

Extração e transformação do lodo proveniente do beneficiamento do corte de mármore e granitos em massa plástica¹

Extraction and transformation of sludge from the processing of marble and granite cutting into plastic mass

Victória Zampieron²
André Luis Zanella³
Schirlei Viviane Rossa⁴

Resumo

O Brasil se tornou um grande importador e exportador de rochas ornamentais, por conta de sua diversidade geológica. Entretanto, com o aumento da demanda no setor, a geração de resíduos derivados dessas fontes não renováveis aumenta. Dentro desse contexto, processos focados na reutilização desses produtos têm surgido cada vez mais, em função de seus baixos custos e boa aplicabilidade. A pesquisa apresentou a formulação de uma massa plástica alternativa, derivada de resíduos de cortes de rochas, com base na resina poliéster que demonstra eficácia, considerando os aspectos econômicos e ecológicos. As amostras foram analisadas, por meio de fotometria de chama e espectrometria de absorção atômica, constando teor de 2,72% de cálcio e 1,44% de magnésio, o que contribuiu para dureza da massa. A partir desses resultados, testes físicos, como: de resistência e aderência à tração e resistência à flexão foram realizados em três pontos. A massa plástica desenvolvida apresentou resultado superior à massa plástica comercial, sendo esse material eficiente, quando misturado com a resina, o que sugere que o ele possui um potencial de substituição, se comparado com a massa industrializada.

Palavras-chave: massa plástica; resíduo; reutilização.

Abstract

Brazil has become a major importer and exporter of ornamental stones, due to its geologic variety. However, with the increased demand in the sector, the generation of residues derived from these non-renewable sources increases. Within this context, processes focused on the reuse of these products have been increasingly appearing, due to their low cost and good applicability. The research presented the formulation of an alternative plastic paste, derived from waste rock cutting, based on polyester resin that demonstrates effectiveness, considering the economic and ecological aspects. The samples were analyzed, by means of flame photometry and atomic absorption spectrometry, showing a content of 2.72% calcium and 1.44% magnesium, which contributed to the hardness of the paste. From these results, physical tests, such as: resistance and adherence to traction and resistance to flexion were carried out in three points. The plastic paste developed presented a better result than the commercial plastic paste, being this material efficient, when mixed with the resin, which suggests that it has a potential for substitution, if compared to the industrialized paste.

Keywords: plastic paste; residue; reuse.

¹ Artigo apresentado como trabalho de conclusão no curso técnico de Química da Fundação Liberato Salzano Vieira da Cunha (FETLSVC), Novo Hamburgo, RS, Brasil.

² Técnica em Química pela FETLSVC e estudante do curso técnico em Petroquímica pelo Instituto SENAI de Tecnologia em Petróleo, Gás e Energia, Esteio, RS. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6923-6041>. E-mail: victoriazampieron@gmail.com

³ Mestre em Engenharia – Ergonomia e Segurança do Trabalho, especialista em Higiene Ocupacional e Direito do Trabalho e bacharel em Engenharia Química pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Florianópolis, SC, Brasil. Professor do curso técnico em Química e em Segurança do Trabalho na FETLSVC. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6240-9141>. E-mail: andre.zanella@iberato.com.br

⁴ Bacharel em Química pela Universidade Luterano no Brasil (ULBRA), Canoas, RS. Professora do curso técnico em Química na FETLSVC. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9376-4808>. E-mail: schirlei.rossa@iberato.com.br

Artigo recebido em 03.04.2022 e aceito 19.09.2022.



1 Introdução

O Brasil tem se destacado mundialmente, tanto na parte de importação, da exportação como um dos maiores produtores de rochas ornamentais, por conta de sua diversidade geológica. Isso permitiu que aumentasse a oferta do mercado externo, uma vez que o país conta com um razoável número de rochas exóticas de alto valor agregado.

Dentre as várias rochas ornamentais, destacam-se, principalmente, o mármore e o granito. De acordo com Chiodi Filho (2018), no ano de 2006, o país chegou a se tornar o quinto maior produtor e exportador mundial de rochas ornamentais e de revestimento. Esse período foi marcado pelo deslocamento da lavra e do beneficiamento dos materiais utilizados (as rochas ornamentais) para a China e os Estados Unidos. Nesses países, as chapas polidas são utilizadas no mercado residencial unifamiliar, enquanto que os produtos prontos, no mercado residencial multifamiliar e nas obras comerciais.

A atividade de beneficiamento final de rochas ornamentais em marmorarias é realizada praticamente em todo o território nacional por aproximadamente 7.000 empresas, empregando mais de 50.000 trabalhadores (FUNDACENTRO, 2008). Essa atividade de beneficiamento, contudo, gera uma grande quantidade de resíduos que poderiam ser reutilizados em outras aplicações, como em construções civis e artesanato, contribuindo, assim, na diminuição de custos e no desenvolvimento sustentável.

Ainda que possua outros meios de utilização, a preocupação com o meio ambiente pela forma de descarte do material gerado (a lama) continua, pois esse pode alcançar rios, lagos e até mesmo reservatórios naturais construídos com várias finalidades. Diante dessa situação, tornou-se imprescindível encontrar uma forma de reutilização da lama gerada. Assim, com base nos estudos de Chiodi Filho (2018), extrai-se o que é possível propor uma transformação dos subprodutos gerados que provêm do corte de rochas em massa plástica que também é utilizada no processo de montagem desses materiais.

O trabalho apresenta como objetivo geral analisar a viabilidade econômica e ambiental da transformação dos resíduos, provenientes do corte do mármore e do granito, para a posterior utilização na fabricação da massa plástica.

