

ADIÇÃO DE RESÍDUO DE MARMORARIA EM PASTAS CIMENTÍCIAS, AVALIAÇÃO DE SUAS PROPRIEDADES MECÂNICAS E CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA.

**WESLLEY SILVA COSTA ¹, RAFAEL HIDEAKI RUIVO YAMAMURA ¹, CLAUDIA
PETRONILHO RIBEIRO MORCELLI ¹, JOEL BARBUJANI SÍGOLO ¹**

RESUMO

Estão apresentados aqui resultados de testes com pastas cimentícias substituídas em valores de 25%, 50% e 75% da areia média por resíduo de marmoraria. O resíduo utilizado, composto de granito, gnaisse e granada-gnaisse, foi moído e uma mistura de 1:1:1 foi preparada para a realização dos ensaios. As amostras do resíduo foram caracterizadas por microscopia eletrônica de varredura (MEV), o resíduo moído apresentou partículas com morfologia irregular e formato angular, para os três tipos de rocha ornamental que compuseram a blenda. Os ensaios de resistência a compressão mostraram que houve melhora quanto a sua resistência no desempenho de 11 a 32% nos corpos de prova avaliados a 7, 14 e 28 dias.

ABSTRACT

This work presents the studies carried out into cement pasta with 25%, 50% and 75% substitution of the average sand by marble residue. The residue used, composed of granite, gneiss and granulated gneiss, was ground and a 1: 1: 1 mixture was prepared for the tests. The residue samples were characterized by scanning electron microscopy (SEM), the ground residue presented particles with irregular morphology and angular shape, for the three types of ornamental rock that composed the blender. The compressive strength tests showed that there was an average of 11 to 32% improvement in specimens tested performance at 7, 14 and 28 days of study.

INTRODUÇÃO

Para alcançar o desenvolvimento, e visando melhorar a qualidade de vida dos seres humanos nos últimos séculos, a humanidade vivenciou grandes transformações. Os avanços tecnológicos e desenvolvimento econômico trouxeram diversos benefícios e junto deles também uma série de problemas ambientais como a geração de resíduos, aumento do consumo dos recursos naturais e emissões de gases poluentes.

A construção civil representa importante setor industrial, proporcionando e sendo a base do crescimento de cidades, estados e países e gera milhões de empregos contribuindo com grande parte desses problemas. Porém, esta área também possui grande potencial para absorver resíduos industriais e urbanos, decorrente do fato de que a construção civil é responsável pelo consumo do maior volume de recursos naturais (BRASILEIRO & MATOS,2015).

São significativas as interferências das atividades da construção civil no meio ambiente, que decorrem das ações inerentes ao processo produtivo, incluindo tanto a obtenção dos insumos básicos, a produção dos componentes e elementos construtivos como a etapa de utilização do espaço construído, perante as condições impostas pelo usuário. Atualmente, buscam-se alternativas para minimizar esse problema de geração de resíduos nessa atividade por meio de estudos que consideram vários aspectos, como: reciclagem; redução de desperdícios e de energia; utilização de materiais provenientes de fontes renováveis; aproveitamento de resíduos; e especificação de materiais e componentes que demandem menor consumo energético em sua produção e emprego na construção. A indústria da construção civil pode ser considerada atualmente como a que possui maior potencial para absorver resíduos e subprodutos gerados por outros setores industriais. A reciclagem de resíduos na forma de materiais e componentes para a construção civil tem sido uma alternativa bem-sucedida em diversos casos. Essa medida gera para a sociedade uma série de benefícios, como a redução do volume de matérias-primas extraídas da natureza, a redução do consumo de energia na produção de materiais e a diminuição da emissão de resíduos poluentes ou não no meio ambiente (RODRIGUES & FERREIRA, 2005).

A reciclagem e a reutilização de resíduos provenientes da construção civil estão se tornando frequente, devido à preocupação com o meio ambiente. O setor da construção civil é o que mais gera resíduos sólidos, e sendo assim, torna-se um ponto de grande preocupação com o destino dos resíduos produzidos nessa atividade. A maioria dos resíduos são descartados em lugares proibidos, prejudicando o meio ambiente, meio social, e a economia.

A reciclagem e a reutilização de resíduos como materiais para a construção civil é uma ferramenta de fundamental importância para o controle e minimização dos problemas ambientais causados pela geração de resíduos em diferentes atividades industriais e na obtenção de materiais a baixo custo. As propriedades de certos resíduos permitem a aplicação destes como novos materiais para a construção civil, em substituição parcial ou total da matéria-prima (CRUZ et al.,2013).

A adequada destinação desses resíduos é um dos grandes desafios da humanidade. E, no caso do Brasil, o desafio é ainda maior, pois poucos são os casos de destinação final correta dos resíduos sólidos industriais e nesse caso especialmente na construção civil. Apesar disso, a maioria das legislações e regulamentações propostas para o gerenciamento de resíduos é caracterizada por uma definição geral de “resíduos sólidos” ou “resíduos perigosos” onde se usa critérios tais como a origem e a presença de substâncias ou compostos tóxicos e suas propriedades (LIMA& FERREIRA,2007).

Atualmente existem três rotas que têm sido utilizadas, ou pelo menos estudadas, nestes últimos anos com relação à problemática de resíduos sólidos industriais. A primeira rota utilizada tem sido o processamento e disposição dos resíduos em aterros. Porém essas operações apresentam custos cada vez maiores e em grandes centros urbanos o espaço vem se tornando cada vez mais exíguo e caro. Os locais para disposição de resíduos sólidos têm diminuído, seja pelo esgotamento de sua capacidade de armazenagem, seja pela dificuldade de obter permissão para implantação de novos aterros, ou pela pressão das comunidades locais. Dessa forma, uma segunda rota tem sido estudada – evitar a geração de resíduos sólidos e/ou minimizá-los no processo de origem. A terceira rota, a reciclagem externa, tem sido a melhor solução para reduzir os custos, e talvez até gerar algum retorno financeiro para a empresa quando transforma esse resíduo num

subproduto, ou seja, alguns resíduos sólidos industriais podem ser utilizados como matéria-prima para fabricação de materiais usados na construção civil (UDESC,2015).

