

Série Tecnologia Ambiental

Estudo da viabilidade técnica da utilização de resíduos de rochas em massas cerâmicas

Maria Angélica Kramer Sant'Ana

Mônica Castoldi Borlini Gadioli

SÉRIE TECNOLOGIA AMBIENTAL

**Estudo da viabilidade técnica da utilização de
resíduos de rochas em massas cerâmicas**

PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA

Michel Miguel Elias Temer Lulia

Presidente

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA, INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES

Gilberto Kassab

Ministro de Estado da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações

Elton Santa Fé Zacarias

Secretário Executivo

Gustavo Zarif Frayha

Diretor de Gestão das Unidades de Pesquisa e Organizações Sociais

Isabela Sbampato Batista Reis de Paula

Coordenadora-Geral das Unidades de Pesquisa e Organizações Sociais

CETEM – CENTRO DE TECNOLOGIA MINERAL

Fernando Antonio Freitas Lins

Diretor

Durval Costa Reis

Coordenador de Administração - COADM

Robson de Araújo D'Ávila

Coordenador de Planejamento, Gestão e Inovação - COPGI

Claudio Luiz Schneider

Coordenador de Processamento e Tecnologias Minerais - COPTM

Andréa Camardella de Lima Rizzo

Coordenadora de Processos Metalúrgicos e Ambientais - COPMA

Francisco Wilson Hollanda Vidal

Coordenador do Núcleo Regional do Espírito Santo - CONES

José Antônio Pires de Mello

Coordenador de Análises Minerais - COAMI

SÉRIE TECNOLOGIA AMBIENTAL

ISSN 0103-7374

ISBN 978-85-8261-095-4

STA - 104

Estudo da viabilidade técnica da utilização de resíduos de rochas em massas cerâmicas

Maria Angélica Kramer Sant'Ana

Graduanda em Engenharia de Minas pelo IFES. Bolsista
PIBIC/CETEM/MCTIC

Mônica Castoldi Borlini Gadioli

Engenheira Química, D.Sc., Pesquisadora Titular do
CETEM/MCTIC

CETEM/MCTIC

2018

SÉRIE TECNOLOGIA AMBIENTAL

Luis Gonzaga Santos Sobral

Editor

Andréa Camardella de Lima Rizzo

Subeditora

CONSELHO EDITORIAL

Marisa Bezerra de M. Monte (CETEM), Paulo Sergio M. Soares (CETEM), Saulo Rodrigues P. Filho (CETEM), Sílvia Gonçalves Egler (CETEM), Vicente Paulo de Souza (CETEM), Antonio Carlos Augusto da Costa (UERJ), Fátima Maria Zanon Zotin (UERJ), Jorge Rubio (UFRGS), José Ribeiro Aires (CENPES), Luis Enrique Sánches (EPUSP), Virginia Sampaio Ciminelli (UFMG).

A Série Tecnologia Ambiental divulga trabalhos relacionados ao setor minerometalúrgico, nas áreas de tratamento e recuperação ambiental, que tenham sido desenvolvidos, ao menos em parte, no CETEM.

O conteúdo desse trabalho é de responsabilidade exclusiva do(s) autor(es).

Valéria Cristina de Souza

Coordenação Editorial
Editoração Eletrônica

Maria Angélica Kramer Sant'Ana

Revisão

Ana Maria Silva Vieira de Sá

CRB7 3982
Catalogação na Fonte

Sant'Ana, Maria Angélica Kramer

Estudo da viabilidade técnica da utilização de resíduos de rochas em massas cerâmicas / Maria Angélica Kramer Sant'Ana [et al.]. —Rio de Janeiro: CETEM/MCTIC, 2018.

37p.: il. (Série Tecnologia Ambiental, 104)

1. Resíduos. 2. Rochas ornamentais. 3. Desenvolvimento sustentável. I. Centro de Tecnologia Mineral. II. Sant'Ana, Maria Angélica Kramer. III. Gadioli, Mônica Castoldi Borlini. V. Título. VI. Série.

SUMÁRIO

RESUMO	7
ABSTRACT	8
1 INTRODUÇÃO	9
1.1 Setor de Rochas Ornamentais	9
1.2 Setor Cerâmico no Brasil	12
1.3 Aproveitamento de Resíduos e Cerâmica	15
1.4 Ecologia Industrial e Desenvolvimento Sustentável	16
2 OBJETIVO	17
3 MATERIAIS E MÉTODOS	18
3.1 Coleta e Amostragem dos Materiais	18
3.2 Preparo de Massas e Posteriormente dos Corpos de Prova	19
3.3 Ensaios Realizados nos Materiais e Corpos de Prova	21
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	22
4.1 Composição Química e Difração Raio-X	22
4.2 Massa Específica Aparente a Seco	23
4.3 Retração Linear	25
4.4 Tensão de Ruptura	27
4.5 Absorção de Água	29
5 CONCLUSÕES	31
6 AGRADECIMENTOS	32
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	33

RESUMO

A geração de resíduos nas indústrias de rochas ornamentais é grande e estes podem ser nocivos ao meio ambiente. Portanto, a incorporação destes resíduos em massas cerâmicas vem sendo bastante estudada, visando buscar uma destinação para os resíduos poluentes, de forma a tentar amenizar os impactos causados e minimizar a utilização da matéria-prima (argila). Este trabalho teve como objetivo a utilização do resíduo da serragem por multifio de blocos de rochas ornamentais e do polimento de chapas, em massa cerâmica industrial do Estado do Espírito Santo. Em primeiro lugar, foi realizada a caracterização do resíduo e massa cerâmica. Foram preparadas massas cerâmicas com incorporação de 10, 20, 30, 40 e 50% em peso dos resíduos provenientes da serragem e do polimento. Corpos de prova foram conformados por prensagem uniaxial, secos a 110°C e sinterizados a 850, 950 e 1050°C. Corpos de prova também foram preparados com a massa cerâmica sem resíduo para referência. Foram realizados ensaios tecnológicos nos corpos de prova sem e com os resíduos, para a determinação de tensão de ruptura por flexão, absorção de água e retração linear. Com os testes efetuados pôde-se observar que a utilização dos resíduos na incorporação em massas cerâmicas é possível e inclusive pode melhorar o artefato cerâmico.

