

CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE MATERIAIS
CURSO DE ENGENHARIA DE MATERIAIS

ANDRÉ LOPES CARVALHAIS

AVALIAÇÃO DA PRODUÇÃO DE ROCHAS ARTIFICIAIS UTILIZANDO COMO
CARGA MINERAL REJEITO DE MINÉRIO DE FERRO

BELO HORIZONTE

2018

AVALIAÇÃO DA PRODUÇÃO DE ROCHAS ARTIFICIAIS UTILIZANDO COMO
CARGA MINERAL REJEITO DE MINÉRIO DE FERRO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
no Curso de Graduação em Engenharia de
Materiais do Centro Federal de Educação
Tecnológica de Minas Gerais como requisito
parcial para obtenção do título de Bacharel em
Engenharia de Materiais

Orientador: Dr. Paulo Renato Perdigão de Paiva

Belo Horizonte

2018

ANDRÉ LOPES CARVALHAIS

AVALIAÇÃO DA PRODUÇÃO DE ROCHAS ARTIFICIAIS UTILIZANDO COMO
CARGA MINERAL REJEITO DE MINÉRIO DE FERRO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
no Curso de Graduação em Engenharia de
Materiais do Centro Federal de Educação
Tecnológica de Minas Gerais como requisito
parcial para obtenção do título de Bacharel em
Engenharia de Materiais

Aprovado em 28/06/2018

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Paulo Renato Perdigão de Paiva

Prof. Dr. Marcello Rosa Dumont

Prof. Dr. Claudinei Rezende Calado

RESUMO

Presente trabalho visa o reaproveita rejeito de barragem de mineração de ferro na forma de pedra ornamental sintética, para aplicação como revestimento na construção civil. A forma mais barata de dispor rejeito de minério de ferro e na forma de barragens, o que gera inúmeros impactos ambientais e sociais. Podendo causar tragédias de repercussão mundial, como caso do rompimento da barragem de Fundão, no distrito de Bento Rodrigues na cidade de Mariana/MG. O rejeito utilizado na formulação das pedras ornamentais e proveniente da barragem de Fundão e por isso foi submetido a caracterização química, mineralógica e morfológica. Para análise das propriedades mecânicas e física do material proposto, corpos de prova foram produzidos com diferentes faixas granulométricas. Os resultados demostram que na maior faixa granulométrica (GG) é encontrado os menores valores de porosidade aparente ($17 \% \pm 5 \%$) e a absorção de água ($8 \% \pm 2 \%$), enquanto na faixa granulométrica menor (GF) é encontrado os maiores resultados de tensões de ruptura. Também pode ser observado valores muito próximos entre os resultados encontrados nos corpos de prova feitos com grãos finos (GF) e a mistura de grãos (MG), com variação aproximada de 1 %, para porosidade aparente e absorção de água, e 3 % para tensão de ruptura.

Palavras-chave: Rejeito de Minério de Ferro. Pedra Sintética. Caracterização Mineralógica e Química. Influência da Granulometria nas Propriedades Físicas.

ABSTRACT

This work aims at the reuse of iron ore dam in the form of synthetic ornamental stone, for application as a coating in civil construction. The cheapest way to dispose of iron ore waste and in the form of dams, which generates numerous environmental and social impacts. It may cause worldwide repercussions, such as the rupture of the Fundão dam, in the district of Bento Rodrigues in the city of Mariana / MG. The reject used in the formulation of ornamental stones and coming from the Fundão dam and for that reason was submitted to chemical, mineralogical and morphological characterization. For the analysis of the mechanical and physical properties of the proposed material, test specimens were produced with different grain sizes. The results showed that the lowest grain size ($17 \% \pm 5 \%$) and water absorption ($8 \% \pm 2 \%$) were found in the largest grain size range (GG). results of rupture stresses. It is also possible to observe very close values between the results found in the specimens made with fine grains (GF) and the grain mix (MG), with a variation of approximately 1 %, for apparent porosity and water absorption, and 3 % for rupture stress.

Keywords: Iron Ore Rejection. Synthetic Stone. Mineralogical and Chemical Characterization. Influence of Granulometry on Physical Properties

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - FLUXOGRAMA DE BENEFICIAMENTO DE MINA	14
FIGURA 2 - PARTICIPAÇÃO DAS PRINCIPAIS SUBSTÂNCIAS METÁLICAS NO VALOR DA PRODUÇÃO MINERAL BRASILEIRA COMERCIALIZADA EM 2015.	15
FIGURA 3 - PRINCIPAIS DESTINOS DE REJEITOS DENTRO DA MINERAÇÃO NO ESTADO DE MINAS GERAIS.....	18
FIGURA 4 – POLIÉSTER ORTOFTÁLICO	24
FIGURA 5 - FLUXOGRAMA EXPERIMENTAL.	26
FIGURA 6 - MASSA CERÂMICA OBTIDA ATRAVÉS DA MISTURA DO REJEITO E DA RESINA POLIÉSTER.	29
FIGURA 7 - PARTES DESCARTADAS (PRETO) E PARTES APROVEITAS (BRANCO) DA PLACA.....	30
FIGURA 8 - DIFRATOGRAMA DO REJEITO DE GRANULOMETRIA FINA (GF).	34
FIGURA 9 - DIFRATOGRAMA DO REJEITO DE GRANULOMETRIA GROSSA (GG).....	34
FIGURA 10 - DIFRATOGRAMA DA MISTURA DE REJEITO DE GRANULOMETRIA GROSSA E FINA (MG).....	35
FIGURA 11 -MORFOLOGIA DOS REJEITOS DE GRANULOMETRIA A) GROSSA (GG) E B) FINA (GF).	36
FIGURA 12 - EXEMPLO DE UM CORPO DE PROVA.	37
FIGURA 13 - VALORES MÉDIOS DE TENSÃO DE RUPTURA POR GRANULOMETRIA.....	40
FIGURA 14 – MICROGRAFIA DA FACE FRATURADA DAS AMOSTRAS DE A) GRÃOS GROSSOS (GG), B) FINOS (GF) E C) MISTURA (MG).	41
FIGURA 15 – MICROGRAFIA DA FACE FRATURADA DAS AMOSTRAS DE A) GRÃOS GROSSOS (GG), B) FINOS (GF) E C) MISTURA (MG).	41
FIGURA 16 - MICROGRAFIA DAS AMOSTRAS DE A) FACE FRATURADA B) FACE CORTADA DA MISTURA DE GRÃOS (MG).	42

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS RESINA CRISTAL R910.....	28
TABELA 2 - RESULTADO SEMIQUANTITATIVO DE FRX DO REJEITO POR DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA.	33
TABELA 3 - RESULTADOS DOS ÍNDICES FÍSICOS OBTIDOS DOS CORPOS DE PROVA DE GRÃOS GROSSO (GG).	38
TABELA 4 - RESULTADOS DOS ÍNDICES FÍSICOS OBTIDOS DOS CORPOS DE PROVA DE GRÃOS FINOS (GF).	38
TABELA 5 - RESULTADOS DOS ÍNDICES FÍSICOS OBTIDOS DOS CORPOS DE PROVA DA MISTURA DE GRÃOS (MG).	38
TABELA 6 - DIMENSÕES MÉDIA DOS CORPOS DE PROVAS	39

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	10
2. OBJETIVOS.....	12
2.1. Objetivos Gerais.....	12
2.2. Objetivos Específicos.....	12
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	13
3.1. Processo Produtivo.....	13
3.2. Mercado de Minério de Ferro	15
3.3. Classificações de Resíduos	16
3.4. Barragem de Rejeito	17
3.5. Avaliação dos Rejeitos de Minério de Ferro Descartados em Barragens	20
3.6. Reaproveitamento de Rejeitos de Mineração de Ferro	21
3.7. Rochas Sintéticas	22
3.8. Mercado de Rochas Ornamentais	23
3.9. Resina poliéster	23
3.10 . Técnicas de Caracterização.....	24
4. MATERIAIS E MÉTODOS	26
4.1. Amostras	26
4.2. Caracterização do Rejeito	27
4.2.1. Microscopia eletrônica de varredura (MEV).....	27
4.2.2. Difração de raios X (DRX).....	27
4.2.3. Fluorescência de raios X (FRX)	27
4.3. Formulação dos corpos de prova	27
4.4. Determinação das Propriedades Físicas dos Corpos de Prova.....	30
4.4.1. Índices físicos	30
4.4.2. Ensaio de flexão.....	31
5. RESULTADO E DISCUSSÕES.....	33
5.1. Propriedades Químicas, Mineralógicas e Morfológicas	33
5.1.1. Fluorescência de raios X (FRX)	33
5.1.2. Difração de raios X (DRX).....	33
5.1.3. Microscopia eletrônica de varredura (MEV).....	36
5.2. Corpos de Prova.....	37
5.3. Propriedades Físicas dos Corpos de Prova	37

5.3.1.	Índices físicos	37
5.3.2.	Ensaio de Flexão.....	39
5.3.3.	Microscopia eletrônica de varredura (MEV).....	40
6.	CONCLUSÕES.....	43
7.	SUGESTÕES DE NOVOS TRABALHOS	44
8.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	45

1. INTRODUÇÃO

O ferro é extraído da natureza na forma de mineiro de ferro. Esse minério é composto por vários elementos químicos que afetam o seu teor, assim para obter um concentrado com alto teor de ferro é necessário submeter o mineiro a uma série de processos de beneficiamento. O processo de beneficiamento consiste de operações unitárias, tais como: britagem primária e secundária, moagem, separação magnética, flotação e peneiramento, geralmente esses processos são realizados a úmido gerando uma grande quantidade de lama (rejeitos) que geralmente são descartados em barragens (TOLENTINO, 2010).