Diversos trabalhos técnicos e científicos relatam na literatura a incorporação de diferentes tipos de resíduos na área de construção civil. A reciclagem e a reutilização de resíduos como materiais para a construção civil é uma ferramenta de fundamental importância para o controle e minimização dos problemas ambientais causados pela geração de resíduos em diferentes atividades industriais, e na obtenção de materiais a um baixo custo. As propriedades de certos resíduos permitem a aplicação destes como novos materiais para a construção civil, em substituição parcial ou total da matéria-prima (LUCAS & BENATTI, 2008).

Grande parte dos processos com atividade econômica, atualmente, são fontes geradoras de resíduos, na forma de gases, líquidos ou sólidos, causando grande degradação ambiental, não contribuindo para um desenvolvimento sustentável. A construção civil é o setor da atividade tecnológica que consome grande volume de recursos naturais e parece ser o mais indicado para absorver os resíduos sólidos (JACOBI & BESEN, 2011).

A produção de rochas ornamentais, na maioria das empresas brasileiras, é feita a partir da serragem, em chapas, de grandes blocos de rochas com características ornamentais, em equipamentos chamados teares. Na serragem, cerca de 25% a 30% do bloco são transformados em pó que é depositado nos pátios das empresas. No Brasil, a quantidade estimada da geração conjunta do resíduo de corte de mármore e granito é de 240000 toneladas/ano, distribuídas entre Espírito Santo, Bahia, Ceará, Paraíba, entre outros estados (GONÇALVES, 2000).

Com a grande quantidade de resíduo gerada e tentando contribuir para um maior desenvolvimento sustentável e um aproveitamento de resíduo na construção civil, alguns pesquisadores já estudam o resíduo resultante do beneficiamento de rochas ornamentais na produção de argamassas (CALMON et al., 1997), tijolos cerâmicos (NEVES et al., 1999) e concretos (GONÇALVES, 2000).

Neste trabalho serão apresentados os resultados obtidos na realização dos ensaios mecânicos, resistência a compressão, de pastas cimentícias com adição de resíduo de marmoraria. Os corpos de prova foram preparados nos laboratórios da

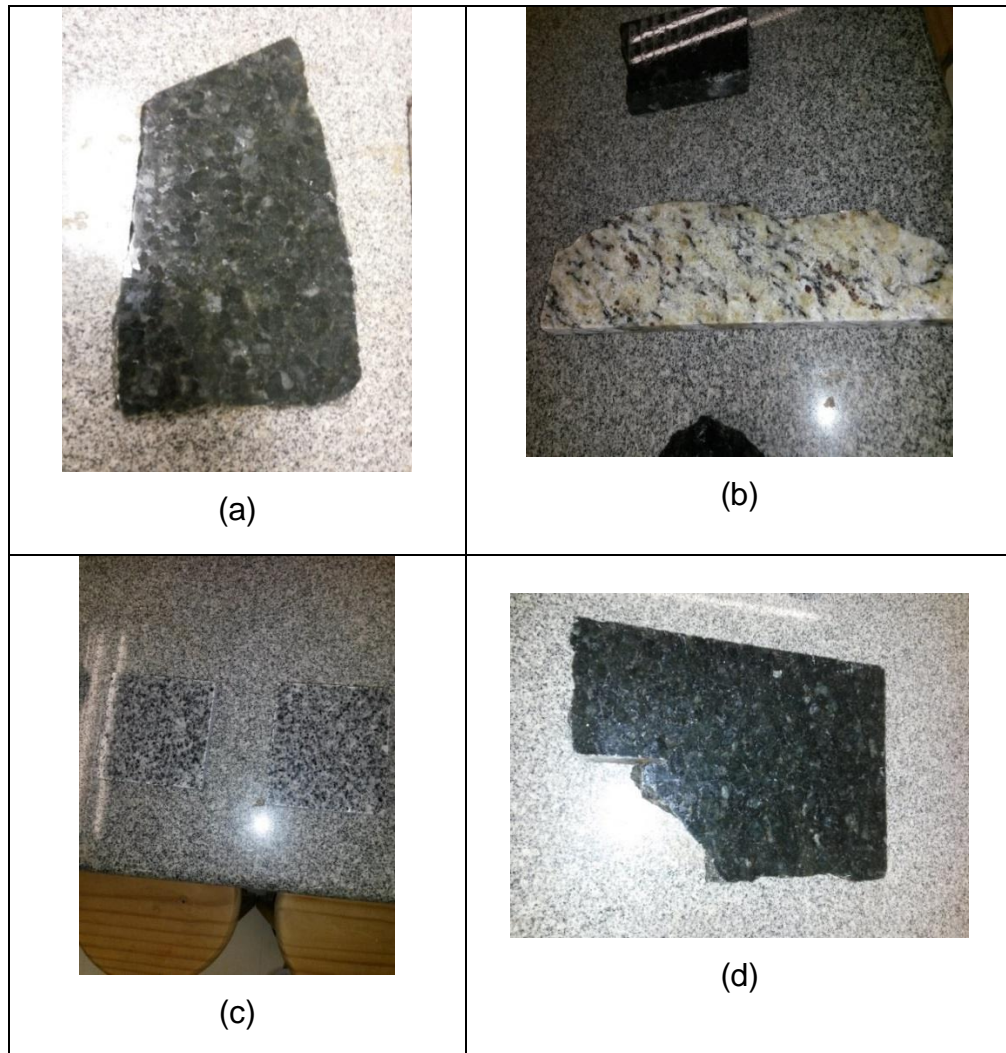
Engenharia Civil no Campus Villa Lobos da Universidade de Mogi das Cruzes e os ensaios de Microscopia Eletrônica de Varredura foram realizados no Núcleo de Física do IC de São Paulo. A relevância do trabalho está relacionada ao fato de que o material residual de corte nas marmorarias não são reutilizáveis sendo mais um resíduo sólido descartado no meio ambiente. Pensar em formas de sua reutilização na área de Construção Civil é uma medida que vai de encontro com o conceito de sustentabilidade.