Palavras-chave

Resíduos, rochas ornamentais, utilização, sustentabilidade, desenvolvimento sustentável.

ABSTRACT

The generation of waste in the ornamental stone industries is great and these can be harmful to the environment. Therefore, the incorporation of these wastes into ceramic masses has been studied in order to find a destination for the pollutant wastes, so as to try to minimize the impacts caused and to minimize the use of the raw material (clay). This work aimed at the use of sawdust waste of blocks of ornamental rocks by multi wire and of the polishing of slabs, in industrial ceramic mass. First, the characterization of the waste and ceramic mass were carried out. Ceramic masses were prepared incorporating 10, 20, 30, 40 and 50% by weight of the waste from sawdust and polishing. Test specimens were formed by uniaxial pressing, dried at 110°C and sintered at 850, 950 and 1050° C. Test specimens were also prepared with the ceramic mass without waste for reference. Technological tests were carried out on the test specimens without and with the wastes, for the determination of flexural strength, water absorption and linear shrinkage. With the tests carried out it was possible to observe that the use of the wastes in the incorporation of ceramic masses is possible and can even improve the ceramic artifact.

Keywords

Waste, ornamental rock, use, sustainability, sustainable development.

1 | INTRODUÇÃO

1.1 | Setor de Rochas Ornamentais no Brasil

O setor de Rochas Ornamentais cada vez mais tem crescido e investido em tecnologias e equipamentos para a melhora do setor e de produção.

O Brasil é um forte produtor de rochas ornamentais e suas exportações somaram de janeiro a setembro de 2018 US\$ 698,61 milhões e 1,52 Mt, sendo as processadas US\$ 543,9 milhões e 802,2 mil t (ABIROCHAS, 2018).

O sudeste, e principalmente o Espírito Santo, lidera a produção de rochas ornamentais do Brasil, sendo responsável por 3,4 Mt em 2017, como demonstrado na tabela 1, num total brasileiro de 9,2 Mt neste mesmo ano (ABIROCHAS, 2018).

Tabela 1. Distribuição Estadual de Rochas Ornamentais no Brasil em 2017.

Distribuição Estadual de Rochas Ornamentais no Brasil - 2017		
Região	UF	Produção (t)
Sudeste	ES	3.400.000
	MG	1.900.000
	RJ	200.000
	SP	80.000
Sul	PR	200.000
	RS	140.000
	SC	120.000

Tabela 1a. Distribuição Estadual de Rochas Ornamentais no Brasil em 2017 (continuação).

Distribuição Estadual de Rochas Ornamentais no Brasil - 2017		
Região	UF	Produção (t)
Centro-Oeste	GO	200.000
	MT	50.000
	MS	60.000
Nordeste	BA	850.000
	CE	900.000
	PB	430.000
	PE	140.000
	AL	160.000
	RN	170.000
	PI	100.000
Norte	RO	50.000
	RR	10.000
	PA	30.000
	TO	10.000
Total Brasil		9.200.000

Fonte: Abirochas, 2018.

As rochas ornamentais são lavradas em blocos e depois processadas para a produção de chapas, para que depois tenham seu destino final e sua utilização. O processamento das chapas gera uma quantidade relevante de resíduos finos, cerca de 26% de um bloco de rochas se torna resíduo durante seu beneficiamento (SILVEIRA, 2013).

Em torno de 1,5 Mt de resíduos finos de rochas ornamentais são gerados anualmente no Espírito Santo. Devido a grande quantidade de resíduos gerados tornou-se necessário o estudo e linhas de pesquisas para a utilização destes como matéria-prima na obtenção de produtos para utilização, por exemplo, na construção civil, minimizando, desta forma, o impacto ambiental.

1.1.1 | Resíduos de rochas ornamentais

O processamento das rochas ornamentais (modelo linear de operação) gera uma grande quantidade de resíduos, sendo o principal problema ambiental do setor de rochas ornamentais brasileiro. O Estado do Espírito Santo concentra a maior parte das empresas de beneficiamento de rochas ornamentais. Consequentemente, gera a maior parte dos resíduos. Em torno de 26% do volume de um bloco de rocha se torna resíduo durante seu beneficiamento primário.

Estima-se que foram geradas no Brasil mais de 22 milhões de toneladas (Mt) de resíduos de rochas em 2012, sendo que 20 Mt são resíduos grossos gerados nas pedreiras e aproximadamente 2 milhões de toneladas de resíduos finos gerados no beneficiamento, sendo que 1,5 Mt no Estado do Espírito Santo (VIDAL et al., 2014). Os resíduos, sem nenhum tratamento para eliminação ou redução dos contaminantes presentes, acumulam-se nos aterros.

O resíduo do beneficiamento é o que gera maior preocupação, por conter elementos ou compostos que podem ser potencialmente nocivos ao meio ambiente quando descartado e que classificam a maior parte dos resíduos já estudados como não inertes. Assim sendo, há a necessidade de estudar a

utilização de resíduos em materiais que possam inertiza-los, demonstrando que sua utilização não representa riscos ambientais.

A composição do resíduo pode variar de acordo com a composição das rochas, do processo de beneficiamento e insumos utilizados e dos processos de reaproveitamento da água e lamas. Na serragem de rochas utilizando teares multilâminas é gerado um resíduo que pode conter pó de rocha, gralha, cal e/ou bentonita, pó das lâminas e água e na serragem utilizando multifio, o resíduo é constituído principalmente pelo pó de rocha e água, podendo conter ainda substâncias provenientes do fio diamantado. Os resíduos provenientes da serragem de materiais que foram antes envelopados podem conter ainda substâncias provenientes dos insumos utilizados, inserindo assim, novos elementos/compostos nesses resíduos, gerando impactos ambientais negativos.