Sabe-se também que com aumento da demanda por ferro no mercado mundial e os avanços das tecnologias de mineração, rochas antes classificadas como inviáveis para obtenção de ferro, hoje podem ser beneficiadas. O que implica em um aumento no volume de rejeitos gerados e no tamanho das barragens de contenção (WOLFF, 2009).

Por ter um baixo custo, as barragens de rejeitos é o procedimento mais utilizado pelas mineradoras para o seu descarte, vale ressaltar que, os tipos de barragem utilizada dependem do tipo de rejeitos. Na forma de lamas, cujo tamanho de partículas se assemelha à das argilas, geralmente são colocados em barragens convencionais construídas com solo argiloso. Esse tipo de barragem pode causar contaminação dos lençóis freáticos, além de agressões à fauna e flora local (MENEZES et al., 2002).

Um dos maiores riscos envolvendo Barragens de rejeitos, é o rompimento, que além dos impactos ambientais gera riscos a toda sociedade. Como exemplo, pode-se citar o do acidente envolvendo a barragem de rejeitos de minério de ferro da Mineradora Samarco, em Mariana-MG, onde mais de 62 milhões de metros cúbicos de lama de rejeito de minério vazaram, causando um impacto socioeconômico de mais de R\$1,212 bilhões, afetando 35 cidades mineiras e 4 capixabas. Pesquisadores afirmam que os solos de toda região não estão mais aptos para o desenvolvimento da agropecuária, uma vez que a lama depositada não tem nutrientes para o plantio (UOL, 2015; O GLOBO, 2015 e IBAMA, 2016).

Devido ao aumento crescente na demanda de ferro, soluções alternativas de reciclagem e reaproveitamento, que agregue valor comercial, estão sendo avaliadas (ARISTIMUNHO et al., 2012). Entretanto é necessário, inicialmente, realizar uma caracterização química e mineralógica, para que se obtenham informações suficientes para o desenvolvimento de uma rota de reaproveitamento.

Dentro desse contexto, este trabalho visa à reutilização do rejeito proveniente do beneficiamento de minério de ferro na produção de rochas artificiais (sintéticas) para aplicação na construção civil como revestimento. A produção dessas rochas é uma possibilidade de se introduzir no mercado um produto com características desejáveis como coloração natural exuberante, elevada resistência mecânica, fácil manejo, facilidade de aplicação e baixo custo de manutenção.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivos Gerais

Avaliar a utilização de rejeitos provenientes do beneficiamento do minério de ferro e depositados em barragens como carga mineral na produção de rochas artificiais, para aplicação na construção civil como revestimento.

2.2. Objetivos Específicos

1. Caracterizar o rejeito;
2. Produzir a rocha artificial com o rejeito e resina poliéster;
3. Avaliar a influência da granulométrica do rejeito nas propriedades mecânicas e físicas da rocha artificial.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. Processo Produtivo

O processo de mineração consiste, basicamente, em encontrar a jazida, retirar o material útil, quebrá-los em pedaços de tamanho comercial e transportá-lo até o cliente. O mesmo seria mais fácil, se o material em questão não fosse extraído de rochas com milhares de toneladas de peso, misturadas com mais diversos compostos químicos (ARAÚJO, 2016)

De acordo com Trevizan (2013), o principal foco da lavra é o teor do mineral de interesse, e mesmo assim muitas vezes o material lavrado não possui o teor almejado pela indústria. Para se obter um produto final com teor de ferro comercialmente atrativo é necessário efetuar o processamento do minério.

Para Bennett (1985), a qualidade do mineiro de ferro está ligada principalmente a três características: química, física e metalúrgica. As características químicas se referem a composição química do minério, quanto maior o teor de ferro e menor o de impurezas, melhor é o mineiro. As características físicas correspondem a granulometria da matéria prima, ou seja, o tamanho das partículas. E as características metalúrgicas são as características que afetam a produtividade durante os processos metalúrgicos. Para isso é necessário um alto nível de controle em todas as etapas da mineração, para assim atender um mercado cada vez mais exigente.

A etapa inicial da mineração de ferro é a extração propriamente dita, esse processo é conhecido com lavra. A retirada do material é feita por tratores que raspam o solo ou por explosivos, quando o minério se encontra sob a superfície. Uma escavadeira pode retirar cerca de 5 mil toneladas de material bruto por hora. Todo material retirado durante o processo de lavra é analisado e separado pelo seu teor de ferro, junto com minério de ferro está presente outros minérios, principalmente o quartzo, que não possuem valor econômico para indústria do ferro, esse material é conhecido com estéril (TAVARES, 2009).

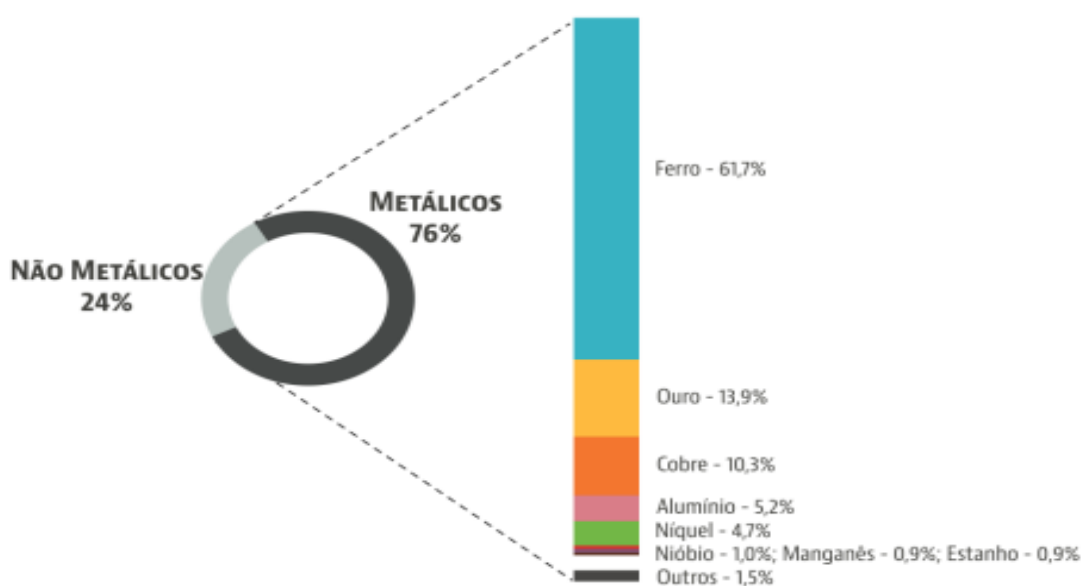
Na etapa de processamento o minério de ferro é levado às usinas na forma de grandes blocos, que são fragmentados em máquinas de britagem e moagem. Esse processo possui várias etapas, que cominuiem os pedaços de rocha até uma granulometria de cerca de 2 centímetros, tamanho adequado para os processos de separação. À medida que o minério é cominuído ele cai em uma peneira para serem separados por frações de tamanho, dessa forma as partículas superiores a 2 centímetros e retornam ao processo de cominação. Vale ressaltar que o processo

Para obtenção do concentrado de ferro também se pode utilizar magnetita (Fe_3O_4), Goethita (FeOOH) e Siderita (FeCO_3), minerais que possuem teores consideráveis de ferro em sua composição química. Em todos os tipos de minerais utilizados para obtenção do ferro são encontrados compostos com e sem valor econômico para a indústria da mineração (ANDRADE, 2014).

3.2. Mercado de Minério de Ferro

A mineração é um importante setor econômico e social no Brasil, sendo responsável em 2014 por 4 % do Produto Interno Bruto (PIB), cerca de US\$ 80 bilhões, segundo dados do Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM). A figura 2 demonstra a participação das principais substâncias metálicas na produção mineral brasileira.

Figura 2 - Participação das principais substâncias metálicas no valor da produção mineral brasileira comercializada em 2015.



Fonte: Anuário Mineral Brasileiro (2016).

Ainda de acordo com DNPM (2015) é estimado que a produção de minério brasileira em 2014 seja de 411 milhões de toneladas, equivalente a 13 % do total mundial, com consumo interno aparente de 116,7 milhões de toneladas. Por isso o Brasil é considerado um dos maiores produtores e exportadores de ferro do planeta, juntamente com China e Austrália.