2 Desenvolvimento

2.1 Massa plástica

A massa plástica é caracterizada como um produto que serve para colar e preencher falhas (FERRAMENTAS KENNEDY, 2021). O seu processo de fabricação consiste na adição de produtos à resina, para que essa seja transformada no produto adequado a esse fim. (EMBRAPOL, 2021).

Faz-se necessário realizar um teste de verificação do teor de umidade do produto que deve estar abaixo de 1%, pois pode embranquecer e gerar problemas de cura. São adicionados minerais, normalmente a calcita, o talco/e ou a dolomita (EMBRAPOL, 2021). Após esse processo, adiciona-se um polímero, sendo conhecido como poliéster ou epóxi e os aceleradores de cura que farão com que aumente a reatividade da massa.

2.2 Resina de poliéster

Os poliésteres insaturados são ésteres complexos, formados pela reação de um diálcool (glicol) e um anidrido ou ácido diácido, resultando na liberação de água (SILAEX, 2018). Existem diversos tipos de poliésteres insaturados, porém, o mais utilizado para resinas e com custo mais barato, é o ortoftálico.

2.3 Rochas ornamentais

O Brasil é um dos maiores países produtores de rochas ornamentais do mundo, produzindo em torno de seiscentos tipos de pedras variadas (BUZZI, 2008). Há cerca de duzentas e cinquenta empresas, atuando nesse ramo.

A norma 15.012:2003 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2003), define rocha ornamental como material rochoso natural, submetido a diferentes graus ou tipos de beneficiamento, utilizado para exercer uma função estética.

Rocha ornamental é um produto que, após os processos de beneficiamento, serragem, polimento e lustração, salientam as características que a destacam, tais como: a textura e aparência, permitindo, então, o uso em revestimentos, bancadas, pisos, fachadas, artes funerárias e outros diversos (BABISK, 2009). De modo geral, as rochas ornamentais são divididas em dois grupos: os mármore e os granitos.

2.3.1 Granitos

Granito é uma rocha ígnea ácida plutônica de composição quartzo-feldspática. Ele ocorre em todos

os ambientes continentais, sendo raras as ocorrências em ambiente oceânico e é classificado como tipo primário, juntamente com os mármore (CHIODI FILHO, 2018). Em sua composição principal apresentam quartzo, feldspatos e micas. O granito é muito usado por sua resistência a impactos, tendo maior durabilidade e resistência, em relação aos mármore e menos riscos de manchas (ALENCAR, 2013).

2.3.2 Mármore

Os mármore são derivados de calcários (CaCO₃) que contém minerais como a calcita, além da aragonita e dolomita (OLIVEIRA, 2015). Sua formação se dá pela recristalização do contato de rochas carbonáticas que sofreram fenômenos metamórficos em zonas de metamorfismo (CARVALHO, 2010). Destaca-se sua grande aplicação em interiores de edifícios.

De acordo com Carvalho (2010), os calcários são formados pela deposição, compactação e transformação da rocha de origem sedimentar que foi formada em ambiente lacustrino. A dolomita e a calcita fazem a coloração branca à rocha e sua vasta gama de cores se dá pelos demais minerais nele presentes (OLIVEIRA, 2015). A capacidade de efervescência é outra característica importante, quando em contato com ácido clorídrico. Quanto maior o teor de calcita, maior será essa reação.

2.3.3 Marmorarias

O dicionário online Dicio (2021) define a marmoraria como um substantivo feminino que se refere à “oficina de marmorista”, “onde são produzidas peças de mármore (rochas); “estabelecimento, onde se vendem mármore brutos ou trabalhados”.

De acordo com a Fundacentro (2008), é um local que produz peças de variadas formas que são aplicadas em áreas da construção civil. Ainda que possua tal nome, vários tipos de rochas, tais como: granitos, mármore, ardósias, basaltos, arenitos e também, silestone, quartzos e quartzitos são processados nesses estabelecimentos. Para esse processo ser realizado, ocorrem as seguintes etapas: extração, transporte de chapas, polimento, corte e acabamento. Por fim, realiza-se a instalação.

O processo de extração consiste na remoção da matéria bruta, geralmente em blocos maciços rochosos. As principais operações que são realizadas são: de furo, corte, derrube e acabamento (FIGUEIREDO, 2001).

Em seguida, é feito o processo de beneficiamento primário (transformação), no qual é feito a serragem

que é feito por corte/esquadreamento dos blocos para obterem as chapas, tiras ou formato de paralelepípedo, com uma espessura semelhante a do produto final (ALENCAR, 2013).

No beneficiamento final (acabamento), as chapas tomam suas formas e aparência definitivas. Para isso, elas passam pelo processo de aplicação da resina, polimento, corte e acabamento final, sendo feitos por operários especializados. Com isso, são gerados, rodapés, soleiras, cozinhas e lavabos (FIGUEIREDO, 2001).

2.4 Impactos ambientais do setor de rochas ornamentais

Os impactos causados pelo setor de rochas ornamentais são vistos em todas as etapas de produção do material necessário. Eles podem ser classificados de acordo com a sua natureza: danos à saúde da população; ou de forma indireta, quando contaminam o meio ambiente (BABISK, 2009).

Sardinha, Brito e Rodrigues (2016) destacam que a indústria das pedras ornamentais gera volumes enormes de resíduos que apresentam cerca de 80-90% do total do solo e das pedras extraídas. A Associação Nacional da Indústria Extractiva e Transformadora (2020) afirma que as consequências geradas, além da degradação na paisagem e destruição do habitat natural, podem afetar a fauna e a flora. A descarga de efluentes pode contaminar os solos e águas, formando poeiras e liberando gases nocivos.