1.2 | Setor Cerâmico no Brasil

A cerâmica é o produto feito a partir da matéria-prima argila. Produtos estes podem ser revestimentos (ladrilhos, peças de porcelanato, pastilhas, mosaicos, azulejos), materiais para construção (blocos de vedação, blocos estruturais, telhas, lajotas, manilhas, tubos, tijolos) e itens de uso doméstico (filtros e panela de barro).

A produção bruta de argila para cerâmica vermelha no Brasil é expressiva e destaca-se como 4^a maior produção mineral em termos de volume, ficando atrás apenas de ferro e dos agregados, areia e brita (MME/SGM, 2010).

Devido ao expansivo aumento da densidade demográfica e ao demasiado desenvolvimento das regiões sul e sudeste do país o setor de cerâmica também aumentou. A cerâmica vermelha representa 4,8% da indústria para construção civil (ANICER, 2015). Chegam a ser produzidas 1,3 bilhão de telhas por mês (SEBRAE, 2015).

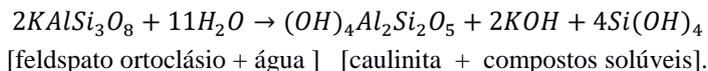
A fabricação de produtos de cerâmica vermelha pode ocorrer com os mais variados tipos de argila e técnicas de processamento; entretanto, há de se esperar as mais variadas propriedades dos produtos (PEREIRA et al, 2011).

1.2.1 | Argila

Argila é definida como uma rocha finamente dividida, possuindo elevado teor de partículas com diâmetro equivalente abaixo de 2 μm . É constituída essencialmente por argilominerais, podendo conter também minerais que não são considerados argilominerais (calcita, dolomita, quartzo, pirita, mica e outros), matéria orgânica e outras impurezas. As argilas na presença de água desenvolvem uma série de propriedades, devido aos argilominerais, tais como: plasticidade, resistência mecânica a úmido, retração linear de secagem, compactação, tixotropia e viscosidade de suspensões aquosas. Estas propriedades explicam sua grande variedade de aplicações tecnológicas (SANTOS, 1989, VERDUCH, 1995).

De um modo geral, as características das argilas podem ser divergentes, variando de acordo com a região de surgência e extração, isto devido também a sua formação geológica (MACEDO, 2008). As argilas são originadas geralmente da decomposição de rochas por intemperismo e ação hidrotermal.

A argila se forma a partir da hidrólise e lixiviação química dos feldspatos e granitos, conforme a reação (KRAUSKOPF, 1972):



Argilominerais são os minerais constituintes das argilas, estes minerais, geralmente cristalinos, quimicamente são compostos por silicatos hidratados de alumínio contendo, em certos tipos, outros elementos como magnésio, ferro, cálcio, sódio, potássio, lítio bem como outros elementos alcalinos e alcalinos terrosos.

1.2.2 | Características e propriedades das argilas

A caulinita se forma em meio ácido (pH 4 – 5) quando o teor em alumínio é elevado e o teor em bases (K_2O , Na_2O , CaO , Fe_2O_3) é pequeno (ABAJO, 2000).

A argila caulínica apresenta uma menor quantidade de óxidos fundentes (GOMES, 1986), provocando a formação da fase líquida de modo mais lento e em menor quantidade, possibilitando assim uma densificação mais homogênea das peças, sem deformações.

A argila possui plasticidade quando pulverizada e umedecida, tornando-se rígida e dura após secagem e adquirindo dureza elevada quando queimada a uma temperatura acima de 1000°C .

A granulometria é uma das características mais importantes dos minerais argilosos e governa muitas das suas propriedades (GOMES, 1986). Quanto mais fina for a argila, maior será a superfície específica, mais altas serão a porcentagem de

umidade de conformação e a contração de secagem e mais estreito o diâmetro dos capilares existentes na peça verde, o qual dificultará o processo de secagem.

Ao reduzir a seção dos poros e aumentar o número de contatos entre as partículas argilosas se incrementará a resistência mecânica a seco. Já na queima, o processo de vitrificação começa pela superfície das partículas. Portanto, quanto maior esta superfície, mais rapidamente e a uma mais baixa temperatura o material vitrificará, obtendo-se uma peça queimada de menor porosidade e maior resistência mecânica (ABAJO, 2000).

1.3 | Aproveitamento de Resíduos em Cerâmica

A massa cerâmica argilosa, utilizada na fabricação de cerâmica vermelha, possui elevada capacidade de incorporação de resíduos. Isso é muito importante, porque a extração de argila pode causar a poluição nos municípios de onde é retirada, conforme estudo já realizado (NOTÍCIAS DE MINERAÇÃO BRASIL, 2018).

Vários estudos foram realizados utilizando o resíduo de rochas ornamentais em cerâmica (GADIOLI et al., 2012, BORLINI et al., 2010, SEGADÃES et al., 2005, MONTEIRO et al., 2004, ACCHAR et al., 2006, AMARAL et al., 2018, AQUINO et al., 2015). Gadioli et al. (2012) estudaram a incorporação de 10, 20 e 30% de resíduo de rochas ornamentais em cerâmica e concluíram que a cerâmica com 20% de resíduo foi a que apresentou melhores resultados. Além da utilização do resíduo visando à mitigação do impacto ambiental, esse pode colaborar no processo cerâmico.

1.4 | Ecologia Industrial e Desenvolvimento Sustentável

A Ecologia Industrial cobiça um modelo de atividade industrial, com destaque na reciclagem de resíduos e subprodutos do processo produtivo, para que desta forma minimize o uso de recursos naturais (FOSTER et al, 2016).

Apesar de desenvolvimento econômico dos países instigarem uma cadeia de impactos ao meio ambiente, há maneiras de solucionar a crise ecológica que se enquadra no momento. Isto é investir em pesquisas, tecnologia e inovações para que sejam conciliados meio ambiente e desenvolvimento social. E, também, inserir na sociedade em todas as esferas educacionais a educação ambiental, assim promovendo uma conscientização geral em prol da preservação do meio ambiente (REIS, A.M. & RIBEIRO, M.B.A., 2016).