É importante destacar que durante o processo produtivo do mineiro de ferro, uma grande quantidade do material retirado é considerada estéril. Segundo dados do DNPM em 2016, a porcentagem de teor de ferro contido no minério produzido em todo território nacional no ano de 2015 foi de 64 %, gerando aproximadamente 155 milhões de toneladas de minério estéril, sendo 107 milhões de toneladas geradas somente no estado de Minas Gerais.

Com aumento na demanda por ferro, e conseqüentemente, o aumento na extração do minério de ferro, a mineração se tornou um grande vilão do meio ambiente. A mineração é um instrumento de desenvolvimento e são evidentes os benefícios social e econômico que a mineração traz as regiões onde se instala. Porém também é evidente o impacto ambiental causado pela criação de barragens. Pesquisas evidenciam que são inúmeros os impactos gerados e que se não controlados de forma incisiva, podem causar danos irreversíveis não somente na área explorada como em toda sociedade. (KOPEZINSKI, 2000).

3.3. Classificações de Resíduos

De acordo com a Norma NBR 10004, (ABNT, 2004), resíduos sólidos são caracterizados como sendo resíduos no estado sólido e semissólido, que são provenientes da atividade industrial, comercial, hospitalar doméstica, agrícola, serviços e outras. Também fazem parte desta definição os lodos oriundos dos sistemas de tratamento de água, gerados em equipamentos e instalações utilizados para controle de poluição, assim como efluentes contendo partículas finas e ultrafinas de rochas ou minerais.

Os resíduos sólidos são classificados na NBR 10004, quanto aos seus riscos potenciais de contaminação ao meio ambiente e à saúde pública, em Classe I (perigosos) e Classe II (não-perigosos). Os resíduos da Classe I (Perigosos) são aqueles que oferecem perigo ou uma das seguintes características: inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade ou patogenicidade. Os resíduos da Classe II (Não Perigosos), por sua vez, são classificados em Classe II A (Não Inertes) e Classe II B (Inertes). Os resíduos da classe II A (Não Inertes) são aqueles que não se enquadram nas classificações de resíduos da classe I (Perigosos) ou de resíduos da classe II B (Inertes). Podem apresentar propriedades, como: biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água. Os resíduos da classe II B (Inertes) são quaisquer resíduos que quando amostrados, de acordo com a NBR 10007 (ABNT, 2004), e submetidos ao teste de solubilidade em água destilada ou deionizada à temperatura ambiente, conforme

NBR 10006 (ABNT, 2004), não tiverem nenhum de seus constituintes solubilizados a concentrações superiores aos valores estabelecidos no Anexo G da NBR 10004 (ABNT, 2004)

Os rejeitos de minério de ferro, quando submetidos a processos que visam aumentar o teor de ferro, gera resíduos (na indústria mineral os resíduos gerados são, geralmente, denominados de rejeitos) que contem inúmeros tipos de compostos em sua composição. Os compostos dos rejeitos mais comuns associados a mineração de ferro são caulinita, gibbsita, goethita, hematita, magnetita e quartzo (WOLFF, 2009).

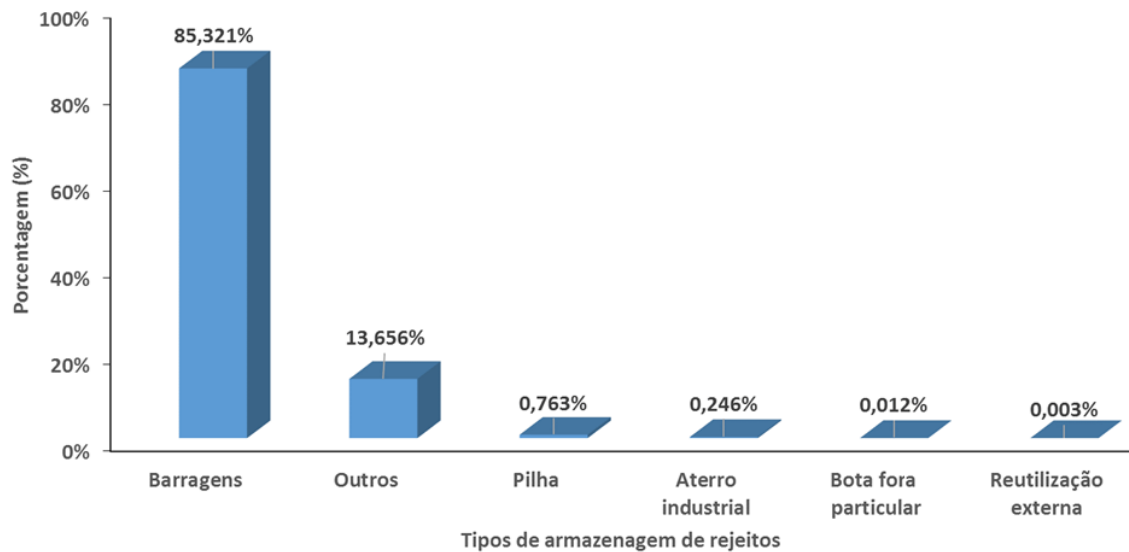
Os compostos químicos encontrados em rejeitos de minério de ferro são normalmente classificados como inertes (Classe II B), sendo granulares, de baixa deformabilidade e com boas condições de drenagem e resistência (MILONAS, 2006)

3.4. Barragem de Rejeito

Por ser uma alternativa de baixo custo, a construção de barragens de rejeito é a forma mais utilizada pelas mineradoras para tratar os rejeitos dos processamentos do minério de ferro. Durante todas as etapas da produção são geradas grandes quantidades de rejeitos que abastecem as barragens (MENEZES et al., 2002).

Segundo a Fundação Estadual de Meio Ambiente (FEAM, 2011), as barragens são a principal forma de armazenar o rejeito de mineração no estado de Minas Gerais, armazenando cerca de 90 % dos rejeitos gerados no estado. A figura 3 demonstra as formas de armazenagem e sua participação percentual.

Figura 3 - Principais destinos de rejeitos dentro da mineração no estado de Minas Gerais.



Fonte: FEAM, 2011 - adaptado.

Para Silva (2007), Duarte (2008) e Castro et al. (2011); barragens de rejeitos são empreendimentos que oferecem impactos ambientais significativos, tais como:

- Desmatamento florestal;
- Poluição da água tanto a superficial quanto a subterrânea, durante e após o período de operação da mina;
- Poeira, gerada na praia de rejeito;
- Impacto visual.

Além do problema ambiental, barragens apresentam grandes risco a segurança das áreas próximas a ela. Por serem grandes estruturas, as barragens podem gerar danos expressivos em função do seu rompimento, vazamento e mau funcionamento.

Acontecimentos recentes exemplificam o grande risco associado a barragens de rejeitos. Em agosto de 2014, o rompimento da barragem da mineradora Imperial Metal Corps, liberou 5 milhões de metros cúbicos de rejeitos no rio Iskut, na Columbia Britânica no Canadá. Segundo o Conselho de defesa dos Recursos Naturais do Canadá, este acidente casou sérios impactos ambientais em toda América do Norte, uma vez que os rios em questão deságuam no rio Stikine, que cruza grande parte do território americano (BAKER et al., 2014).

No Brasil o rompimento, em 2014, de uma barragem da mineradora Herculano, localizada no Quadrilátero Ferrífero em Minas Gerais, deixou vários mortos e feridos. Também causou sérios impactos nos córregos da bacia hidrográfica do Rio das Velhas, umas das principais fontes de abastecimento da região metropolitana de Belo Horizonte (CRUZ, 2014).

Em 5 de novembro de 2015 ocorreu o rompimento da barragem do Fundão, localizado em Bento Rodrigues, subdistrito de Mariana, MG. Inicialmente a mineradora Samarco informou que duas barragens de suas haviam rompido, Fundão e Santarém. Porém a empresa retificou a informação, afirmando que apenas a barragem de Fundão havia rompido. O rompimento de Fundão provocou o vazamento dos rejeitos sobre a barragem de Santarém, que não se rompeu (UOL, 2015).

O rompimento da barragem de Fundão é considerado o maior desastre ambiental da história brasileira e o maior do mundo envolvendo barragens de rejeitos, despejando um volume de 62 milhões de metros cúbicos. A lama atingiu o rio Doce, cuja bacia hidrográfica abastece 230 municípios dos estados de Minas Gerais e Espírito Santo. Ambientalistas consideraram que o efeito dos rejeitos no mar continuará por pelo menos mais cem anos, mas não houve uma avaliação detalhada de todos os danos causados pelo desastre (O GLOBO, 2016).

O tema em questão é tão relevante que tem sido foco de discussões entre empresas, órgãos ambientais e meio acadêmico, levantando principalmente o problema que fica após o fechamento das minas. O instituto Brasileiro de Mineração (IBRAM) em seu Guia de Fechamento de Mina, afirma que as barragens oferecem grandes risco de ruptura, interferência nas águas subterrâneas, restrições para futuros usos e podem apresentar falhas no sistema de cobertura e drenagem (IBRAM, 2013).