Segundo Mendoza *et al.*, (2014), quanto maior o corte, maior será a destruição do material no processo e sua eficiência de recurso. Cerca de 5% das partículas mais finas de rochas são emitidas para o ar e o resto é descartado em pilhas de rejeito. De acordo com BABISK (2009), as empresas possuem seus resíduos em formato semissólido (lama), em armazenamento inadequado e sem destinação correta. Grande parte da água é evaporada pela climatização, e a outra parte permanece como umidade dos resíduos.

2.5 Resíduos

Os resíduos são definidos como a sobra de processos nos quais há manuseio, podendo ocorrer na forma sólida e/ou líquida. Em relação às marmorarias, o resíduo produzido é poucas vezes reaproveitado ou possui o destino de descarte correto.

A lama ou lodo é constituída de compostos de água e rochas que se decantam e podem gerar resíduos intermediários que são derivados, a partir do corte e polimento de chapas (BUZZI, 2008).

2.5.1 Resíduos gerados por marmorarias

Segundo Campos *et al.*, (2014, p. 6), a mineração é um dos setores industriais que mais gera resíduos. Apenas na Europa em 2008, 27,8% o total de resíduos gerados foram provenientes da indústria mineral, representando mais de setecentos milhões de toneladas naquele ano.

A maior parte desses resíduos são considerado não perigosos pela legislação europeia, já que se constituem de solo e de restos de rochas. É importante destacar que a produção de rochas contribui para a geração de resíduos sólidos por conta das baixas taxas de aproveitamento (CAMPOS *et al.*, 2014)

A maior parte desses resíduos são grossos e são gerados nas minerações e em pedreiras, por estarem fora dos padrões, fragmentados e alterados, geralmente não são aproveitados. Embora não gerem um problema ambiental imediato, o desperdício desses resíduos impacta no gasto de recurso natural, já que poderiam ser utilizados para outros fins, como subprodutos, os chamados então “estoques remanescentes” (CAMPOS *et al.*, 2014).

Os resíduos gerados na lavra e no beneficiamento de rochas ornamentais representam perda de 83% de matéria-prima. Para produzir trezentos e trinta metros quadrados de chapas, são extraídos cerca de trinta metros cúbicos de rochas maciças. Desse total, cerca de vinte metros cúbicos ficam na pedreira na forma de resíduos (CAMPOS *et al.*, 2014 p. 7).

2.6 Tratamento de resíduos

As técnicas a serem aplicadas no tratamento dos resíduos de rochas ornamentais vão depender da forma como esses resíduos se apresentam (CAMPOS *et al.*, 2014). De acordo com Campos *et al.* (2014), se estiverem na forma de sólidos secos (grossos e finos) ou na forma de efluente (lama), seu aproveitamento pode ser direto e sem nenhum tratamento, mas podem passar por algum tipo de tratamento, para melhorar suas qualidades e adequação à finalidade a que se destina.

O tratamento é realizado por meio de operações unitárias, normalmente britagem, moagem, peneiramento, classificação e concentração. Quando estiver na forma de efluente, é feito um tratamento de separação sólido-líquido, resultando no material sólido seco e água que pode ser reutilizada (CAMPOS *et al.*, 2014).

A fragmentação em resíduos grossos permite a transformação em britas e areia artificial, o

peneiramento desdobra o material granular em duas ou mais frações de tamanhos distintos (a fração granulométrica mais grossa é denominada retido e a mais fina é denominada passante). Na britagem, a peneira é colocada logo após o britador para classificar o produto, permitindo que o retido retorna ao britador (CAMPOS *et al.*, 2014).

Moraes (2006) destaca que no processo de corte de blocos de rochas são usadas misturas de água, cal e granalha de ferro para lubrificação e aumento do poder de corte. Assim, é possível controlar a densidade do resíduo, sua concentração e capacidade de corte. O pH, apresentado pelas águas que saem juntamente com o resíduo, possui pH alto, por conta da cal existente. Após o tratamento adequado, podem ser reutilizadas, mesmo com pH alcalino. Os efluentes possuem pH mais baixo e podem ser reutilizados, sem danos a sua qualidade final.

2.7 Aplicações de resíduos gerados por marmorarias

Há algumas alternativas para a utilização dos resíduos gerados na lavra e no beneficiamento de rochas ornamentais. Além do aproveitamento dos estoques remanescentes de forma direta (nas pedreiras), podem ser utilizadas no artesanato ou em elementos de construção civil, estudos buscam encontrar a viabilidade técnica e econômica de transformar resíduos finos da serragem em insumos para setores industriais, como: de cimento, argamassa, agricultura e cerâmica (CAMPOS *et al.*, 2014). Em que pese os resíduos grossos, os blocos fora de padrão são utilizados na construção de pontes e em areia artificial.

Os resíduos finos e ultrafinos são gerados como efluentes, em forma de lama, já que o processo de beneficiamento é realizado a úmido. Por serem constituídos apenas de pó de rocha e água, têm maiores possibilidades de utilização por não conterem elementos metálicos. Muitas empresas instalaram teares nas pedreiras, para estocar seus resíduos e fazer reutilização na indústria, considerando-os matéria-prima (CAMPOS *et al.*, 2014). Eles são utilizados em pavimentação de caminhos e como material ligante em obras de construção civil, como muros. Contudo seu destino mais comum é em aterros (ASSOCIAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA EXTRACTIVA E TRANSFORMADORA, 2020).

Resíduos grossos, mesmo utilizados na construção civil em obras de pavimentação e mosaicos, se for diminuído seu tamanho, podem ser utilizados, também, para fabricação de brita.