2 | OBJETIVO

Observando a importância da Ecologia Industrial e Desenvolvimento Sustentável dos setores, viu-se a necessidade de estudos de utilização de resíduos em diversas áreas.

O objetivo do presente estudo visa então à utilização dos resíduos de rochas ornamentais em massa de cerâmica vermelha do Estado do Espírito Santo, para que tenham destinação além de aterros, mas, como subprodutos e também a mitigação da extração da matéria-prima argila. Com a incorporação do resíduo nas massas cerâmicas poderá promover a sustentabilidade a ambos os setores envolvidos. Esse trabalho é uma continuidade das pesquisas de utilização de resíduos realizadas pelo CETEM.

3 | MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 | Coleta e Amostragem dos Materiais

As matérias-primas utilizadas no trabalho foram resíduos provenientes da serragem por teares multifio de blocos de rochas ornamentais e do polimento de chapas coletados em empresa localizada em Cachoeiro de Itapemirim-ES e massa cerâmica industrial da região de Paineiras, Itapemirim-ES. As amostragens foram realizadas de acordo com a norma de amostragem de resíduos sólidos NBR 10007 (ABNT, 2004), como demonstrado na Figura 1 e 2.



Figura 1. Coleta de resíduos de polimento e serragem.



Figura 2. Coleta de argila e massa cerâmica industrial.

3.2 | Preparo de Massas e Posteriormente dos Corpos de Prova

Foram preparadas massas a partir da incorporação de resíduos de serragem e polimento na massa cerâmica industrial. Foram preparadas as seguintes composições: massa cerâmica 0% (para base de comparação) de adição de resíduo e incorporações de 10, 20, 30, 40 e 50% em peso de resíduo na massa industrial, de ambos, polimento e serragem, totalizando 11 massas diferentes.

As massas preparadas foram homogeneizadas em um moinho de jarros de porcelana e umedecidas a 8% de água e foram conformadas por prensagem uniaxial a 10 toneladas-força utilizando uma matriz de aço com dimensões de 114x25mm, como demonstrado na Figura 3. No total, foram preparados 210 corpos de prova.



Figura 3. Preparação de massa e confecção dos corpos de prova.

Os corpos de prova obtidos foram secos em estufa a 110°C. A massa específica aparente dos corpos de prova secos foi calculada de acordo com a norma C373-72 (ASTM, 1977a). Já secos, os corpos de prova foram sinterizados em temperaturas de 850, 950 e 1050°C com taxa de aquecimento de 2°C/min. O resfriamento aconteceu naturalmente pela inércia do próprio forno até que chegasse a temperatura ambiente.

3.3 | Ensaios Realizados nos Materiais e Corpos de Prova

Os resíduos e massa cerâmica foram caracterizados quanto à sua composição química por fluorescência de raios-X – FRX. Foram também realizados ensaios de Difração de raio-X a fim de se determinar a composição mineralógica dos materiais utilizados. Foram realizados ensaios tecnológicos nos corpos de prova, para determinação da tensão de ruptura por flexão, absorção de água e retração linear.

A tensão de ruptura por flexão em três pontos foi determinada utilizando uma máquina de ensaio universal, EMIC–DL1000, e distância entre roletes de 90 mm, de acordo com a norma (ASTM, 1977b). O ensaio de absorção de água foi feito segundo a norma NBR 15270-2 (ABNT, 2017). A retração linear foi obtida por medidas do comprimento dos corpos de prova antes e depois da sinterização, utilizando um paquímetro.

4 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 | Composição Química e Difração Raio-X

Observa-se na Tabela 2 a composição química das matérias-primas. Ressalta-se a quantidade significativa dos óxidos fundentes ($K_2O + Na_2O$) na composição dos resíduos e principalmente no de serragem. Já a massa cerâmica possui baixo teor de óxidos fundentes. Os óxidos fundentes podem colaborar na sinterização da cerâmica e proporcionar melhoria na densificação das mesmas.

Tabela 2. Composição química (% em peso).

Composição (% em peso)										
Amostra	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	PPC*
Resíduo do Polimento	3,6	2,0	13,3	63,9	0,19	2,60	3,80	0,31	2,40	7,90
Resíduo de Serragem	5,5	0,46	17,00	69,90	0,14	3,40	1,50	0,24	1,30	0,55
Massa Cerâmica	0,17	0,93	31,2	47,40	0,21	0,80	0,26	1,10	6,00	11,60

*Perda por calcinação.

Os resultados de Difração de raio-X são importantes para se determinar a composição mineralógica dos materiais.

Os resíduos de polimento e de serragem tiveram composições semelhantes, compostos de quartzo, microclina, albita e muscovita. Já a massa cerâmica é composta de quartzo, caulinita, vermiculita, muscovita, gibsita e sepiolita, conforme Tabela 3.

Tabela 3. Fases cristalinas identificadas nas matérias primas por difração de raios-X.

	Matérias primas		
	Resíduo polimento	Resíduo serragem	Massa cerâmica
Fases cristalinas	Quartzo	Quartzo	Quartzo
	Microclina	Microclina	Caulinita
	Albita	Albita	Vermiculita
	Muscovita	Muscovita	Muscovita
			Gibsita
			Sepiolita

4.2 | Massa Específica Aparente a Seco

As Figuras 4 e 5 apresentam a massa específica aparente a seco das composições preparadas com e sem resíduo de polimento e de serragem. Esta propriedade é de grande importância tecnológica, pois indica o grau de empacotamento das partículas.

De modo geral, ocorreu uma diminuição no valor da massa específica à medida que a porcentagem de resíduo aumentou, indicando que ocorreu influência do resíduo no grau de

empacotamento da massa cerâmica. Isto indica que o comportamento de queima destas composições pode ser influenciado pelo grau de porosidade diferente das espécies secas. Já se levando em consideração o desvio padrão, a partir da composição com 30% de resíduo de polimento e 20% de resíduo de serragem que houve uma diminuição da massa específica dos corpos de prova com resíduo em relação à massa sem resíduo.