MATERIAIS E MÉTODOS

Os procedimentos experimentais relacionados a este trabalho foram realizados no laboratório de Engenharia Civil da Universidade de Mogi das Cruzes - Campus Villa Lobos e nos laboratórios da ABCP (Associação Brasileira de Cimento Portland), os ensaios e os materiais utilizados seguiram os padrões exigidos pela ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas), NBR (Normas Brasileiras Revisadas) e da NM (Norma Mercosul).

O cimento empregado para os ensaios e produção das pastas cimentícias foi o CP- II E 25 composto com escória de alto forno.

Foram coletados três tipos de rochas ornamentais, granito, gnaisse, e gnaisse granada, recolhidos em uma marmoraria em São Roque, município do estado de São Paulo. Na Figura 1, abaixo são apresentadas as rochas que seriam descartadas.



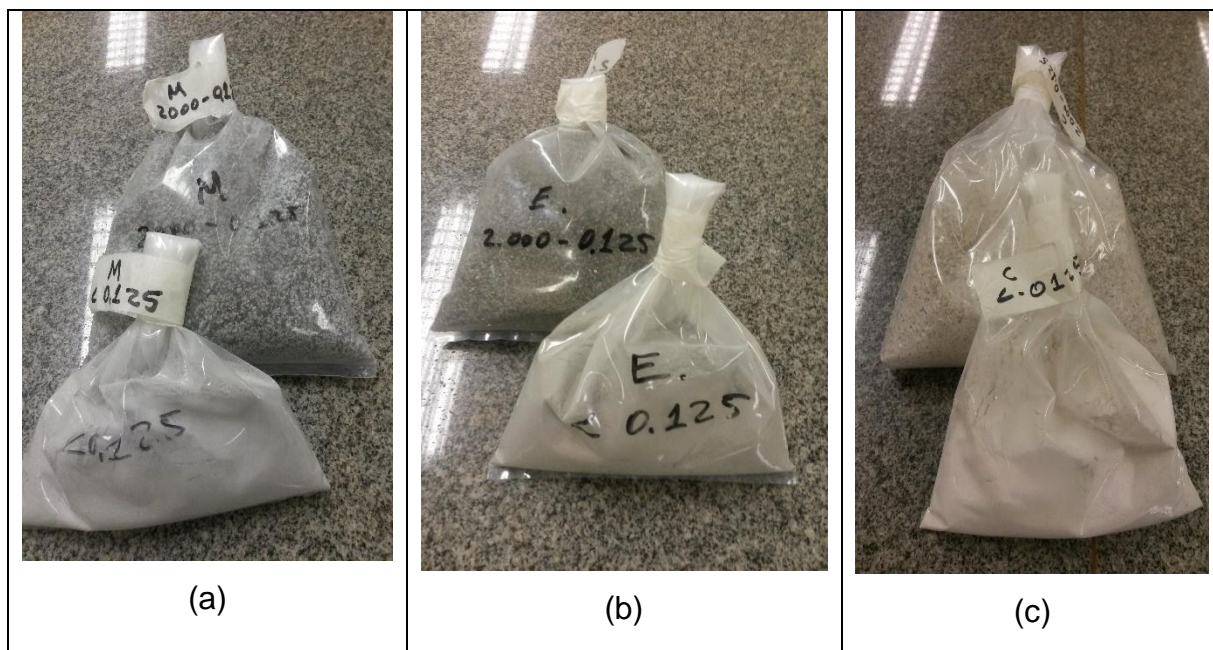
Fonte: Própria

Figura 1 – Rochas ornamentais obtidas em marmorarias e utilizadas nesse trabalho – (a) granito, (b) granada gnaiss, (c) gnaiss, (d) granito

Após a coleta, as amostras de rochas ornamentais foram lavadas e selecionadas para trituração em moinhos de bolas.

A trituração em moinho de bolas para obtenção das amostras na forma granulométrica utilizada foi realizada no instituto de Geociências da Universidade de São Paulo.

Após a trituração foram obtidas as seguintes frações granulométricas: 2,4 mm até 0,125 mm, e valores menores que 0,125 mm considerados como material pulverulento. Na Figura 2 a seguir é apresentado o material após a trituração.



Fonte: Própria

Figura 2 – Material separado em sacos plásticos de acordo com sua fração granulométrica. (a) gnaisse triturado, (b) granito triturado e (c) granada gnaisse triturado.

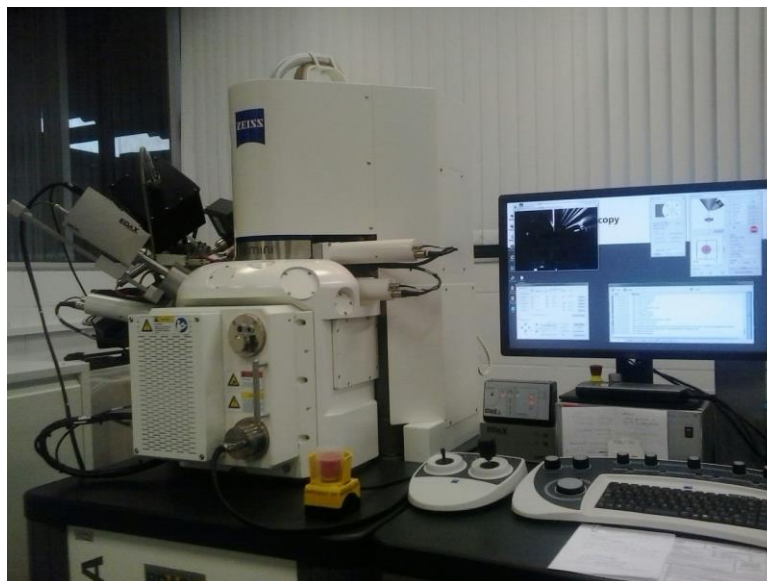
No presente trabalho foi utilizado a fração de 2,4 mm até 0,15 mm devido ser compatível com a granulometria da areia comercial utilizada, que de acordo com os ensaios realizados foi classificada como areia média.