Em estudos de Ozkan et al. (2002) sobre os impactos associados as barragens, foi apresentado um detalhado panorama das possíveis causas de falhas que podem gerar riscos tanto a segurança quanto ao meio ambiente. De acordo com a pesquisa, falhas na estrutura como galgamento, erosão, piping e liquefação podem prejudicar diretamente a qualidade ambiental entorno da barragem. Em longo prazo a presença da barragem pode contaminar toda a água da região. O cuidado adequado dos locais de deposição de rejeitos é de grande importância e deve ser realizado não só pelo período de uso da mina como pelo todo período em que a barragem apresentar risco ao meio ambiente.

Dessa forma o DNPM (2002); Commonwealth of Australia (2006); The Mining Association Of Canada (2001) E IBRAM (2013) propõem recomendações para adequar o gerenciamento

das barragens. Dentre as recomendações se destaca a inserção, no fechamento da mina, da avaliação dos aspectos ambientais significativos, saúde, segurança todos os riscos associados a barragem em questão.

Dentre as normas brasileiras de regulamentação e a respeito da segurança e diminuição dos impactos ambientais em todo período útil da barragem, cabe destacar:

- Lei Federal n. 6938/81 - constitui a Política Nacional do Meio Ambiente (PNMA) e inclui, em seu Art. 18, a Avaliação de Impactos Ambientais (AIA) como elemento integrante do processo de licenciamento dos empreendimentos e identifica todo o potencial poluidor e causador de degradação ambiental.
- Resolução CONAMA n. 01/86 – estabelece critérios básicos e diretrizes para o uso e implementação da AIA.
- Lei Federal n. 12.334/10 – estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB).

3.5. Avaliação dos Rejeitos de Minério de Ferro Descartados em Barragens

Atualmente pode ser observado que materiais descartados como rejeitos e armazenados em algumas barragens podem apresentar teores de ferro superiores a alguns minérios de baixa qualidade utilizados em grandes empresas. De acordo com os resultados encontrados por Wolff (2009), o teor de ferro encontrado em rejeitos de diferentes minas da Vale, varia entre 44 % e 64 %, as análises foram realizadas por espectrometria de emissão óptica com plasma indutivamente acoplado (ICP-OES).

Na pesquisa de Gomes et al. (2011), que caracterizou finos de uma barragem de rejeito de mineração de ferro, foi encontrado teores médios de 48 % de Fe_2O_3 , 21 % de SiO_2 e 3 % de Al_2O_3 e encontrando praticamente todo ferro na forma de hematita. Acredita-se que essa seja uma realidade de muitas barragens de rejeitos de mineração em todo o país.

Nos estudos realizados por Vieira (2008), em rejeitos da flotação mecânica da empresa Samarco, concluiu-se que quanto maior as partículas, maior é a proporção de óxido de silício encontrado, e quanto menor os tamanhos das partículas, maior a fração de óxido de ferro. Contribuindo com essas pesquisas Praes et al. (2013), encontrou em rejeitos provenientes das colunas de flotação do beneficiamento do minério de ferro, que o óxido de ferro está, preferencialmente, associado a granulometria mais fina das partículas, nesse estudo inferior a 37 μm .

Em análises feitas com rejeitos da mineradora Anglo Ferrous foram encontrados teores de ferro 43 %, sílica 29 % e alumina 5 % em partículas menores que 7,1 μm . Esses são os maiores teores de ferro e os menores de sílica encontrados no estudo de Rocha et al. (2009).

Em 2009, Wolff realizou um estudo sobre percentual de ferro em diferentes faixas granulométricas, separadas via peneiramento, em rejeitos de nove minas da Vale. Seus resultados demonstraram que a maior quantidade de ferro está relacionada às partículas de diâmetro 10 μm a 15 μm , sendo encontradas também altas quantidades de ferro em partículas superiores as 15 μm e os menores valores sendo obtidos em partículas inferiores a 10 μm .

Por último, Oliveira (2006) caracterizou a composição química de frações granulométricas de rejeitos obtidos do espaçador de lama da Usina de Conceição - Vale. Os resultados demonstraram os maiores teores de ferro em partículas de 9 μm a 23 μm e maiores teores de sílica nas partículas entre 45 μm e 106 μm .

Com base nos estudos citados não é possível garantir que exista uma ligação direta entre os tamanhos das partículas e a composição química dos mesmos. Mas se nota a tendência de que rejeitos da mineração de ferro com menor tamanho de partículas apresentam maiores teores de ferro e partículas com maior tamanho apresentam teores mais altos de sílica.

Por esse motivo a caracterização dos rejeitos provenientes de mineração de ferro tem sido foco de inúmeras pesquisas. Para Borges (2008) o reaproveitamento de rejeitos provenientes de barragens já desativadas possui grande viabilidade econômica e reduz impacto ambiental gerado pela mineração. Para que isso ocorra, a caracterização dos rejeitos é essencial, tornando possível o reaproveitamento do rejeito como subproduto na própria planta de beneficiamento ou em outros segmentos industriais.

3.6. Reaproveitamento de Rejeitos de Mineração de Ferro

Nos dias atuais já é visto como uma verdade absoluta que sem sustentabilidade, a sociedade moderna terá dificuldades em continuar a crescer e se desenvolver. Assim o reaproveitamento de rejeitos de mineração já é amplamente estudado em vários trabalhos acadêmicos e por grandes indústrias do setor (FERNANDES, 2011)

Em 2015 os professores Evandro da Gama e Abdias Gomes, da Universidade Federal de Minas Gerais, construíram uma casa de 46 metros quadrados com produtos desenvolvidos com rejeitos e estéreis da mineração de ferro. Com o uso de um forno de calcinação desenvolvido

no laboratório de Geotecnologia e Geometria do Centro de Produção Sustentável da UFMG, em Pedro Leopoldo (MG) foi possível calcinar a poeira e a transforma e micropartículas que foram transformadas em areia, blocos, vigas, pedra e cimento para construção civil. (FAPESP, 2016)

O trabalho de Aristimunho et al. (2012) teve como objetivo avaliar o comportamento mecânico da argamassa de cimento Portland fabricado com adição de rejeito de minério de ferro na forma de pó e assim encontrar respostas quanto a viabilidade técnica dessa aplicação e quais os melhores traços para compor a argamassa. Entre as composições testadas as que apresentaram melhores resultados foram a de 8 % de adição de rejeito e 20 % de substituição da areia pelo rejeito. Melhorando a resistência mecânica e a fadiga, também produzindo uma suave alteração na cor da argamassa, dando um tom avermelhado.

3.7. Rochas Sintéticas

As rochas naturais são minerais extraídos da natureza, com grandes variações em sua composição química e extraído na forma de bloco para serem comercializados como placas ou lapidados em geometrias específicas. As rochas sintéticas são materiais compósitos, de matriz polimérica e que possui inúmeras formulações (RABAHI, 2015).

A rocha sintética mais comum no mercado atual é o mármore sintético, produto amplamente conhecido no mercado e tendo sua aplicação mais comum em pias, tanques e lavatórios, em todos os tamanhos e formas. Devido ao aumento da procura e dos investimentos nesse setor, tem se tornado um produto cada vez mais leve e resistente. Outra rocha sintética encontrada com facilidade é o granito sintético, com menor participação no mercado, devida ao maior custo da carga mineral, é um material de propriedades mecânicas excelentes e grande beleza estética (RABAHI, 2015).

A utilização de rochas sintéticas não ocorre apenas por fatores de estética, estudos comprobatórios da qualidade desses materiais têm expandido o seu uso na engenharia. Os estudos de Ribeiro et al. (1999) demonstram que o granito sintético apresenta elevada absorção de vibrações, excelente estabilidade dimensional o que o qualifica para ser usado como base para instrumentos de precisão. Devido sua inércia química (resistência à corrosão) e baixa densidade, o granito sintético pode ser um bom substituto ao ferro fundido. Por apresentar grande facilidade na moldagem a frio, o que diminui o custo de produção, o granito sintético pode ser uma opção de substituição de materiais caros, como alumínio fundido.

3.8. Mercado de Rochas Ornamentais

Rocha ornamental é a denominação usada para se referir as rochas que, após submetidas a tratamentos de superfície apresentam característica (textura, estrutura e trama dos minerais) consideradas de grande beleza e permite o seu uso em revestimentos, pisos e ornamentações (DE SOUZA, 2007).

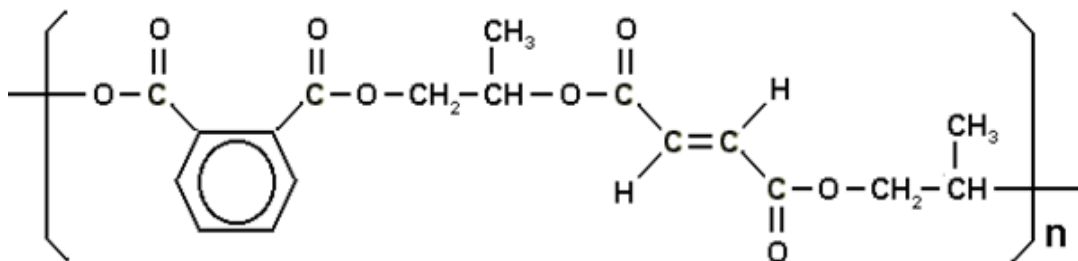
Suas principais aplicações incluem esculturas, tampos e pés de mesa, balcões, arte funerária em geral e edificações, destacando-se, nesse caso, os revestimentos internos e externos de paredes, pisos, pilares, colunas, soleiras entre outros. Aproximadamente 80 % da produção mundial e usada na forma de chapas e ladrilhos para revestimentos, 15 % em peças para arte funerária e 5 % para outros campos de aplicação. Em relação aos revestimentos, aproximadamente 60 % se referem a pisos, 16 % a fachadas externas, 14 % a interiores e 10 % a trabalhos especiais de acabamento. Em 2012 cerca de 50 % da produção total de rochas ornamentais foi representada por mármore, 42 % por granitos, 5 % a quartzitos e similares e 5 % as ardósias (FILHO et al., 2013).