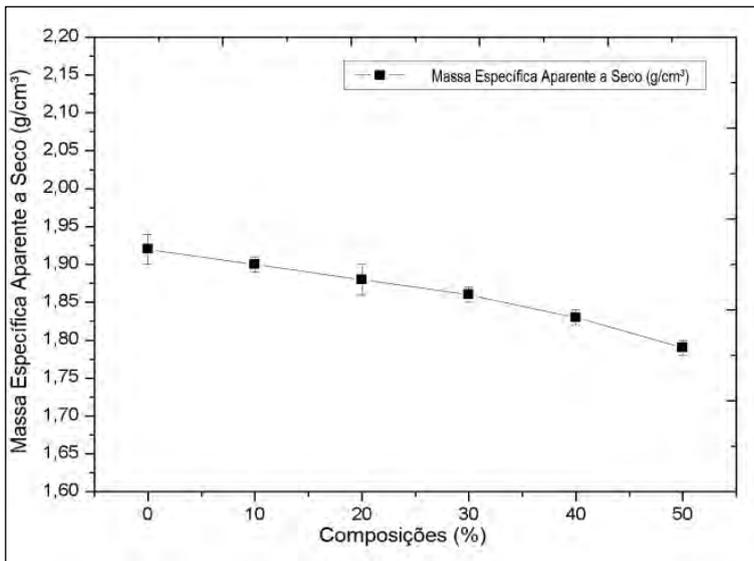


Figura 4. Massa específica aparente a seco ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$) referente às composições sem e com o resíduo de polimento.

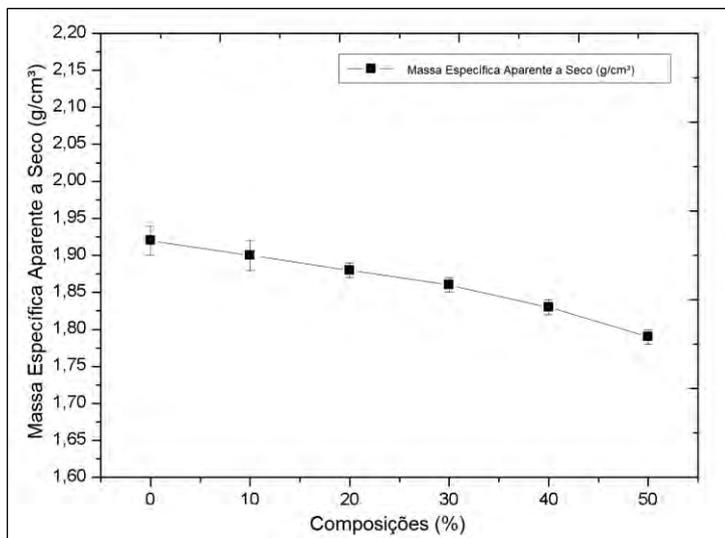


Figura 5. Massa específica aparente a seco ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$) referente às composições sem e com o resíduo de serragem.

4.3 | Retração Linear

Observa-se nas Figuras 6 e 7 que a retração linear de todas as composições aumenta significativamente com o aumento de temperatura, sendo esse aumento mais significativo para a temperatura de 1050°C .

A 1050°C as composições com 10 e 20% de resíduo do polimento apresentam retração linear maior que a massa cerâmica e as composições com resíduo de serragem apresentam praticamente a mesma retração da massa cerâmica sem resíduo, considerando a barra de erro estatístico. Para as composições com resíduo de polimento, sinterizadas a 850°C e a 950°C , as composições apresentaram

retração menor ou semelhante à massa sem resíduo, com exceção da composição com 10% de resíduo sinterizada a 850°C e das composições com 10% e 20% a 950°C.

Já para o resíduo de serragem a 850 e 950°C, a retração para todas as massas com resíduo foi menor que a da massa cerâmica sem resíduo.

A baixa retração linear contribui para um melhor controle dimensional do material.

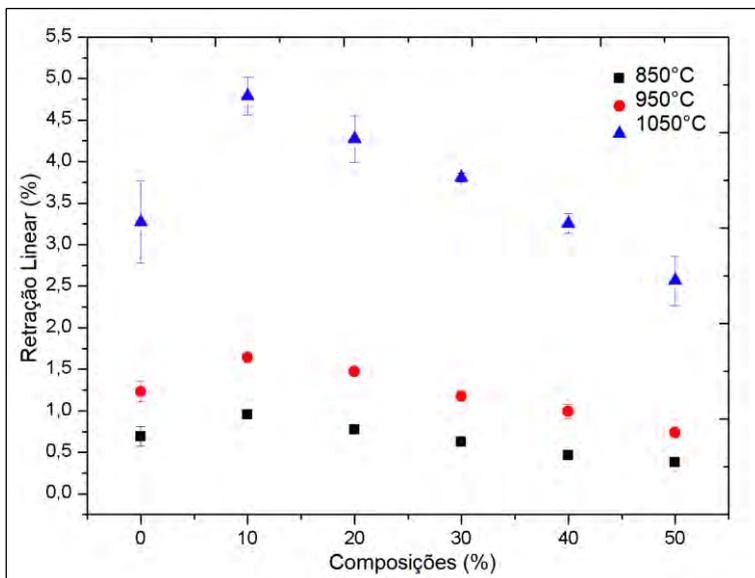


Figura 6. Retração linear (%) das composições sem e com resíduo de polimento.