Em seguida a trituração, os resíduos foram separados e levados para análise de microscopia eletrônica por varredura (MEV).

As análises analisadas por MEV tiveram por objetivo a identificação da morfologia dos minerais, como o tamanho, distribuição dos grãos, forma das partículas e identificação dos componentes químicos presente com a realização por análise química.

O equipamento utilizado para análise foi o MEV FEG/FIB marca Zeiss modelo Auriga com coluna gemini e com detector Edax com área ativa de 10 mm² para a realização de microanálise por raio X.

Na Figura 3 a seguir é apresentado o equipamento utilizado para a realização das análises de MEV.



Fonte: Própria

Figura 3 - Equipamento MEV FEG/FIB

Após a trituração dos resíduos e análise por microscopia eletrônica de varredura, as amostras trituradas foram misturadas e realizada a análise granulométrica junto com a areia média, conforme ABNT NBR NM 248:2003 Agregados – Determinação da composição granulométrica. Para esse ensaio executou-se a limpeza das peneiras com uma escova de aço, em seguida colocou-se a areia e a amostra do resíduo na estufa a 105°C por 24 horas para secar.

Após secagem, realizou-se a homogeneização e redução da amostra (quarteamento) conforme a ABNT NBR NM 27:2001 Agregado – Redução da amostra de campo para ensaios de laboratório. Deste procedimento resultaram duas amostras (m_1 e m_2) para ensaio com massa mínima estabelecidas na norma e sendo pesadas as mesmas.

Encaixou-se as peneiras de modo a formar um único conjunto com abertura de malha na ordem crescente da base ao topo. Depositou-se cada amostra nos conjuntos de peneiras e colocou-as no agitador mecânico à uma vibração de 10Hz durante 5 minutos. Logo em seguida pesou-se a massa da areia retida em cada peneira, sendo assim, possível o conhecimento da curva granulométrica, diâmetro máximo e módulo de finura do agregado miúdo.

Após a análise granulométrica, foi definido o traço a ser seguido para o amassamento da argamassa, o traço é conforme os dados da ABNT NBR 7215:1996 Cimento Portland – Determinação da resistência à compressão.

Com o traço definido, realizou-se o amassamento de argamassa para moldagem dos corpos de prova para o ensaio de resistência a compressão axial, conforme ABNT NBR 7215:1996 Cimento Portland – Determinação da resistência à compressão. Sendo assim moldados com areia média, e com valores de substituição da areia pelo resíduo triturado, estabelecidos em 25%, 50% e 75%. Logo depois, as moldagens foram colocadas na câmara úmida, após 24 horas desmoldados e colocados em solução de água saturada de cal e levados novamente para câmara úmida onde só foram retirados na data de rompimento estabelecidos.

Os testes de resistência à compressão foram realizados de acordo com a norma ABNT NBR 7215:1996 Cimento Portland – Determinação da resistência à compressão. Os corpos de prova foram rompidos com 7, 14, 21, 28 dias de cura, todos os corpos de prova foram capeados com enxofre para melhor nivelamento de suas bases.

ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Os resultados obtidos nos ensaios realizados são apresentados a seguir.

GRANULOMETRIA

A análise granulométrica consiste na determinação das dimensões das partículas que constituem as amostras (presumivelmente representativas dos sedimentos) e no tratamento estatístico dessa informação. Basicamente, o que é necessário fazer, é determinar as dimensões das partículas individuais e estudar a sua distribuição, quer pelo peso de cada classe dimensional considerada, quer pelo seu volume, quer ainda pelo número de partículas integradas em cada classe (DIAS, 2004).

O resultado do ensaio granulométrico abaixo mostra a curva granulométrica dos agregados miúdos utilizados no amassamento da argamassa, e podem ser observados no Gráfico 1, cujos valores se encontram no Anexo 1.