3 Metodologia

O resíduo, utilizado no presente trabalho, foi proveniente da marmoraria Giani Mármore e Granitos, localizada no bairro Hamburgo Velho, Novo Hamburgo (RS). A coleta da amostra foi realizada por meio de espátulas de metais. Para a amostragem, foi retirado, aproximadamente, um quilograma do lodo, diretamente do tanque de sedimentação da empresa, utilizando os devidos EPI'S, tais como: óculos e luvas de proteção. O resíduo coletado ficou armazenada em um recipiente de plástico.

As análises das amostras foram realizadas nos laboratórios de Espectrometria, de Águas e de Corrosão da Fundação Escola Técnica Liberato Salzano Vieira da Cunha, localizada na cidade de Novo Hamburgo.

Em primeiro lugar, a amostra que se encontrava no estado líquido/pastoso foi colocada em estufa em torno de 65°C -70°C graus, por uma hora e trinta minutos. Com essa ação, a água foi evaporou, e a amostra tornou-se sólida. Utilizando uma balança analítica, dois vidros de relógio e uma espátula foram pesados três vezes, três gramas do resíduo. Cada um deles foi considerado como uma amostra para análise de concentração de cálcio e magnésio, contabilizando o total de nove gramas de resíduo amostrados. Tais amostras, colocados em béqueres separados para fazer a pré-digestão em peróxido de hidrogênio, utilizando 10mL de solução e, após isso, junto ao peróxido de hidrogênio, adicionados mais 15mL de solução de ácido clorídrico 1M, soluções que estavam na capela. Por meio de chapas, as amostras foram aquecidas até atingir a temperatura de 50°C, controlada por meio de um termômetro. Quando foi finalizado o processo, o material passou por uma filtração simples.

As caracterizações da matéria-prima foram dadas, a partir de dois métodos, sendo eles: a fotometria de chama (emissão atômica), para determinar a concentração de cálcio na amostra e espectrometria

de absorção atômica com chama para determinar a concentração de magnésio na amostra.

O método de fotometria de chama é baseado nas interações entre os átomos do analito com a energia térmica radiante. Nessa técnica, mede-se a radiação eletromagnética emitida nas regiões visível e ultravioleta do espectro por átomos ionizados. Já a espectrometria de absorção atômica, baseia-se na propriedade dos átomos ou íons, quando excitados a emitir radiações com comprimentos de onda característicos.

Após a realização dos ensaios com os resultados obtidos, ocorreu a formação, a partir do lodo industrial coletado em massa plástica. Para isso, utilizou-se 60% da carga mineral, ou seja, a amostra preparada e 40% de resina de poliéster, catalisador (1% a cada 100g de resina usadas) e, para agente de cura, o peróxido 9% (2g a cada 100g de resina utilizada). Para a solução ser homogeneizada, foi feito o uso de um bastão de vidro, com agitação, por dez minutos.

Para determinar as propriedades mecânicas e comparar com a massa plástica comercial, foram realizados dois ensaios físicos na Unisinos (Universidade do Vale do Rio do Sinos) – campus São Leopoldo. Os dois ensaios foram de resistência de aderência à tração e de flexão em três pontos.

O teste de resistência de aderência à tração serviu para avaliar o comportamento da massa elaborada em rochas ornamentais, pois posteriormente o produto realizado será aplicado nesse ramo de mármore e granitos.

A pedra escolhida, para realizar o primeiro teste, foi o granito Preto São Gabriel, por conta de ser um material que é clássico no ramo, sendo muito utilizado e comercializado, por ter uma coloração geralmente padrão e ser relativamente barato em comparação com outros materiais. Nas tabelas 1 e 2, é possível observar outras características do material que influenciaram na escolha, como, por exemplo, a flexão que, quanto maior, maior será sua resistência.

Tabela 1 – Características físico-mecânicas do Preto São Gabriel

Densidade aparente	2960 kg/m ³
Porosidade aparente	0,96%
Absorção d'água	0,33%
Compressão uniaxial	113,70 MPa
Compressão após gelo/degelo	121,30 MPa
Flexão	14,10 MPa
Coefficiente de dilatação térmica linear	7,80 10 ⁻³ mm/°C
Desgate amsler	1,00 mm

Fonte: Alencar (2013).

Tabela 2 – Composição mineralógica do Preto São Gabriel

Plagioclásio	60%
Hiperstênio	15%
Biotita	15%
Hornblenda	5%
Quartzo	5%

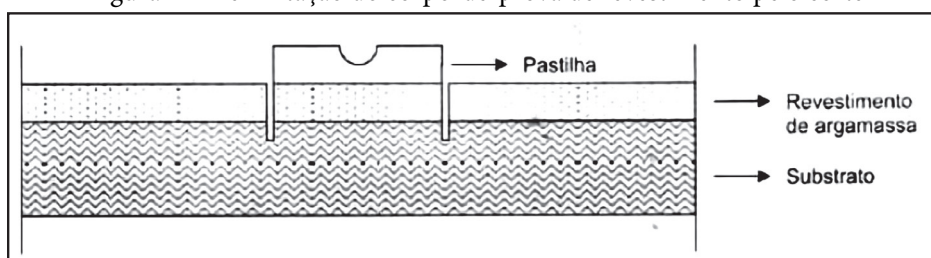
Fonte: Alencar (2013).

Com duas amostras de material, ou seja, pedras de granito Preto São Gabriel, escolhido por possuir maior resistência, grande aplicabilidade e custo intermediário,

medindo 300x300x20 mm e estando limpos e secos, foram selecionadas seis pastilhas para colagem nas pedras, a partir da massa obtida no processo e da massa industrial. As massas plásticas foram aplicadas na pastilha e pressionadas contra a pedra para colagem. E então permaneceram por 24 horas até que o procedimento de secagem ocorresse por completo.