De acordo Associação brasileira de rochas ornamentais (ABIROCHA), no ano de 2015 o Brasil faturou aproximadamente USD 1.000 milhões em exportações de rochas ornamentais e esse valor representa 2,32 milhões de toneladas. As importações de materiais rochosos naturais e artificiais somaram, respectivamente, 73,3 mil toneladas e 53,2 mil toneladas. O valor das importações de materiais artificiais, USD 43,1 milhões, superou o dos naturais, USD 42,3 milhões, devido ao maior preço médio dos artificiais (ABIROCHAS, 2016).

3.9. Resina poliéster

As resinas poliéster são compostos orgânicos derivados do petróleo. Na forma líquida apresentam em sua composição molecular oligômeros, precursores da rede polimérica que irá ser formada após a polimerização, mesmo estando no estado líquido apresentam alta viscosidade. Após a polimerização passam para o estado sólido e possuem características mecânicas de matérias frágeis. As resinas poliéster possuem peso molecular extremamente alto, como é indicado pelo próprio nome. Poli significa muitos, e éster, um tipo de composto química obtida através da reação de um ácido com álcool com a liberação de uma molécula de água. Existem dois subgrupos dentro das resinas poliéster, Insaturadas e Insaturadas Ortoftáticas (CASTRO, 2003). Sua estrutura química está representada na figura 4.

Figura 4 – Poliéster Ortoftálico



Fonte: DAL MOLIN (2002)

O termo poliéster insaturado indica que algum dos reagentes em sua composição possui instaurações. A denominação insaturada faz referência a presença das duplas ligações em sua cadeia molecular. Essas duplas ligações, serão quebradas pela ação de algum determinado catalisador, como calor, radiação ou peróxido orgânico, e irá reagir novamente para criar o polímero termoe estável e esse processo é irreversível, assim resultando em um produto termofixo (CASTRO, 2003).

As resinas poliéster insaturadas orto ftálicas apresentam em sua composição o ácido ftálico, conhecido também como ácido orto ftálico. Esse é tipo de resina mais comum, pois apresenta o custo mais baixo. Para se obter essa resina é necessária adição de um ácido insaturado, um ácido saturado e um biálcool. O anidrido ftálico tende a se regenerar a partir dos meios ésteres. As propriedades mecânicas das resinas poliéster insaturadas orto ftálicas são normalmente inferiores as propriedades das demais resinas (CASTRO, 2003).

3.10. Técnicas de Caracterização

O processo de caracterização dos materiais é uma parte essencial de todos os estudos sobre reaproveitamento de rejeitos, fornecendo informações mineralógicas e química essenciais. (NEUMANN, et al., 2004).

Para garantir a melhor escolha do tipo rocha, seja para uso estrutural ou de revestimento, é imprescindível o conhecimento das propriedades intrínsecas do material, que conjuntamente ao conhecimento do meio, no qual, a rocha será aplicada, definem quais propriedades e características são necessárias ao material para determinada aplicação. A seleção inadequada

de materiais pétreos pode comprometer a durabilidade e estética do material, mas também a segurança de todo projeto, ocasionando grandes perdas econômicas (MENEZES et al., 2005).

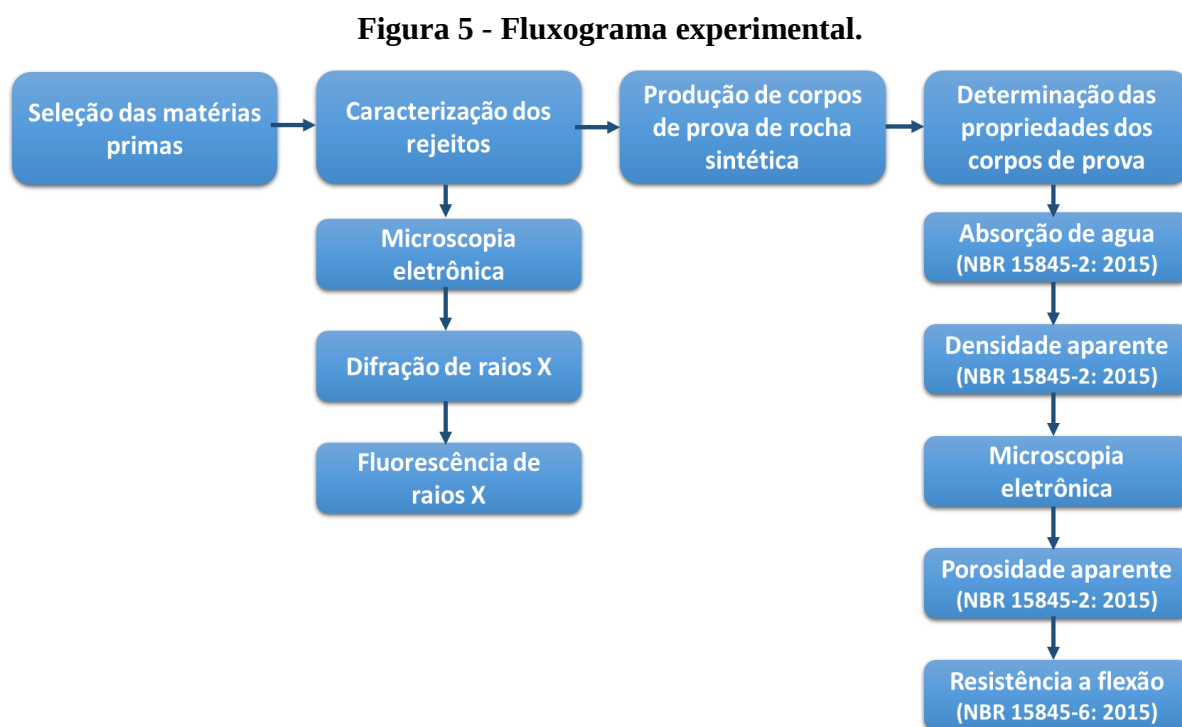
Entendem-se como propriedades intrínsecas as rochas os parâmetros químico-mineralógicos, físico e físico-mecânico. As propriedades intrínsecas são determinadas por análises e ensaios tecnológicos, realizados sob processos rigorosamente controlados, padronizados e normatizados que compõem a caracterização tecnológica das rochas (MENEZES et al., 2005).

A aplicação e uso que se dará a rocha influenciam diretamente nos tipos de ensaios que devem ser realizados ao material. Entretanto, alguns ensaios independem do tipo de aplicação, sendo necessários em todos os materiais pétreos utilizados em projetos de engenharia. Entre elas pode-se destacar o cálculo dos índices físicos (MENEZES et al., 2005).

As técnica e caracterização utilizadas no presente trabalho foram: difração de raios X (DRX), ensaio de flexão, fluorescência de raios X (FRX), microscopia eletrônica de varredura (MEV), absorção de água, porosidade aparente, densidade aparente e tensão de ruptura.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

É apresentado na figura 5 o fluxograma experimental com todos os processos desenvolvidos no presente trabalho.



Fonte: Próprio autor.

4.1. Amostras

Os rejeitos utilizados na produção dos corpos de prova desse trabalho, foram obtidos nas margens do Rio do Carmo, entre o município de Barra Longa / MG e Ponte Nova / MG e são rejeitos provenientes do rompimento da barragem de Fundão localizada no distrito de Bento Rodrigues, Marina / MG.

As amostras já foram obtidas secas, desagregadas, homogeneizadas, e separadas em duas faixas granulométricas, com grãos entre 125 e 500 μm e grãos abaixo de 125 μm .

4.2. Caracterização do Rejeito

4.2.1. Microscopia eletrônica de varredura (MEV)

O ensaio de microscopia eletrônico de varredura foi realizado nas matérias primas e no produto final, todas as amostras sofreram recobrimento com ouro, processo de metalização. A análise foi realizada utilizando um microscópio eletrônico de varredura da marca Shimadzu, modelo SUPERSKANSSX-550.

4.2.2. Difração de raios X (DRX)

O ensaio de DRX foi realizado com o difratometro Shimadzu XRD – 700. As condições aplicadas foram: radiação CuK α (35 KV / 40 mA) velocidade do goniômetro 0,02° em 2 θ por passo, com tempo de contagem de 0,6 segundos por passo e coletados de 5° a 80° em 2 θ . As interpretações dos espectros foram efetuadas por comparação com padrões contidos no banco de dados PDF 02 (ICDD, 2003).