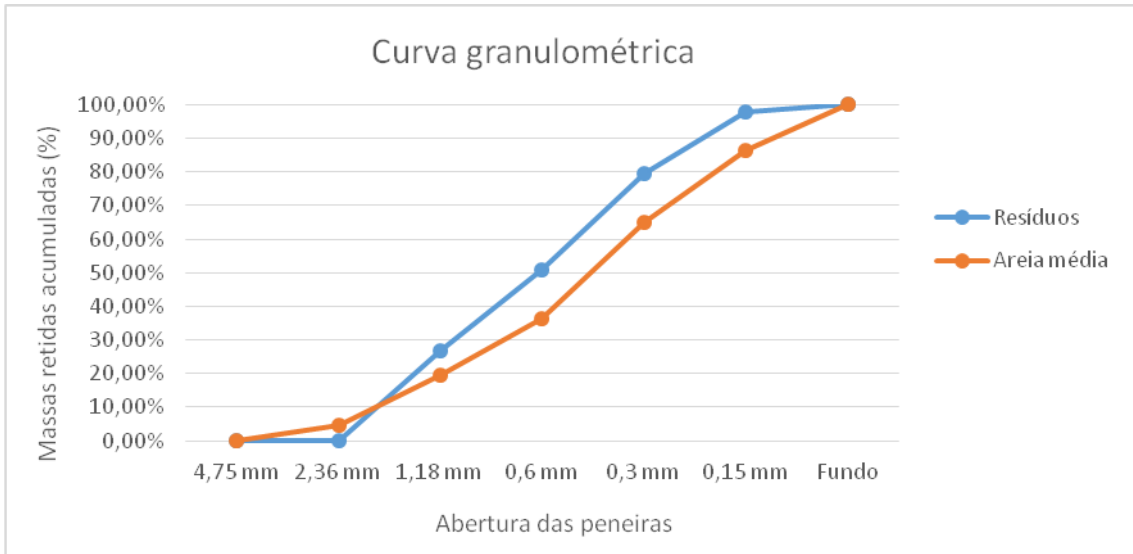
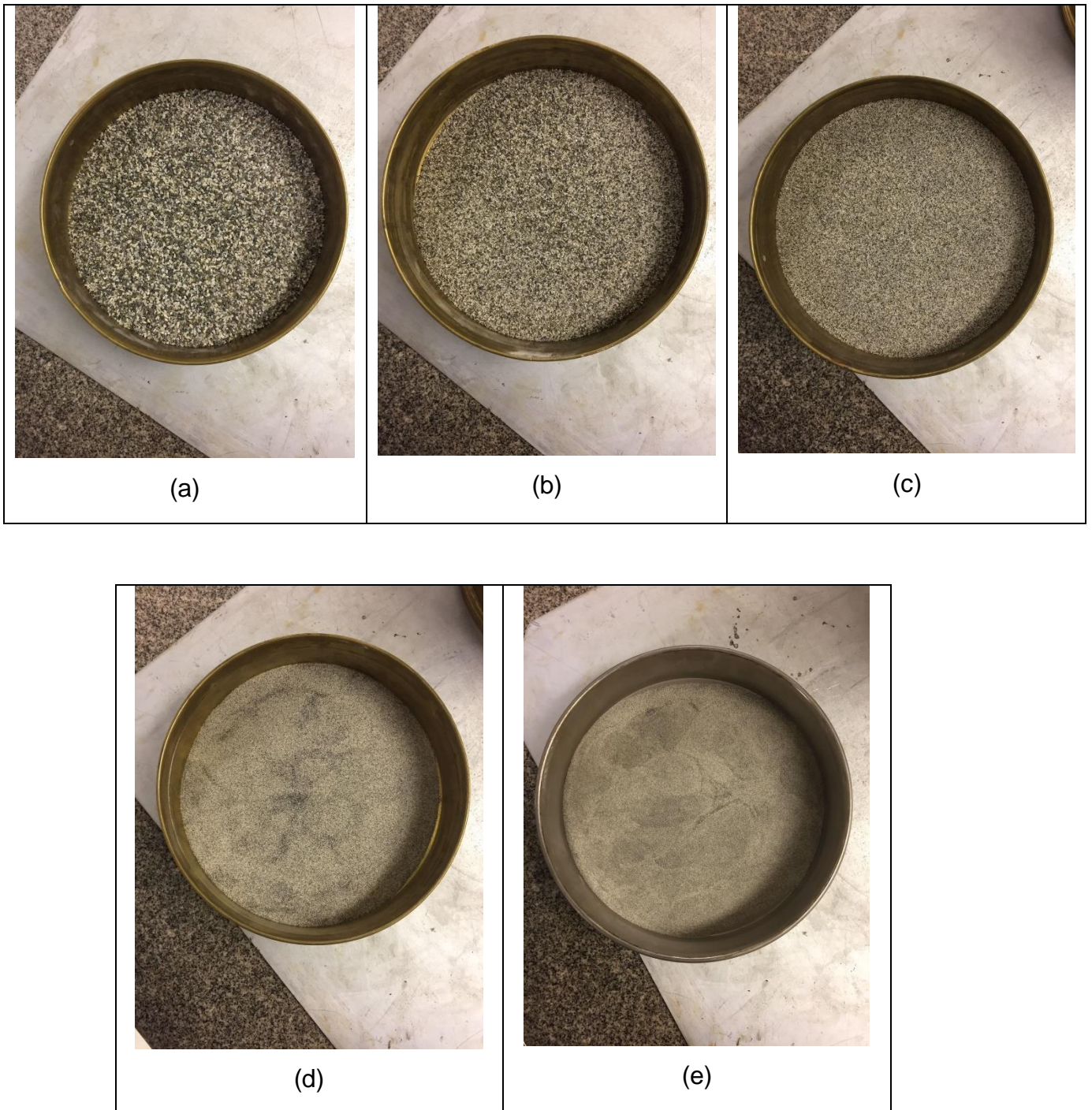


Gráfico 1 – Curva de granulometria.

A curva granulométrica acima apresenta a distribuição dos tamanhos dos grãos, onde há diferenças nas duas curvas, mas com uma curva contínua graduada. O tamanho dos grãos é de extrema importância, pois essa é que vai preencher os espaços na argamassa, e com uma distribuição contínua graduada, melhor será o preenchimento para eliminar vazios, facilitando assim melhor desempenho na resistência à compressão.

Os resultados do ensaio de granulometria mostraram que o resíduo tem um diâmetro máximo de 2,36 mm e módulo de finura de 2,55, a areia média apresenta um diâmetro máximo de 2,36 mm e módulo de finura de 2,12.

Na Figura 4 a seguir apresenta-se as peneiras e fundo após ter ficado no agitador mecânico durante o ensaio.



Fonte: Própria

Figura 4 – Conjunto de peneiras para a realização do ensaio de granulometria, (a) peneira 1,18 mm, (b) peneira 0,6 mm, (c) peneira 0,3 mm, (d) peneira 0,15 mm e (e) fundo.

ANÁLISE QUÍMICA E RESULTADOS DE ANÁLISE POR MEV

As micrografias obtidas por MEV do resíduo moído em diferentes granulometrias podem ser observadas nas Figuras 5, 6 e 7, a seguir. Na legenda das Figuras está indicada a escala calibrada, 100µm, e o aumento obtido de 100 vezes.