A norma adotada para realizar os ensaios é a ABNT NBR 13528:2010 – “Revestimentos de paredes de argamassas inorgânicas – determinação da resistência de aderência a tração” (Norma Adaptada) (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2010).

Figura 1 – Delimitação do corpo-de-prova de revestimento pelo corte



Fonte: Associação Brasileira de Normas Técnicas (2010).

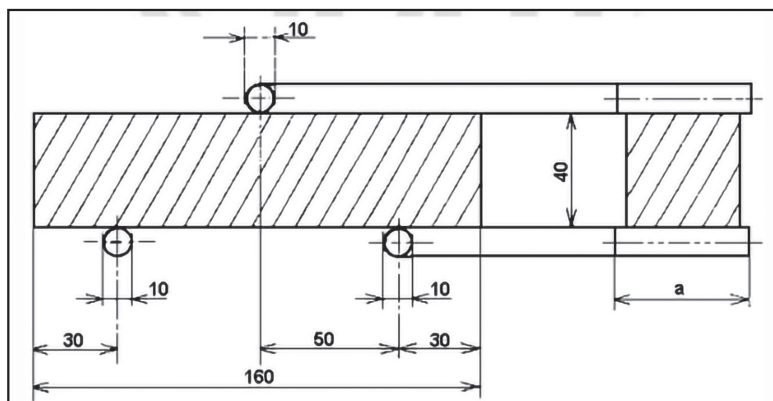
Na sequência, realizou-se o ensaio de resistência de aderência à tração, utilizando um equipamento que afer a força e pressão necessárias para ruptura, os dados são fornecidos pelo manômetro digital conectado ao equipamento.

Para o teste de resistência de flexão em três pontos, que avalia a força mecânica de ruptura, foram confeccionados quatro corpos de prova: dois preparados, a partir da massa comercial e dois preparados, a partir da massa obtida na pesquisa, esses medindo 40x40x160 mm. Em relação à massa plástica confeccionada, foram feitas duas medidas de lodo: a primeira pesando 600 g e adicionando 450 g de resina

e, à segunda, 650 g de lodo e 200 g de resina. Cada uma foi utilizada para um corpo de prova. Os corpos foram ajustados no equipamento em que, nas extremidades, são colocados dois cutelos de reação e no centro é aplicado uma carga, através do cutelo de aço. Esse procedimento foi realizado até o rompimento do material.

A norma adotada para realizar esses ensaios é a ABNT NBR 13279:2005 – “Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – determinação da resistência a tração na flexão e a compressão” (Norma Adaptada) (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2005).

Figura 2 – Representação do corpo-de-prova para o ensaio de resistência a flexão em três pontos



Fonte: Associação Brasileira de Normas Técnicas (2005).

4 Resultados e discussões

4.1 Análise de espectrometria de absorção atômica

A espectrometria por absorção atômica gera uma nuvem de átomos no estado fundamental, onde ocorre uma radiação com diferentes comprimentos de onda, em que variações de energia ocorrem, sendo as mesmas para emissão e absorção. A lâmpada irá medir o comprimento de onda, sendo que o magnésio é visível, a partir de 400 nanômetros, porém, no ensaio, foram utilizados 285,21 nanômetros, e a curva de calibração foi de 1 a 5 mg/L. O aparelho utilizado foi o Analyst 200, da marca Perkinelmer.

Os elétrons sofrem um salto depois de excitados pela fonte de energia, essa sendo um gás e um combustível. No ensaio realizado, utilizou-se acetileno, com vazão de 2,5 L/min e o ar, com vazão de 10 L/min.

O resultado do teste em branco foi de 0mg/L. As amostras preparadas apresentaram resultados de concentração de íons magnésio de 1,52% p/p Mg^{+2} , 1,38% p/p Mg^{+2} e 1,42% p/p Mg^{+2} . A média de concentração de íons de magnésio, obtida entre as amostras, foi de $1,44 \pm 0,072\%$ p/p Mg^{+2} .

4.2 Análise de fotometria de chama

Para o ensaio de fotometria de chama, utilizou-se o aparelho da DIGIMED DM-61. A técnica se baseia na emissão de radiação eletromagnética em regiões da amostra e ultravioleta do espectro por átomos neutros ionizados, quando excitados. A técnica é bastante similar à de espectrometria por absorção atômica.

As amostras apresentaram a concentração em íons de cálcio de 2,84% p/p Ca^{+2} , 2,76% p/p Ca^{+2} e 2,56% p/p Ca^{+2} . O teste em branco apresentou 4,0 mg/L que foi descontado nos cálculos finais. A média da concentração de íons de cálcio na amostra foi de $2,72 \pm 0,144\%$ p/p Ca^{+2} .

Ambas análises de caracterização de cálcio e magnésio foram realizadas, visto que, quanto maior o teor desses íons no substrato, melhor será o rendimento da massa plástica e sua dureza.