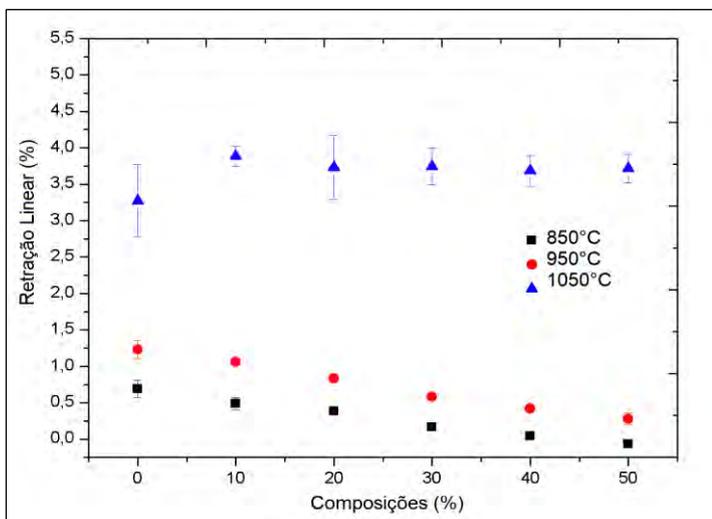


Figura 7. Retração linear (%) das composições sem e com resíduo de serragem.

4.4 | Tensão de Ruptura

As Figuras 8 e 9 mostram os resultados de tensão de ruptura à flexão das composições. A resistência mecânica das composições aumentou com o aumento da temperatura, obtendo resultados muito promissores para as composições com resíduo na temperatura de 1050°C. Um resultado interessante encontra-se para a composição com 50% de resíduo de serragem, onde a tensão de ruptura para essa composição é 45% mais alta que a massa 0%. Isto pode explicar-se pela composição química do resíduo de serragem, que possui uma quantidade relevante de óxidos fundentes que, assim, contribuem para a formação de fase líquida e densificação dos corpos de prova.

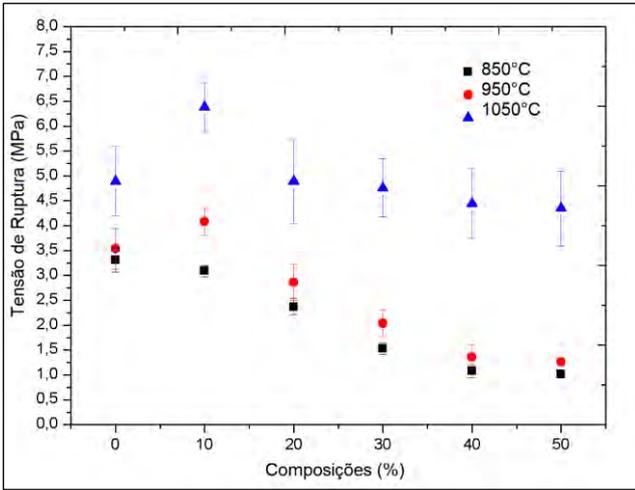


Figura 8. Tensão de ruptura (MPa) referente às composições sem e com resíduo de polimento.

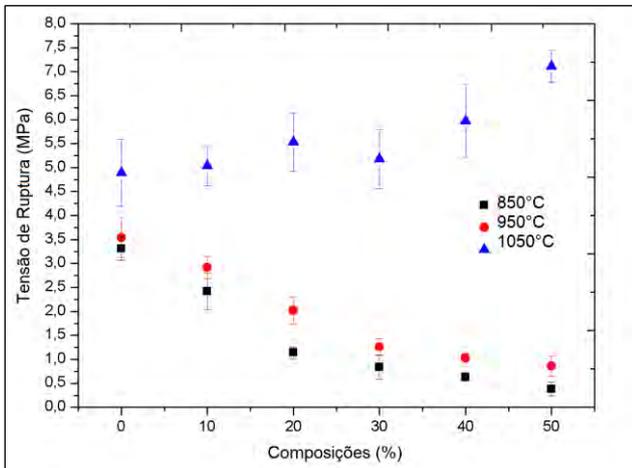


Figura 9. Tensão de ruptura (MPa) referente às composições sem e com resíduo de serragem.

4.5 | Absorção de Água

As Figuras 10 e 11 mostram que as cerâmicas sinterizadas nas temperaturas de 850°C e 950°C tiveram valores próximos de absorção de água. Já a 1050°C, as cerâmicas com até 20% do resíduo de polimento e todas as composições com o da serragem apresentaram os valores de absorção de água menores que a massa cerâmica sem resíduo. Quanto menor a porosidade aberta, menor a absorção. Os valores de absorção de água estão relacionados com a efetivação do processo de sinterização por fase líquida.

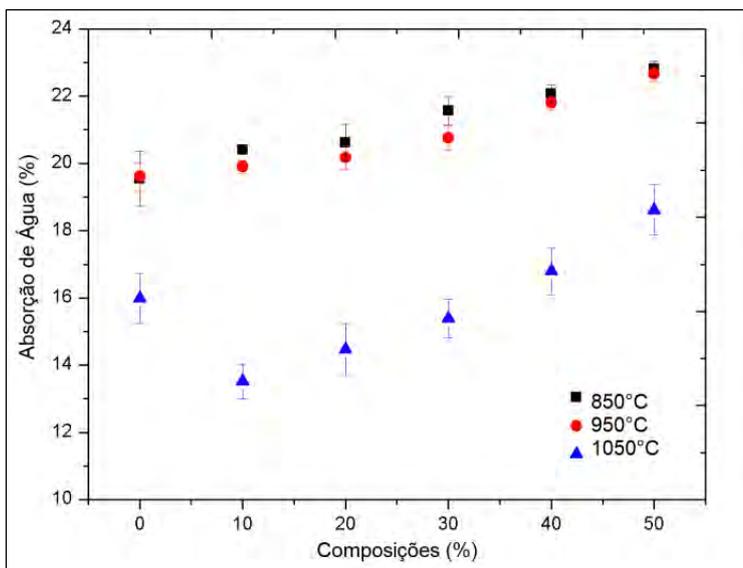


Figura 10. Absorção de água (%) referente às composições sem e com resíduo de polimento.