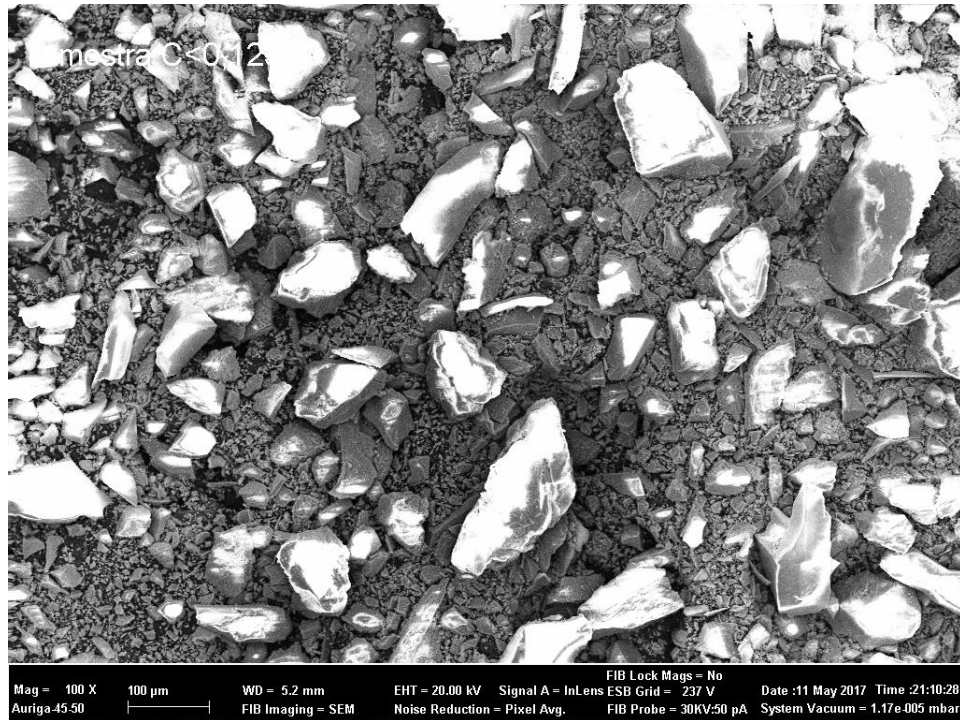


Figura 5 – Micrografias de MEV do granada gnaisse.

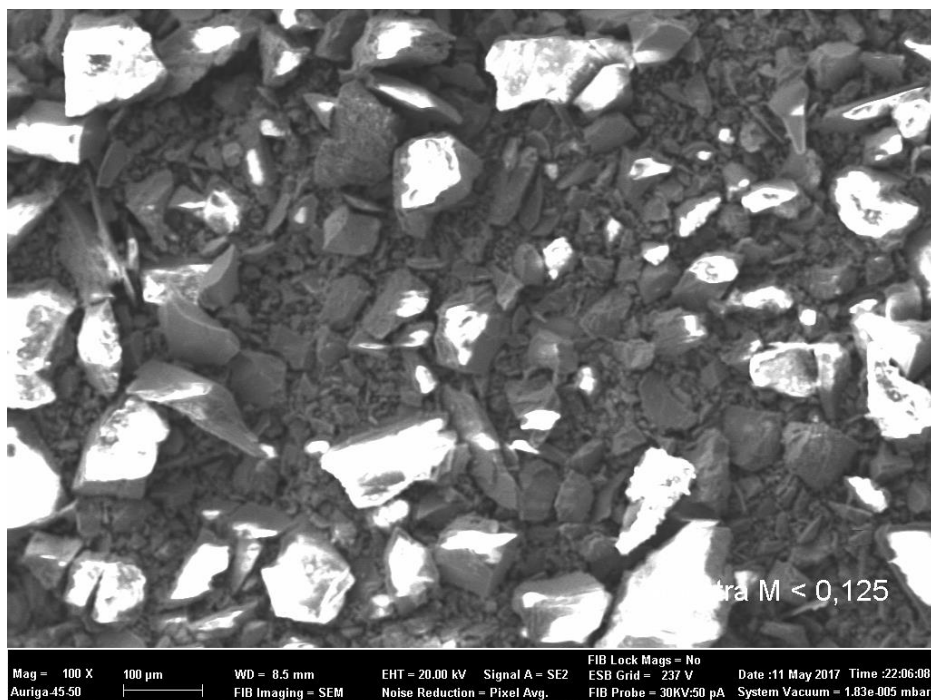


Figura 6 – Micrografias de MEV do gnaisse.

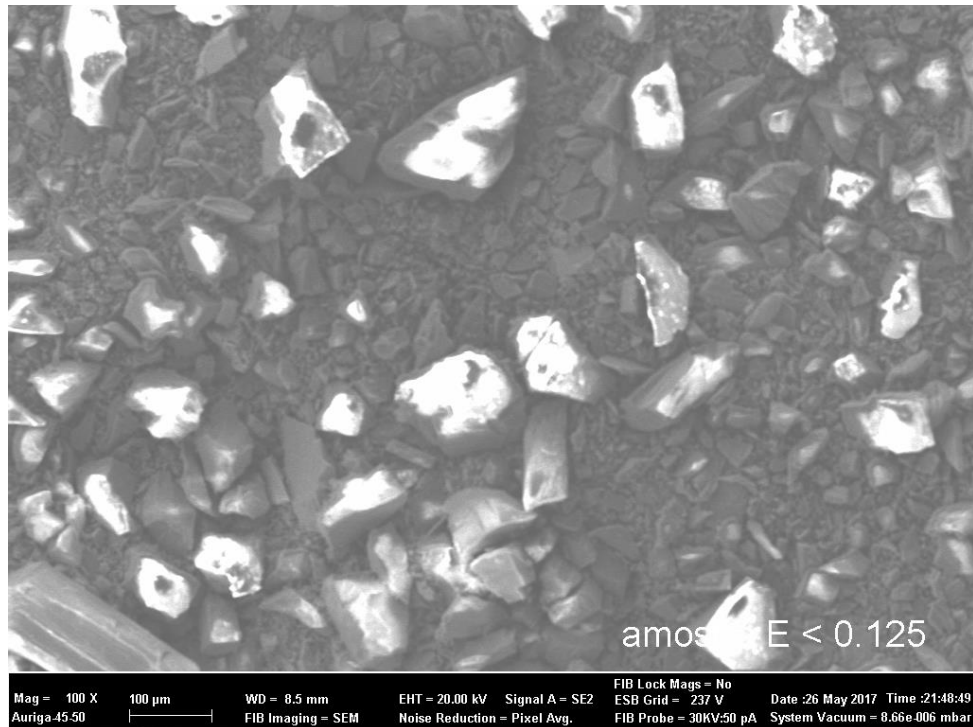


Figura 7 – Micrografias de MEV do granito.