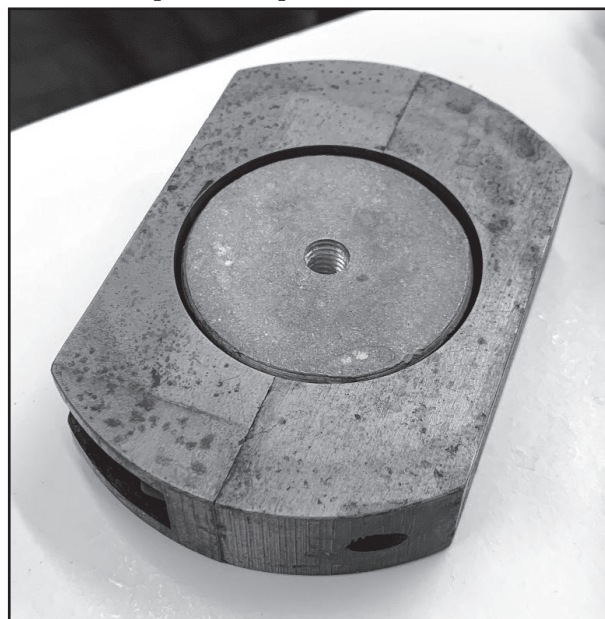
4.3 Ensaio de resistência de aderência à tração

O ensaio de resistência de aderência à tração é realizado, para determinar a interação entre o constituinte (a massa plástica alternativa) e o substrato (uma pedra de granito Preto São Gabriel), determinando um valor máximo de tensão de aderência em kN (kilonewton).

Para a realização deste ensaio, foi confeccionado uma peça metálica (figura 3) com função de

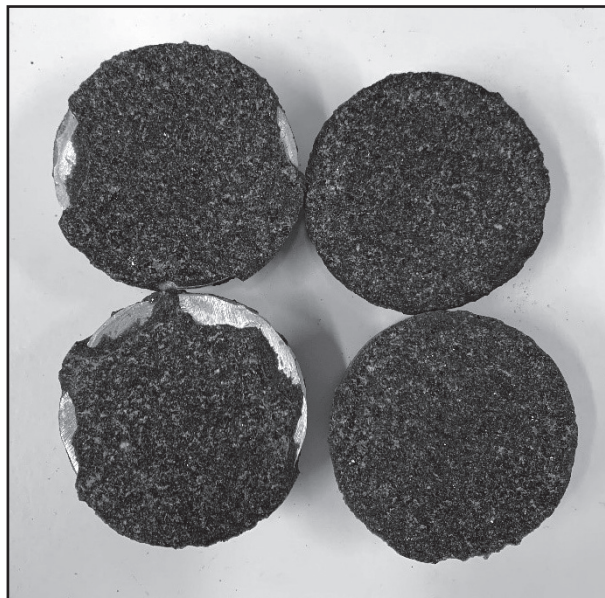
dar suporte ao corpo de prova (o granito Preto São Gabriel), pois quebrou durante os primeiros arranques. A pastilha (figura 4) ficou acoplada no meio da peça e, por cima, foi colocado uma tábua metálica com um furo nas mesmas dimensões da pastilha, com a função também de suporte e utilizados sargentos para segurar a estrutura, prendendo a pedra contra a chapa metálica.

Figura 3 – Peça metálica elaborada para dar suporte ao material



Fonte: Os autores (2021).

Figura 4 – Representação das pastilhas coladas com a massa sustentável



Fonte: Os autores (2021).

Durante o ensaio a pedra quebrou, o que fez com que dois resultados de pastilhas fossem descartados, pois não foram arrancados (no corpo de prova da massa comercial) e dois resultados da massa pesquisada também foram descartados, por conta da quebra do parafuso, durante a realização do ensaio e, como consequência, houve a quebra da pedra exatamente onde estava colada a pastilha.

Na tabela 3, são apresentados os resultados para os

quatro corpos de prova utilizados no ensaio de resistência de aderência à tração, a média e o desvio padrão, produzidos com as massas plásticas.

Analisando a média de quatro resultados encontrados das pastilhas arrancadas (tabela 3), foi possível verificar que a resistência à aderência da massa pesquisada é superior a comercial. Levando em consideração que o furo com mais resistência foi de 12,08 kN frente ao da comercial que foi de 9,89 kN e as médias calculadas também.

Tabela 3 – Resultados do ensaio de resistência a aderência a tração (kN)

Massa Plástica Poliéster Comercial		Massa Plástica Poliéster Sustentável	
1	6,17	1	12,08
2	5,51	2	9,05
3	4,71	3	9,84
4	9,89	4	8,30
Média	6,57± 1,99	Média	9,82± 1,42

Fonte: Os autores (2021).

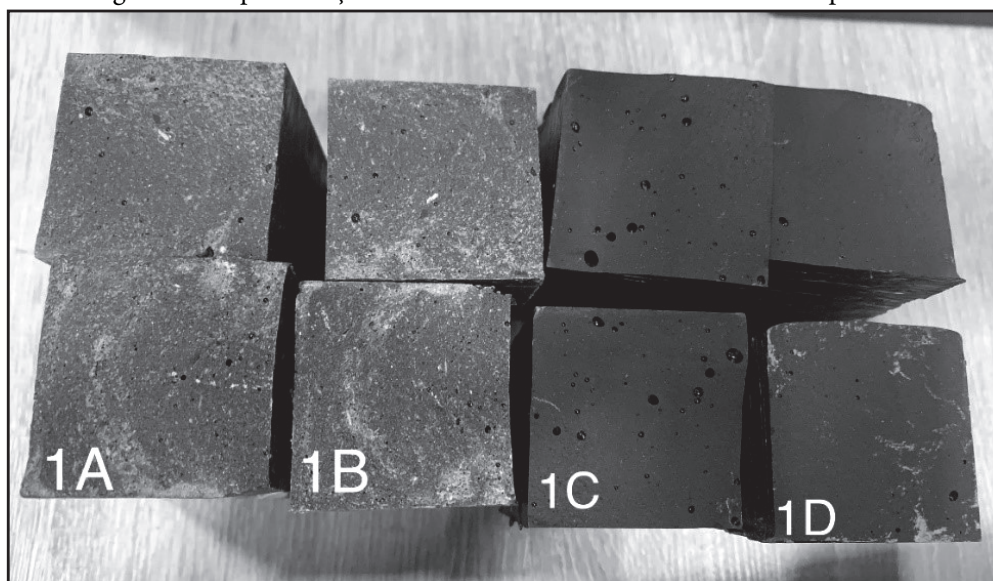
4.4 Ensaio de resistência à flexão em três pontos