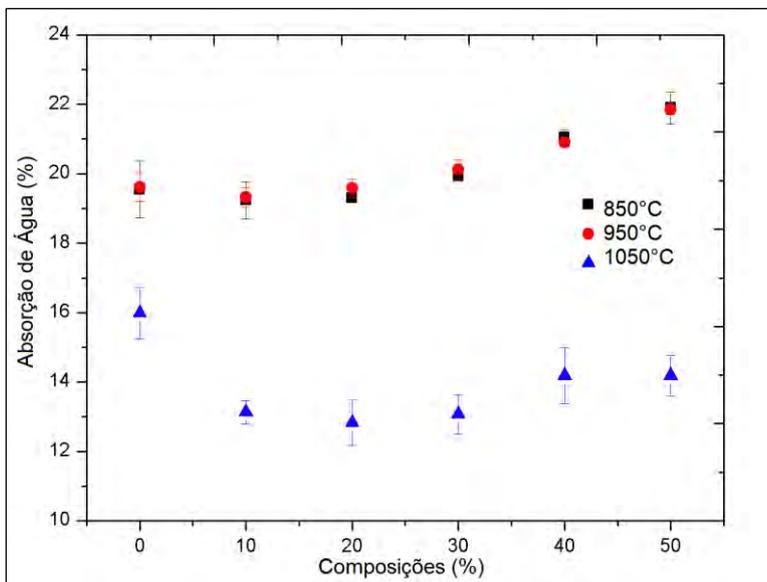


Figura 11. Absorção de água (%) referente às composições sem e com resíduo de serragem.

5 | CONCLUSÕES

De acordo com os resultados obtidos, foi possível observar que nas temperaturas inferiores (850 e 950°C) para as composições com maior quantidade de resíduos de rocha, estes se comportaram como inertes. Por outro lado, a 1050°C ocorreu a efetivação da sinterização por fase líquida das cerâmicas. Resultados muito promissores foram obtidos.

Os resultados mostram tensão de ruptura obtida semelhante ou maior para as composições com resíduo quando comparados à cerâmica sem resíduo. Para a composição com 10% de resíduo de polimento houve um aumento em torno de 33% e com 50% de resíduo da serragem houve aumento da resistência mecânica em 45% acima da massa base. Melhores resultados de absorção de água para as composições com resíduo também foram observados. Esses resultados podem ser explicados devido ao resíduo ter atuado como fundente.

Assim sendo, observa-se que a utilização dos resíduos na incorporação de massas cerâmicas é possível e inclusive pode melhorar o artefato cerâmico, podendo trazer vantagens econômicas, tecnológicas e ambientais, como a diminuição de resíduos a serem descartados na natureza, mitigação de matéria prima (argila) extraída no Estado, melhoria das propriedades das cerâmicas, Ecologia Industrial e o desenvolvimento sustentável desses setores.

6 | AGRADECIMENTOS

Agradeço ao CETEM e a todos seus colaboradores e ao CNPq pela bolsa de Iniciação em Desenvolvimento Tecnológico e Inovação, a FAPES processo nº. 80857019 pelo apoio financeiro, a Mônica Castoldi Borlini Gadioli por ser minha orientadora, e a Carlos Maurício Fontes Vieira. D.Sc. professor da UENF que cedeu o laboratório em Campos dos Goytacazes.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABAJO, M. F. (2000) Manual sobre Fabricación de Baldosas, Tejas y Ladrillos. Editora BERALMAR S. A. Espanha, 360 p.

ACCHAR, W. et al. / Materials Science and Engineering A 435–436 (2006) 606-610.

AMARAL, L.F, et al. Development of ceramic paver with ornamental rock waste. J Mater Res Technol. 2018. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2018.05.009>

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS, FLEXURAL PROPERTIES OF CERAMIC WHITEWARE MATERIALS, C674-77, USA: ASTM, 1977b.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS, STANDART TEST METHOD FOR WATER ABSORPTION, BULK DENSITY, APPARENT POROSITY, AND APPARENT SPECIFIC GRAVITY OF FIRED WHITEWARE PRODUCTS, CERAMICA TILES AND GLASS TILES, C373, USA: ASTM, 1977a.

AQUINO, R.C. et al / Revista Eletrônica de Materiais e Processos / ISSN 1809-8797, v. 10, n. 1 (2015) 29 -35.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE ROCHAS ORNAMENTAIS. Síntese das Exportações e Importações Brasileiras de Rochas Ornamentais no período Janeiro-Setembro de 2018. Informe 06/2018. Brasília/DF, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE ROCHAS ORNAMENTAIS. Setor Brasileiro de Rochas Ornamentais no período Janeiro-Setembro de 2018. Informe 05/2018. Brasília/DF, 2018.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA CERÂMICA. ANICER – Relatório anual 2015. Disponível em: <https://www.anicer.com.br/relatorio-anual/>. Acessado em: Setembro, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 10007, AMOSTRAGEM DE RESÍDUOS SÓLIDOS. ABNT, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 15270-2, BLOCOS CERÂMICOS PARA ALVENARIA ESTRUTURAL. ABNT, 2017.

BORLINI, M.C., PAZETO, A.A., OLIVEIRA, J.R., VIEIRA, C.M.F., MONTEIRO, S.N., 2010. Ceramic Tile obtained with Clay and Dimension Stone Waste without Metal Shot. In: 54º Congresso Brasileiro de Cerâmica, Foz do Iguaçu. Anais do 54º Congresso Brasileiro de Cerâmica, PR.

FOSTER, A. et al. ECONOMIA CIRCULAR E RESÍDUOS SÓLIDOS: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA SOBRE A EFICIÊNCIA AMBIENTAL E ECONÔMICA. Encontro Internacional sobre gestão empresarial e meio ambiente. Dezembro, 2016.

GADIOLI, M.C.B., AGUIAR, M.C., PAZETO, A.A., MONTEIRO, S.N., VIEIRA, C.M.F., 2012. Influence of the Granite Waste into a Clayey Ceramic Body for Rustic Wall Tiles. Materials Science Forum, 727-728, 1057-1062.

GOMES, C.F. (1986) Argilas: O que são e para que servem, Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa.

KRAUSKOPF, K.B. (1972) Introdução à Geoquímica, São Paulo, Editora da Universidade de São Paulo, v 1.