O resíduo moído apresentou partículas com morfologia irregular e formato angular, para os três tipos de rocha ornamental que compuseram o material a ser testado nesse trabalho. Na Tabela I é possível observar os valores encontrados na caracterização química dos resíduos analisados.

Tabela I – Porcentagem atômica

Elemento	Granito	Gnaisse	Granada Gnaisse
	wt%	wt%	wt%
O	23	30	31
Na	3	x	5
Mg	x	7	x
Al	14	9	11
Si	41	25	30
Cl	x	0,5	x
K	6	9	3
Ca	7	x	3
Ti	x	2	x
Fe	5	15	18

RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AXIAL

No gráfico 2, são apresentados os resultados do ensaio de resistência à compressão axial da argamassa com areia média e com substituições da areia pelo resíduo triturado em porcentagens de 25%, 50% e 75%.

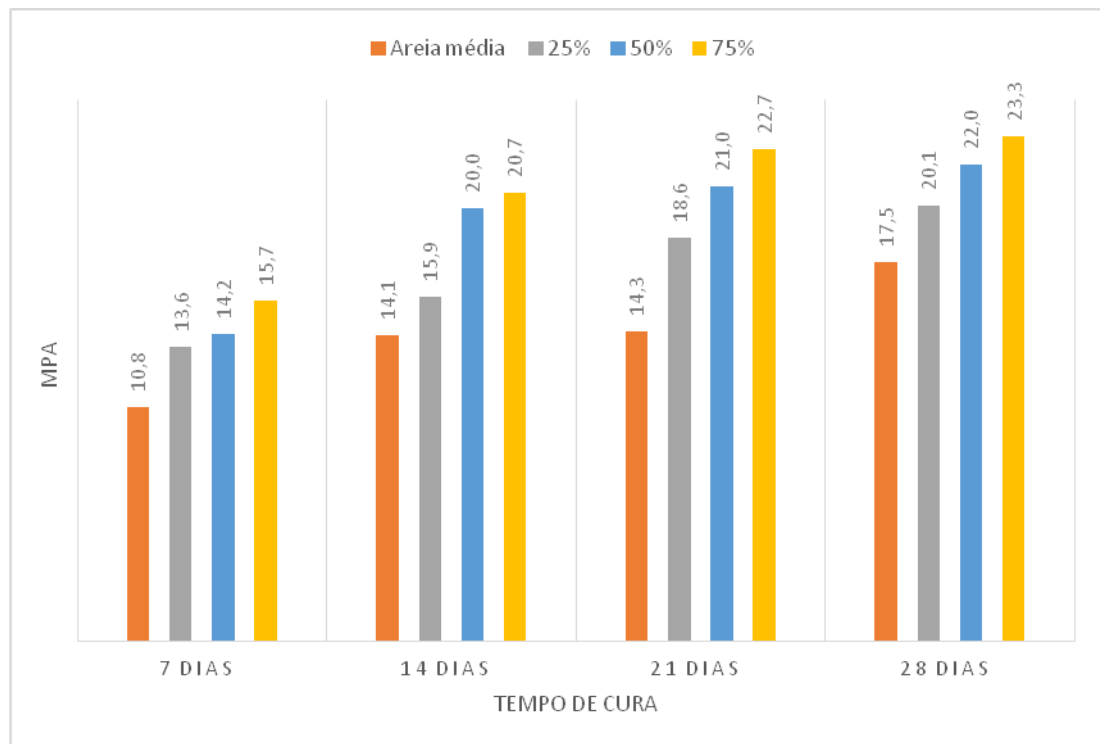


Gráfico 2 – Resistência a compressão axial.

Os resultados apresentados no gráfico 2 mostram que a argamassa com 25%, 50% e 75% de substituição da areia média pelo resíduo obtiveram maiores valores de resistência à compressão do que a argamassa somente com areia média. Este resultado permite concluir que seria viável a utilização do resíduo preparado de forma sustentável. O acréscimo da resistência a compressão observado para a substituição de 25%, 50% e 75% do resíduo foi, respectivamente, de 11%, 25% e 32% aos 28 dias de cura em relação a argamassa somente com areia média.

MOURA *et al.* (2002) estudaram o desempenho da incorporação de resíduo de corte de mármore e granito resultante do processo de serragem de blocos dessas rochas. Fizeram a substituição deste material pelo agregado miúdo em argamassas de revestimento e produção de lajotas pré-moldadas para piso. Com base nos resultados de resistência à compressão de argamassa concluíram que o resíduo de

corde de mármore e granito, com substituição de até 10% aumentaram os valores de resistência em 22% a 7 dias e cura e 3% a 28 dias de cura.

RIBEIRO *et al.* (2015) estudaram a adição de diferentes porcentagens de areia reciclada em substituição a areia comum em argamassa, avaliando seu desempenho através de ensaios químicos e mecânicos, também foram realizados ensaios com adição de aditivo plastificante e superplastificante. Concluíram que uma substituição de 15% de areia reciclada com o uso de 0,6% de aditivo plastificante ou superplastificante resultaram nos maiores valores de resistência à compressão e a substituição de 15% de areia reciclada sem aditivo também apresentaram valores superiores de resistência.

Uma possível explicação para a maior resistência observada nos ensaios onde foi feita a substituição de parte da areia pode estar relacionada ao tamanho dos grãos do material incorporado, cuja dimensões dos grãos são mais variáveis do que o da areia comum, o que acaba minimizando a quantidade de vazios na mistura dos agregados (COUTINHO, 1999).