4.2.3. Fluorescência de raios X (FRX)

O ensaio de FRX foi realizado em pastilhas prensadas sob vácuo e em termos de óxidos, utilizando o equipamento Shimadzu EDX-720.

4.3. Formulação dos corpos de prova

Foi proposta a formulação de uma massa cerâmica composta por 30 % em massa de resina poliéster Insaturadas Ortoftálicas e 70 % em massa de rejeito de mineração, de acordo com os estudos de Rabahi (2015).

A resina poliéster utilizada foi resina comercial cristal R910, fabricado pela empresa Resinplast Indústria e Comércio de Fibras Ltda. A tabela 1 apresenta as especificações técnicas da resina.

Tabela 1 – Especificações técnicas resina cristal R910.

Propriedade	Unidade de Medida	Valor
Viscosidade Brookfield	cP	1400 - 1800
*Gel Time	Minutos	7 – 9
Intervalo Reação	Minutos	10 - 15
Pico Exotérmico	Cº	140 - 180
Índice de Acidez (em solução)	mgKOH/g	20 - 28
Aspecto		Transparente/cristal

Fonte: Resinplast - Boletim técnico P06, 2011.

Para estudar a influência da granulometria nas propriedades físicas do material foram preparados três tipos corpos de prova com as duas faixas granulométricas obtidos do rejeito:

- Grão Grosso (GG) – 100 % do rejeito na faixa granulométrica entre 125 µm e 500 µm;
- Grão Fino (GF) – 100 % do rejeito na faixa granulométrica entre menor que 125 µm;
- Mistura de Grãos (MG) – Mistura de 50 % do rejeito na faixa granulométrica entre 125 µm e 500 µm e 50 % na faixa granulométrica menor que 125 µm.

Como catalisador, para iniciar a reação de reticulação da resina, foi utilizado o catalizador comercial MEKP na dosagem de 1 % da massa da resina aplicada.

Todos os corpos de prova foram preparados utilizando balança de precisão com resolução 0,00g para dosagem das matérias primas e peneirador mecânico, para compactar por vibração a massa no molde. A mistura foi feita a mão, com uma colher de aço inoxidável, sempre evitando a agitação excessiva, o que poderia gerar mais bolhas a massa cerâmica.

O rejeito foi pesado em três quantidades iguais de 400g e separada em três potes descartáveis de polipropileno, o polipropileno foi escolhido por não reagir com a resina poliéster. Em cada um dos potes foi adicionado 171,4 gramas de resina, seguindo a distribuição granulométrica GG, GF e MG.

As vasilhas com as resinas foram mantidas sobre uma bandeja com água a 50 °C por 5 minutos, esse processo foi utilizado para diminuir a viscosidade da resina, facilitando a mistura e favorecendo a eliminação de bolhas de ar.

Primeiro foi adicionado metade da carga mineral a resina, realizada a homogeneização, adicionado o catalisador e o restante da carga mineral. Esse processo foi realizado para garantir viscosidade suficiente na massa cerâmica durante a adição do catalisador e assim permitir melhor homogeneização do catalisador por toda massa. A figura 6 apresenta a massa cerâmica obtida durante o processo de mistura das matérias primas.

Figura 6 - Massa cerâmica obtida através da mistura do rejeito e da resina poliéster.

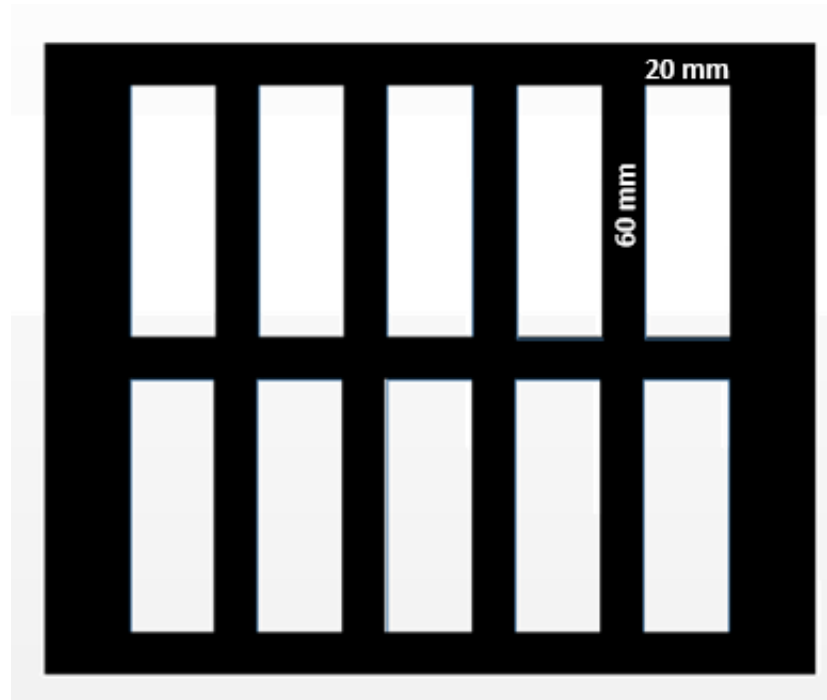


Fonte: Próprio autor

Após a homogeneização completa da mistura a massa cerâmica foi despejada sobre uma forma de polipropileno rígido, devidamente lubrificada com cera de carnaúba, e com dimensões de 180mm de largura e 160 mm de comprimento, até a altura aproximada de 10mm. As formas com a massa foram submetidas à vibração mecânica de 20hz por 10 minutos e colocadas para curar em temperatura ambiente.

Após cinco dias as placas cerâmicas foram retiradas dos moldes sem nenhuma dificuldade. Cada placa foi cortada em serra de mesa própria para mármore, com 20 mm de largura e 60 mm de comprimento, de acordo com NBR 15845. A área aproveitada para o corte foi a parte central da placa, sendo descartadas 1 cm de cada extremidade, conforme a figura 7.

Figura 7 - Partes descartadas (preto) e partes aproveitadas (branco) da placa.



Fonte: Próprio autor

Foram utilizados oito corpos de prova para cada granulometria, cinco para o ensaio de flexão e três para os ensaios de absorção de água, porosidade aparente e densidade aparente.

4.4. Determinação das Propriedades Físicas dos Corpos de Prova

4.4.1. Índices físicos

O ensaio foi realizado no laboratório de Cerâmicas Finas do DEMAT (CEFET-MG), onde os valores de absorção de água, densidade e porosidade aparente foram obtidos a partir da norma técnica NBR 15845-2 (ABNT,2015)

Primeiramente os corpos de prova foram pesados com uma balança analítica de precisão, com resolução 0,00g, e posteriormente submerso por 2 horas em água fervente. Após resfriar por 4 horas em temperatura ambiente, foi feita a retirada do excesso de água superficial de cada peça com papel toalha. As massas foram registradas novamente e o índice de absorção de água foi calculado de acordo com a equação (1):

$$AA = \frac{P_u - P_s}{P_s} \times 100 \quad (1)$$

- AA = Índice de absorção de água (%);
- Pu = Peso da peça saturada em água; úmida (g);
- Ps = Peso da peça seca (g);

Após a pesagem úmida foi realizada a pesagem submersa. Essa pesagem é realizada com os corpos de prova completamente submerso em água, sem o mesmo tocar o fundo do vasilhame.

A diferença entre a massa úmida e a massa submersa é igual o volume do corpo de prova. Assim se obtém os valores de porosidade aparente e densidade com as equações (2) e (3), respectivamente:

$$PA = \frac{P_u - P_s}{P_u - P_{sub}} \times 100 \quad (2)$$

- PA = Porosidade aparente (%);
- Pu = Peso da peça saturada em água; úmida (g);
- Ps = Peso da peça seca (g);
- Psub = Peso da peça submersa (g);

$$D = \frac{P_s}{P_u - P_{sub}} \quad (3)$$

- D = Densidade aparente (em g/cm³);
- Pu = Peso da peça saturada em água; úmida (g);
- Ps = Peso da peça seca (g);
- Psub = Peso da peça submersa (g);

4.4.2. Ensaio de flexão

O ensaio foi realizado na máquina universal AG-X, da Shimadzu. O ensaio foi feito pelo método de 3 pontos e de acordo com a norma NBR 15845-6 (ABNT,2015). A tensão de ruptura final foi à média dos resultados de cada corpo de prova de cada de cada composição granulométrica e essa tensão de ruptura é calculada com a equação (4):

$$\sigma_{flexão} = \frac{M_f \times C}{ICG} \quad (4)$$

- C = metade do valor da espessura, em milímetros;
- Mf = momento fletor;
- I_{CG} = o momento de inércia em relação ao centro de gravidade

O momento fletor é calculado pela equação (5):

$$Mf = \frac{F \times L}{4} \quad (5)$$

- F = força atingida no ensaio, em Newton (N);
- L = distância entre os apoios, em milímetros (mm);

O momento de inercia em relação ao centro de gravidade é calculado com a equação (6):

$$I_{CG} = \frac{b \times h^3}{12} \quad (6)$$

- b = espessura do corpo de prova em milímetros (mm);
- h = altura do corpo de prova em milímetros (mm);

Com os valores do momento fletor e do momento de inercia, calculados com as equações (5) e (6), respectivamente, é possível resumir a equação (4) na equação (7) e obter a tensão de ruptura do material.

$$\sigma_{flexão} = \frac{Mf \times C}{I_{CG}} = \frac{\frac{F \times L}{4} \times \frac{h^2}{2}}{\frac{b \times h^3}{12}} = \frac{3}{2} \frac{F \times L}{b \times h^2} \quad (7)$$

O ensaio de flexão foi realizado em cinco corpos de prova de cada composição granulométrica. A distância entre os apoios da base e a velocidade de avanço foram fixadas em 50 mm e 1 mm/min, respectivamente.