O ensaio de resistência à flexão em três pontos avalia as propriedades dos materiais, independentemente das estruturas que serão utilizados. A máquina é ligada a um dinamômetro ou célula de carga que mede a força máxima aplicada ao corpo de prova e que possui um registrador gráfico que traça o diagrama de força e deformação, à medida que o ensaio está sendo realizado. Esse ensaio é muito utilizado,

pois demonstra dados, quando o material é sujeito a cargas de flexão.

Analisando os quatro corpos de prova, após o ensaio realizado, percebeu-se a presença de poros no interior da massa, sendo a maior quantidade na massa plástica comercial, figura 5, 1C. A presença de poros na massa plástica pesquisada é vista em tamanho menor e menor quantidade na figura 5 (1A e 1B) esses poros influenciam, diminuindo a resistência da massa.

Figura 5 – Representação do ensaio de resistência a flexão em três pontos



Fonte: Os autores (2021).

Apresenta-se, na tabela 4, os resultados para os quatro corpos de prova utilizados no ensaio de

resistência à flexão em três pontos, a média e o desvio padrão, produzidos com as massas plásticas.

Tabela 4 – Resultados do ensaio de resistência à flexão em três pontos (MPa)

Massa Plástica Poliéster Comercial		Massa Plástica Poliéster Sustentável	
1C	27,16	1A	27,87
1D	29,50	1B	19,23
Média	28,33± 1,17	Média	23,55± 4,32

Fonte: Os autores (2021).

O dado com resultado de 19,23 Mpa, sendo da massa plástica sustentável 1B, apresenta-se inferior, quando comparado ao primeiro ensaio. Isso se deve à desregulação do plano perpendicular, durante o ensaio, o que ocasionou uma carga distribuída diferentemente entre os três pontos, fazendo com que ocorresse a ruptura de forma antecedente a prevista. Isso acontece também, por conta da segunda amostra possuir mais resina do que o estipulado na formulação proposta.

4.5 Comparativo visual

O ensaio de comparativo visual levou em consideração dois aspectos: o corte das pedras, a partir de uma serra blocos para verificação da resistência à aderência informal e à adição de pigmentos líquidos e em pó, para estudo da possibilidade de obter novas colorações.

Após a fabricação da massa plástica pesquisada, seguindo o mesmo princípio de 60% de resíduo para 40% de resina, foram adicionado dois gramas de pigmento preto a duas amostras, uma do granito Preto São Gabriel e uma do mármore Branco Marfim, ambas foram coladas com o produto elaborado, adicionando dois gramas de catalisador. Outras duas amostras, agora de mármore Rajado Verde, foram submetidas as mesmas concentrações de massa, porém adicionado pigmento branco em líquido à base d'água, na primeira. Na segunda amostra, foi adicionado o pó de mármore, juntamente com o pigmento líquido. Posteriormente, esperou-se o tempo de cura de 24 horas, para todas as quatro amostras

Para o seguinte passo, foi utilizada uma Serra Mármore, equipamento da marca Guarani, ano 2011, para corte de chapas em granito e mármore. Para ambas as amostras que possuíram o pigmento preto em pó, a massa plástica apresentou um resultado positivo, pois nenhuma das duas se soltou, quando submetidas ao corte em água, além de ter ficado um acabamento de qualidade, por conta da espessura em

que a massa se apresentou, ficando de 1mm, como pode ser observado na figura 6, com a amostra do granito Preto São Gabriel.

Figura 6 – Uma representação da colagem de amostras de Preto São Gabriel



Fonte: Os autores (2021).

Entretanto, as amostras em que foram adicionados o pigmento líquido branco, soltaram-se da colagem e soltaram pigmento também, tal fato se explica, devido à concentração de teor de umidade máximo que a massa plástica pode conter, sendo de 1% e, colocando menores quantidades de pigmento líquido à base d'água, já que não chega ao tom branco esperado. O mais correto para chegar à coloração de brancura, seria utilizar o dióxido de titânio que, posteriormente, será testado em futuros trabalhos.

5 Considerações finais

Ao comparar os resultados, foi possível reconhecer que a massa plástica sustentável produzida, apresentou boa aplicabilidade frente à massa plástica comercial que foi testada. A massa plástica sustentável

apresentou uma porcentagem de 16,87% inferior no teste de resistência à flexão em três pontos, por conta de erros de calibração, no último teste do corpo de prova e de duas formulações, uma contendo mais resina do que a outra e, um resultado de 33,09% superior, comparando as colagens das oito pastilhas no teste de resistência de aderência à tração, quando comparados com a comercial vendida.

Além dos ensaios realizados, posteriormente, será testado o dióxido de titânio para brancura da massa alternativa e serão realizados outros ensaios de resistência a calor, manchas e umidade.

Diante desse fato, foi possível concluir que as partículas componentes do resíduo seco, quando misturadas à resina, possibilitam a produção de uma massa plástica sustentável, com qualidade superior à comercial.