Na tabela 1, o resultado da caracterização química por MEV das rochas ornamentais, mostra um alto teor de silício, em peso, para o granito, a gnaiss e a gnaiss granada, respectivamente 41, 25 e 30%. Em termos dos elementos presentes na amostra do resíduo os maiores valores são de silício, seguidos por ferro e alumínio. A areia natural apresenta alto teor de sílica (SiO_2), acima de 90%, seguida de óxido de ferro e de óxido de alumínio (SOUZA *et al.*, 2014).

O granito é uma rocha plutônica ácida, com aproximadamente 75% de sílica; cristais de 1 a 5 mm, ou maiores; de cor cinza. Sua taxa de ruptura sob compressão é de aproximadamente 90 Mpa (SANTOS *et al.*, 2012).

A similaridade na composição química observada nos dois materiais também ajuda a entender o bom desempenho no caso da adição do resíduo em estudo.

Resíduos de marmoraria são considerados agregados de boa qualidade por possuírem alta resistência, baixa porosidade, baixa absorção de água e não reagirem com álcali (SANTOS *et al.*,2012).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

No presente trabalho conclui-se que a substituição de 25%, 50% e 75% da areia média pelo resíduo promoveu o aumento da resistência à compressão, sendo assim, é possível concluir que a utilização do resíduo promove redução dos custos sem comprometer a qualidade do material produzido. Para que haja a possibilidade de utilização do resíduo de marmoraria de forma comercial é necessário que o resíduo de corte, antes de sua utilização, seja estudados de forma complexa realizando-se ensaios que o caracterizem de forma física, química, mineral e ambiental. Os ensaios realizados indicam que há a possibilidade de sua utilização por permitir melhora dos resultados em ensaios de resistência mecânica. Há a necessidade de triturar o material, e no mercado existem britadores desenvolvidos especialmente para triturar os resíduos de marmorarias, o que viabilizaria seu uso de forma comercial.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRASILEIRO, L.L., MATOS, J.M.E. **Revisão bibliográfica: reutilização de resíduos da construção e demolição na indústria da construção civil**, Cerâmica 61 (2015) 178-189

CALMON, J.L. TRISTÃO, F.A., LORDÊLLO, F.S.S., SILVA, S.A. Aproveitamento do resíduo de corte de granito para a produção de argamassas de assentamento, In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 2., 1997, Salvador. **Anais...** Salvador, BA: ANTAC, 1997. p. 64-75.

CASAREK, H. **Materiais de construção civil e Princípios da Ciência e Engenharia dos Materiais**. Ed. G.C. Isaia. 2ed. São Paulo. IBRACON, 2010, 2v.

cimento e aditivo redutor de água, **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 9, n. 1, p. 45-56, jan./mar. 2009.

COUTINHO, J. S de; **Materiais de construção 1 - Agregados para argamassas e betões**, p. 3-4, 1999. Retirado de: <http://paginas.fe.up.pt/~jcouti/agregpart1.pdf>. Acesso em 12 de Ago. de 2017.

DIAS, ALVERINHO., **A análise sedimentar e o conhecimento dos sistemas marinhos**, disponível em, http://w3.ualg.pt/~jldias/JAD/ebooks/Sedim/SedimB_AG.pdf, 2017.

GONÇALVES, J. P. **Utilização do resíduo de corte de granito (RCG) para a produção de concretos**. 2000. 134f. Dissertação (Mestrado) – NORIE/UFRGS, Porto Alegre.

JACOBI, P.R., BESEN, G.R., **Gestão de resíduos sólidos em São Paulo: desafios da sustentabilidade**, Estudos Avançados 25 (71), 2011

JOHN, V. M., **Reciclagem de resíduos sólidos na construção civil: Contribuição à Metodologia de Pesquisa e Desenvolvimento**. 200. 102f Tese (Livre Docência) – EPUSP, São Paulo.

LA SERNA, H.A.; REZENDE, M.M., DNPM (Departamento Nacional de Produção Mineral): **Agregados para a Construção Civil**, Brasília, DF, 2009.

LUCAS, D., BENATTI, C.T. **Utilização de resíduos industriais para a produção de artefatos cimentícios e argilosos empregados na construção civil**, *Revista em Agronegócios e Meio Ambiente*, v. 1, n.3, p. 405-418, set./dez., 2008

MOURA, W.A., GONÇALVES, J.P., LEITE, R.S., Utilização do resíduo de corte de mármore e granito em argamassas de revestimento e confecção de lajotas para piso. *Sitientibus*, Feira de Santana, n.26, p.46-61, jan./jun.2002.

RIBEIRO, L.F., MORAIS, D., MORCELLI, C.P.R.M., Avaliação da adição de diferentes aditivos plastificantes e areia reciclada em pastas cimentícias, XVIII congresso de Iniciação Científica da Universidade Mogi das Cruzes, 2015.

SANTOS, R.A., LIRA, B.B., RIBEIRO, A.C.M., **Argamassa com substituição de agregado natural por resíduo de britagem de granito**, *Rev. Elet. em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental*, v(8), nº 8, p. 1818-1828, SET-DEZ, 2012,

disponível em: <https://periodicos.ufsm.br/reget/article/viewFile/7238/pdf>, acesso em 05/11/2018.

SOUZA, M.T., CESCNETO, F.R., ARCARO, S., PEREIRA, F.R., OLIVEIRA, A.P.N, **Caracterização de areias de quartzo do estado de Mato Grosso do Sul para aplicações industriais**, Cerâmica 60 (2014) 569-574, disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/ce/v60n356/v60n356a16.pdf>, acesso em 05/11/2018.

UDESC, **Resíduos Sólidos Industriais Utilizados em Argamassas/Concretos**, disponível em, http://www.tede.udesc.br/tde_busca/arquivo.php?codArquivo=239, 2015.