzidas ficaram acima do valor exigido pela norma e acima do especificado pelos fabricantes, de acordo com Ribeiro, 2014. De acordo com os resultados, as rochas produzidas com resíduo ficaram mais resistentes que as especificadas.
- As partículas finas ajudaram no aumento da resistência mecânica, além da utilização do vácuo durante o processo, que ajudou a eliminar as bolhas de ar, tornando o material mais compacto e mais resistente.

Por fim, os resultados indicaram que o uso do resíduo do mármore para a produção de rocha artificial é viável para as rochas fabricadas com resina e uma alternativa de dar um destino para esse resíduo gerado na ordem de milhões de toneladas, que representa um sério problema ambiental.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a FAPERJ, ao CETEM e as empresas que colaboraram com essa pesquisa.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABIROCHAS 2016 Associação Brasileira da Indústria de Rochas Ornamentais. Balanço das exportações Brasileiras de rochas ornamentais.

ABNT NBR 15845. 2010. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rochas para revestimento: método de ensaio. Rio de Janeiro.

AGUIAR, M. C., GADIOLI, M. C. B., BABISK, M. P., CANDIDO, V. S., MONTEIRO, S. N., VIEIRA, C. M. F. 2014. Characterization of a Granite Waste for Clay Ceramic Addition. Materials Science Forum (Online). v.775-776, p.699 – 704.

ALICANTE 2015 Aglostone: mármore composto. Disponível em: <<http://www.alicante.com.br/aglostone-2/>>. Acesso em: 09 dez. 2015.

ASTM C373-72 1977a AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. Test method for water absorption, bulk density, apparent porosity and apparent specific gravity of fired whiteware products.

ASTM C503 2003 American Society for Testing and Materials. Standard specification for marble dimension stone (exterior). West Conshohocken.

LEE, M.Y., KO, C.H., CHANG, F.C.; LO, S.L., LIN, J.D., SHAN, M.Y., LEE, J.C. 2008. Artificial stone slab production using waste glass, stone fragments and vacuum vibratory compaction - Cement & Concrete Composites, 30, pp.583–587.

MARTINS, L.B.S. 2016. Produção de rocha artificial utilizando resíduo de etapa de laminação de vidro plano em matriz de resina polimérica. 108 f. Mestrado (Mestrado em Engenharia e Ciência Dos Materiais), - Campos Dos Goytacazes, RJ, Universidade Estadual do Norte Fluminense.

PEDRA ARTIFICIAL. 2010. Disponível em: < www.pedraartificial.com.br>. Acesso em outubro de 2016.

RÊGO, José Maria. O potencial das rochas carbonáticas do Rio Grande do Norte. Natal, 2005. Disponível em: <http://www.abceram.org.br/asp/13emc/pdf/sedec-rn.pdf> (capturado em 15 jul. 2015).

RIBEIRO, C. E. G. 2014. Desenvolvimento de um mármore artificial alternativo com resíduo da indústria e mármore e poliéster insaturado. 109 f. Doutorado (Doutorado em Engenharia e Ciência Dos Materiais), - Campos Dos Goytacazes, RJ, Universidade Estadual do Norte Fluminense.