5. RESULTADO E DISCUSSÕES

5.1. Propriedades Químicas, Mineralógicas e Morfológicas

5.1.1. Fluorescência de raios X (FRX)

Os resultados da Fluorescência de raios X são apresentados na tabela 2.

Tabela 2 - Resultado semiquantitativo de FRX do rejeito por distribuição granulométrica.

Oxido	Grosso	Fino	Mistura
SiO ₂	59 %	38%	48 %
Fe ₂ O ₃	35 %	56 %	45 %
Al ₂ O ₃	5 %	5 %	6 %
K ₂ O	> 1 %	> 1 %	> 1 %
MnO	> 1 %	> 1 %	> 1 %

Fonte: Próprio autor.

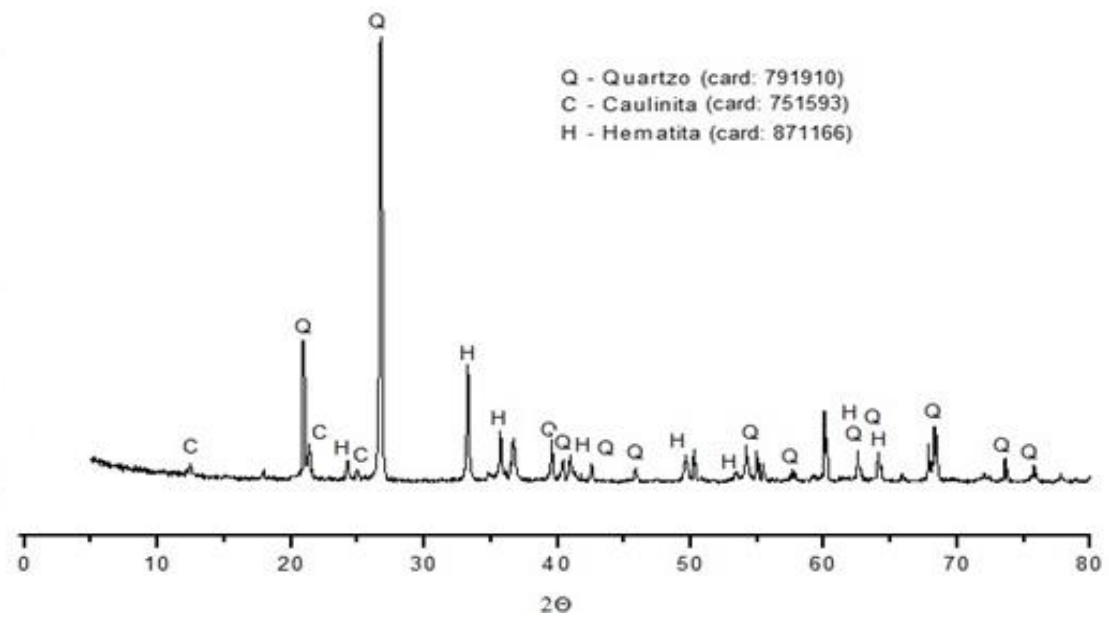
É possível observar que mais de 99 % da constituição básica do rejeito analisado é de óxido de ferro (Fe₂O₃), dióxido de silício (SiO₂) e óxido de alumínio (Al₂O₃), com uma fração menor que 1 % de óxidos de potássio (K₂O), óxido de manganês (MnO). Esse resultado está de acordo com os estudos realizados Vieira (2008), Praes et al. (2013) e Gomes et al. (2011)

Vale ressaltar que, os resultados de FRX mostram, assim como os estudos de Wolff (2009), que à medida que a granulometria média do rejeito diminui a concentração de óxido de ferro aumenta, devido à maior presença dos óxidos de ferro nas argilas e no silte, materiais que compõem esse tipo de rejeito. O rejeito composto por grãos grossos possui concentração de óxido de ferro de 35 %, enquanto o rejeito de grãos finos apresenta 56 %.

5.1.2. Difração de raios X (DRX)

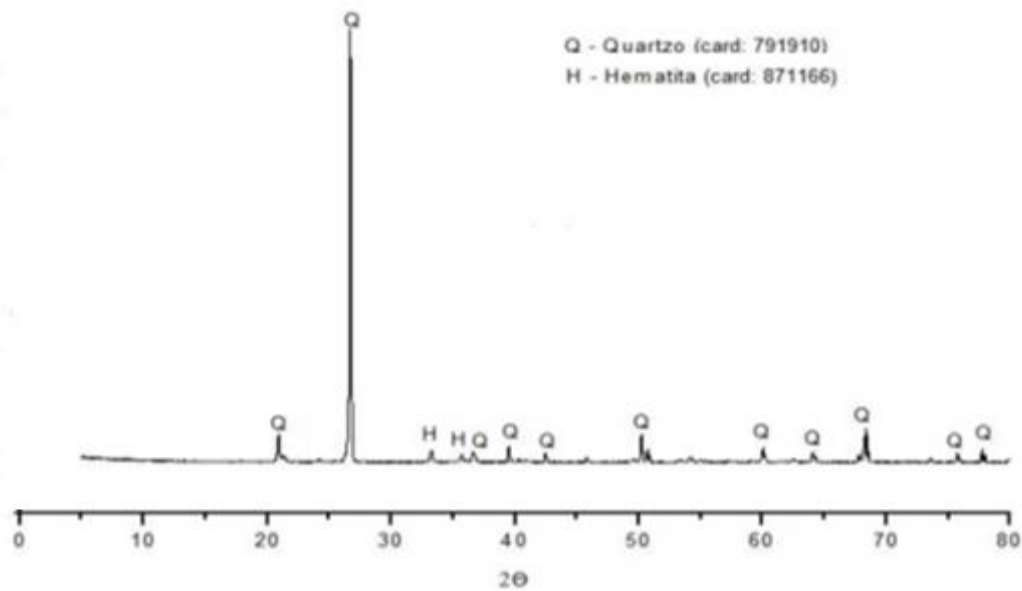
Os resultados de difratograma de raios X são apresentados na figura 8 para as amostras de grãos finos (GF), na figura 9 para grãos grossos (GG) e na figura 10 para mistura de grãos (MG).

Figura 8 - Difratoograma do rejeito de granulometria fina (GF).



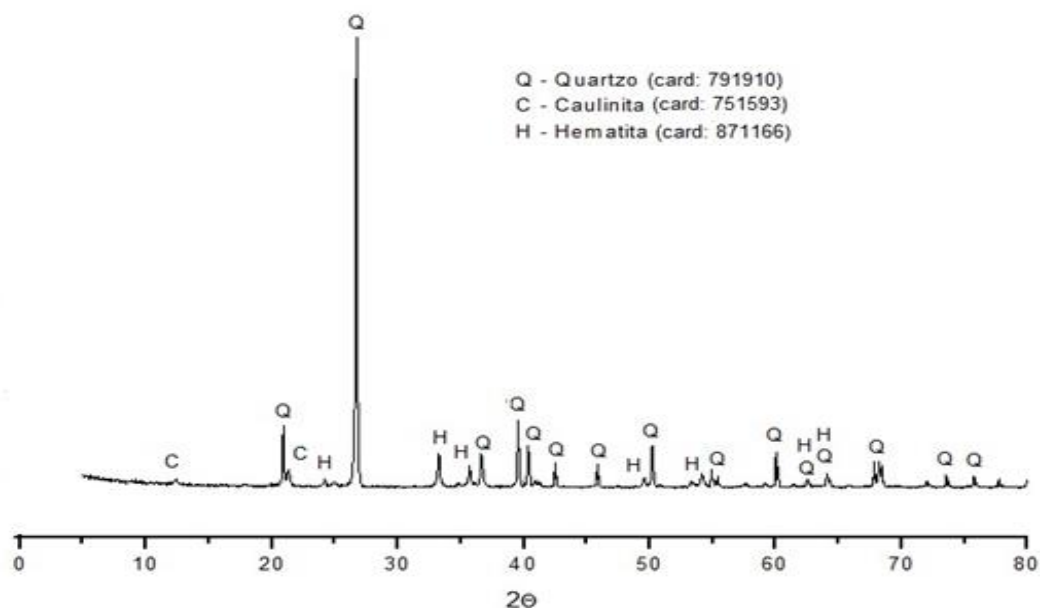
Fonte: Próprio autor

Figura 9 - Difratoograma do rejeito de granulometria grossa (GG).