MACEDO, R.S. et al. Estudo de Argilas em Cerâmica Vermelha / Cerâmica 54 (2008) 411-417.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA – Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral. Plano Nacional de Mineração 2030. Brasília, 2011.

MONTEIRO, S.N., PEÇANHA, L.A., VIEIRA, C.M.F., 2004. Reformulation of Roofing Tiles Body with Addition of Granite Waste from Sawing Operations. Journal of the European Ceramic Society, 24, 2349-2356.

NOTÍCIAS DE MINERAÇÃO BRASIL, Publicação Online, 2018. Disponível em: < https://www.noticiasdemineracao.com/print_article/noticiasdemineracao/news/1341536/extração-de-argila-e-um-das-causas-da-poluição-do-ar-em-município-paulista?print=true > Acesso em 16 de setembro de 2018.

PEREIRA, P.S. et al. CARACTERIZAÇÃO DE ARGILA UTILIZADA PARA FABRICAÇÃO DE CERÂMICA VERMELHA. 55º Congresso Brasileiro de Cerâmica, 29 de maio a 01 de junho de 2011, Porto de Galinhas, PE, Brasil.

REIS, A.M. & RIBEIRO, M.B.A. Integração regional como meio de formação de uma consciência ambiental para o desenvolvimento sustentável das futuras gerações. Revista Brasileira de Direito internacional. Dezembro, 2016.

SANTOS, P.S. (1989) Ciência e Tecnologia das Argilas, 2a ed., São Paulo, Edgard Blucher, v. 1.

SERVIÇO BRASILEIRO DE APOIO ÀS MICRO E PEQUENAS EMPRESAS – SEBRAE. Construção Civil. Cerâmica Vermelha. Panorama do Mercado no Brasil. 2015. Disponível em: [http://www.bibliotecas.sebrae.com.br/chronus/ARQUIVOS_CHRONUS/bds/bds.nsf/b877f9b38e787b32594c8b6e5c39b244/\\$File/5846.pdf](http://www.bibliotecas.sebrae.com.br/chronus/ARQUIVOS_CHRONUS/bds/bds.nsf/b877f9b38e787b32594c8b6e5c39b244/$File/5846.pdf). Acessado em: agosto de 2018.

SEGADÃES, A.M., Carvalho, M.A., Acchar,W., 2005. Using marble and granite rejects to enhance the processing of clay products. Applied Clay Science. 30, 42-52.

SILVEIRA, L.L.L. Beneficiamento de rochas ornamentais. In: FRANCISCO, W.H.V. et al. Tecnologia de rochas ornamentais: pesquisa, lavra e beneficiamento. Rio de Janeiro, RJ, Brasil: Centro de Tecnologia Mineral, 2013, capítulo 7, p. 358.

VERDUCH, A.G. (1995) Características de lãs arcillas empleadas em la fabricación de ladrillos. Técnica Cerámica, 214-228.

VIDAL, F.W.H., Azevedo, H.C.A., Castro, N.F., 2014. Tecnologia de rochas ornamentais: pesquisa, lavra e beneficiamento. Centro de Tecnologia Mineral. Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, 700p.

SÉRIES CETEM

As Séries Monográficas do CETEM são o principal material de divulgação da produção científica realizada no Centro. Até o final do ano de 2017, já foram publicados, eletronicamente e/ou impressos em papel, mais de 320 títulos, distribuídos entre as seis séries atualmente em circulação: Rochas e Minerais Industriais (SRMI), Tecnologia Mineral (STM), Tecnologia Ambiental (STA), Estudos e Documentos (SED), Gestão e Planejamento Ambiental (SGPA) e Inovação e Qualidade (SIQ). A Série Iniciação Científica consiste numa publicação eletrônica anual.

A lista das publicações poderá ser consultada em nossa homepage. As obras estão disponíveis em texto completo para download. Visite-nos em <http://www.cetem.gov.br/series>.

Últimos números da Série Tecnologia Ambiental

STA-103 – **Síntese de nanopartículas de óxido de ferro.**
Ellen Cristine Giese, 2018.

STA-102 – **Desaguamento de rejeitos minerais para utilização de métodos de disposição alternativos às barragens de rejeitos convencionais.** Silvia Cristina Alves França e Bruna Câmara Trampus, 2018.

STA-101 – **Avaliação das emanações de mercúrio em garimpos brasileiros: fontes de emissão e rotas de processamento.** Patícia Correia de Araújo e Julia Nascimento Souza, 2018.

INFORMAÇÕES GERAIS

CETEM – Centro de Tecnologia Mineral
Avenida Pedro Calmon, 900 – Cidade Universitária
21941-908 – Rio de Janeiro – RJ
Geral: (21) 3865-7222
Biblioteca: (21) 3865-7218
E-mail: biblioteca@cetem.gov.br
Homepage: <http://www.cetem.gov.br>

NOVAS PUBLICAÇÕES

Se você se interessar por um número maior de exemplares ou outro título de uma das nossas publicações, entre em contato com a nossa biblioteca no endereço acima.

Solicita-se permuta.

We ask for interchange.



Missão Institucional

Desenvolver tecnologias inovadoras e sustentáveis, e mobilizar competências visando superar desafios nacionais do setor mineral.

O CETEM

O Centro de Tecnologia Mineral - CETEM é um instituto de pesquisas, vinculado ao Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações - MCTIC, dedicado ao desenvolvimento, à adaptação e à difusão de tecnologias nas áreas minerometalúrgica, de materiais e de meio ambiente.

Criado em 1978, o Centro está localizado no campus da Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ, na Cidade Universitária, no Rio de Janeiro e ocupa 20.000m² de área construída, que inclui 25 laboratórios, 4 plantas-piloto, biblioteca especializada e outras facilidades.

Durante seus 40 anos de atividade, o CETEM desenvolveu mais de 800 projetos tecnológicos e prestou centenas de serviços para empresas atuantes nos setores minerometalúrgico, químico e de materiais.