Referências

- ALENCAR, C. R. A. **Manual de caracterização, aplicação, uso e manutenção das principais rochas comerciais no Espírito Santo: rochas ornamentais.** Cachoeiro de Itapemirim: Instituto Euvaldo Lodi, 2013. 242 p. Disponível em: <https://www.sindirochas.com/arquivos/manual-rochas.pdf>. Acesso em: 27 jul. 2021.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13279: argamassa para assentamento de paredes e revestimento de paredes e tetos: determinação da resistência à compressão.** Rio de Janeiro, 2005. 9 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13528: revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas: determinação da resistência de aderência à tração.** Rio de Janeiro, 2010. 11 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15012: rochas para revestimentos de edificações: terminologia.** Rio de Janeiro, 2003. 23 p.
- ASSOCIAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA EXTRACTIVA E TRANSFORMADORA. **Guia de potenciais destinos para as lamas de processamento da pedra incluindo simbioses industriais.** 2020. Disponível em: http://www.aniet.pt/fotos/editor2/3.1_guia_destinos_lamas.pdf. Acesso em: 27 jul. 2021.
- BABISK, M. P. **Desenvolvimento de vidros sodocálcicos a partir de resíduos de rochas ornamentais.** 2009. 90 f. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Materiais) – Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, 2009. Disponível em: http://www.ime.eb.mil.br/arquivos/teses/se4/cm/MICHELLE_P_BABISK.pdf. Acesso em: 30 jun. 2021.
- BUZZI, D. C. **Estudo de classificação e quantificação das lamas geradas no processo de beneficiamento de rochas ornamentais.** 2008. 365 f. Dissertação (Mestrado em Ciências em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2008. Disponível em: [tese_2709_Dissertacao_Daniella_Cardoso_Buzzi.pdf](http://www.ufes.br/teses/tese_2709_Dissertacao_Daniella_Cardoso_Buzzi.pdf). Acesso em: 30 jun. 2021.
- CAMPOS, A. R. *et al.* **Resíduos: tratamento e aplicações industriais.** Rio de Janeiro: CETEM, 2014. 35 p. Disponível em: http://mineralis.cetem.gov.br/bitstream/cetem/1738/1/CCL00070014_CAPITULO_09_opt.pdf. Acesso em: 27 jul. 2021.
- CARVALHO, J. **Recursos minerais: o potencial de Portugal.** 2010. Disponível em: <http://repositorio.lneg.pt/bitstream/10400.9/1036/1/34052.pdf>. Acesso em: 27 jul. 2021.
- CHIODI FILHO, C. **O setor brasileiro de rochas ornamentais.** Brasília: ABIROCHAS, 2018. 34 p. Disponível em: https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/5665671/mod_resource/content/0/ABIROCHAS%20%282018%29%20Setor_de_Rochas_Ornamentais.pdf. Acesso em: 6 abr. 2021.
- DICIO. **Marmoraria.** 2021. Disponível em: <https://www.dicio.com.br/marmoraria/>. Acesso em: 21 jul. 2021.
- EMBRAPOL. **Processo para produção de massa plástica.** 2021. Disponível em: <http://www.embrapol.com.br/site/resina/resina-massaplastica.asp?id=2>. Acesso em: 24 jul. 2021.
- FERRAMENTAS KENNEDY. **Massa plástica: o que é e para que serve?** 2021. Disponível em: <https://www.ferramentaskennedy.com.br/blog/massa-plastica-o-que-e-e-para-que-serve>. Acesso em: 21 jul. 2021.
- FIGUEIREDO, J. M. (coord.). **Guia técnico: sector da pedra natural.** Lisboa: INETI, 2001. Disponível em: <https://docplayer.com.br/19105196-Guia-tecnico-sector-da-pedra-natural-lisboa.html>. Acesso em: 27 jul. 2021.
- FUNDACENTRO. **Manual de referência: marmorarias.** 2008. Disponível em: https://ftp.medicina.ufmg.br/osat/arquivos/manual2008_30092014.pdf. Acesso em: 6 abr. 2021.
- MENDOZA, J.-M. F. *et al.* **Environmental management**

of granite slab production from an industrial ecology standpoint. **Journal of Cleaner Production**, v. 84, p. 619-628, 2014. DOI: 10.1016/j.jclepro.2014.03.056. Disponível em: https://www.academia.edu/33091658/Environmental_management_of_granite_slab_production_from_an_industrial_ecology_standpoint. Acesso em: 27 jul. 2021.

MORAES, I. V. M. **Mármore e granito**: lavra, beneficiamento e tratamento de resíduos: dossiê técnico. Rio de Janeiro: Serviço Brasileiro de Respostas Técnicas, 2006. 26 p. Disponível em: <http://www.sbrt.ibict.br/dossie-tecnico/downloadsDT/MjE=>. Acesso em: 29 jun. 2021.

OLIVEIRA, L. S. **Reaproveitamento de resíduos de marmoraria em compósitos cimentícios**. 2015. 102

f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal de São João Del Rei, São João Del Rei, 2015. Disponível em: [https://ufsj.edu.br/portal-repositorio/File/ppmec/Liliane%20Souza%20de%20Oliveira\(\).pdf](https://ufsj.edu.br/portal-repositorio/File/ppmec/Liliane%20Souza%20de%20Oliveira().pdf). Acesso em: 29 jun. 2021.

SARDINHA, M.; BRITO, J.; RODRIGUES, R. Durability properties of structural concrete containing very fine aggregates of marble sludge. **Construction and Building Materials**, v. 119, p. 45-52, 2016. DOI:10.1016/j.conbuildmat.2016.05.071. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061816307966>. Acesso em: 27 jul. 2021.

SILAEX. **Cadeia química de poliéster insaturado**. 2018. Disponível em: <http://www.silaex.com.br/poli%C3%A9ster.htm>. Acesso em: 6 ago. 2021.