Fonte: Próprio autor

Figura 10 - Difratoograma da mistura de rejeito de granulometria grossa e fina (MG).



Fonte: Próprio autor

Pode-se observar que as três amostras apresentam as fases quartzo (SiO_2) e hematita (Fe_2O_3), e apenas as amostras de grãos finos (GF) e a mistura de grãos (MG) apresentam a fase caulinita ($\text{Si}_2\text{Al}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$).

O resultado obtido é corroborado pelos estudos realizados por Gomes (2009), onde o autor concluiu que a fase caulinita aumenta nas frações mais finas dos rejeitos e nos estudos de Wolff (2009) e Andrade (2014), onde os mesmos observaram que à medida que a granulometria diminui é reduzida a intensidade dos picos de quartzo e aumentada à intensidade dos picos de hematita e caulinita.

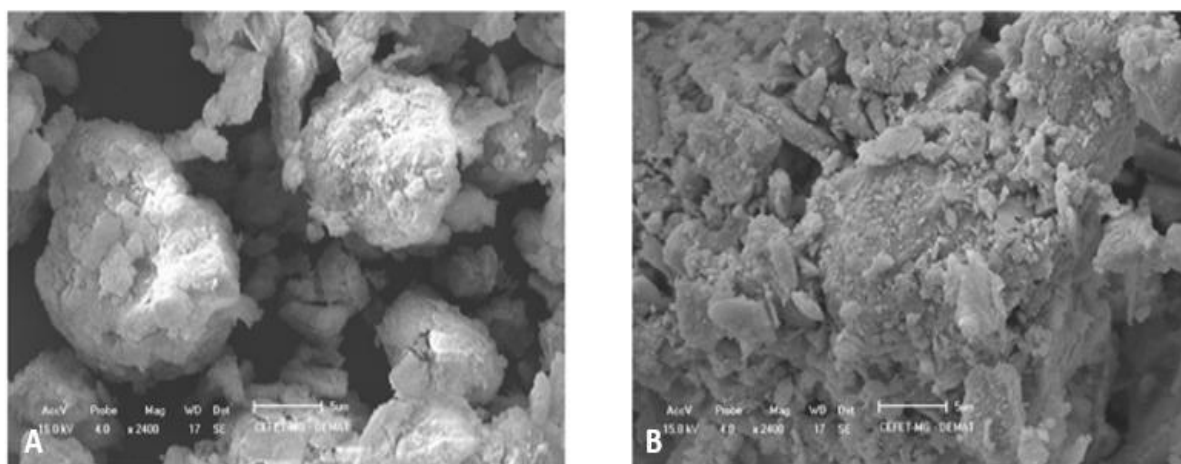
Vale ressaltar também que esse resultado está coerente, pois se sabe que no Brasil, segundo a norma NBR 7211, os tamanhos médios dos grãos de areia (quartzo) variam de 0,06 a 0,2 mm, do silte de 0,002 a 0,06 mm e da argila menor que 0,002 mm (ABNT, 2009).

A elevada presença de quartzo já era esperada por se tratar de rejeito advindo do processamento do minério ferro, uma vez que a principal impureza contida nos minérios de ferro provenientes do quadrilátero ferrífero é o quartzo (WOLFF, 2009).

5.1.3. Microscopia eletrônica de varredura (MEV)

Na figura 11 é apresentada a imagem de microscopia eletrônica das amostras de rejeito de faixa granulométrica grossa (GG), e fina (GF).

Figura 11 -Morfologia dos rejeitos de granulometria a) grossa (GG) e b) fina (GF).



Fonte: Próprio autor

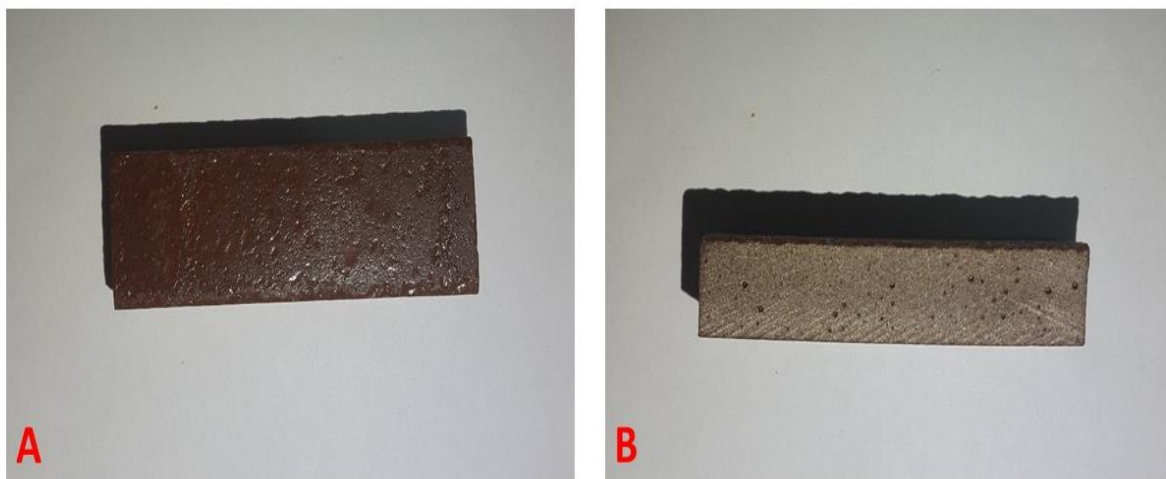
Foi realizada análise da granulometria e morfologia das partículas. Observa-se que a figura 12A apresenta partículas maiores quando comparada com a figura 12B.

Analizando a figura 12A, pode-se verificar que a morfologia do rejeito apresenta partículas maiores, pouco arredondadas e angulares, provavelmente quartzo. A figura 12B apresenta partículas menores, finas, pulverizadas e aderidas a superfície das partículas maiores, o que é característico dos argilo minerais e está provavelmente associada a presença da hematita e caulinita (ANDRADE, 2014).

5.2 Corpos de Prova

A figura 12 apresenta um exemplo dos corpos de prova obtidos.

Figura 12 - Exemplo de um corpo de prova.



Fonte: Próprio autor

Pode-se observar na figura 12A que a superfície do corpo de prova é irregular, grosseira e sem o brilho característico de rochas ornamentais. Por isso faz necessário a aplicação dos processos de lixamento e polimento, tratamentos de superfície comumente aplicados em rochas ornamentais sintéticas e naturais (VARGAS et al., 2001).

Na figura 12B é possível ver uma grande quantidade de bolhas macroscópicas e esféricas, provavelmente oriundas do processo de mistura, que provoca uma aeração da massa cerâmica. Visualmente pode se afirmar que devido as bolhas os corpos de prova devem possuir uma elevada porosidade.

5.3. Propriedades Físicas dos Corpos de Prova

5.3.1. Índices físicos

A tabela 3 apresenta os índices físicos encontrados nos corpos de prova produzidos com grãos grossos (GG), a tabela 4 para os corpos de prova produzidos com os grãos finos (GF) e a tabela 5 para os corpos de prova produzidos com a mistura de grãos (MG).

Tabela 3 - Resultados dos índices físicos obtidos dos corpos de prova de grãos grosso (GG).

Corpo de Prova	Absorção de água (%)	Porosidade aparente (%)	Densidade aparente (g/cm³)
GG1	7 %	12 %	2,04
GG2	10 %	21 %	2,00
GG3	9 %	18 %	2,00
Média	8 % ± 2 %	17 % ± 5 %	2,01 ± 0,03

Fonte: Próprio autor

Tabela 4 - Resultados dos índices físicos obtidos dos corpos de prova de grãos finos (GF).

Corpo de Prova	Absorção de água (%)	Porosidade aparente (%)	Densidade aparente (g/cm³)
GF1	10 %	19 %	1,97
GF2	13 %	25 %	1,93
GF3	17 %	33 %	2,01
Média	13 % ± 3 %	26 % ± 7 %	1,97 ± 0,04

Fonte: Próprio autor

Tabela 5 - Resultados dos índices físicos obtidos dos corpos de prova da mistura de grãos (MG).

Corpo de Prova	Absorção de água (%)	Porosidade aparente (%)	Densidade aparente (g/cm³)
MG1	15 %	29 %	1,99
MG2	12 %	24 %	1,96
MG3	12 %	23 %	1,99
Média	13 % ± 2 %	26 % ± 3 %	1,98 ± 0,01

Fonte: Próprio autor

Utilizando como referência a norma ASTM C503 (ASTM, 1999), a qual determina que a absorção de água de mármore naturais sendo igual ou inferior a 0,20 %, e os estudos de Karaca et al. (2015), que determinou o valor de porosidade aparente de mármore dolomíticos como sendo inferior a 0,40 %, os resultados encontrados foram de aproximadamente 50 vezes maiores. Os valores também são elevados quando comparados aos estudos de Silva (2016) e Rabahi (2015), que encontram valores de absorção de água e porosidade aparente para mármore sintéticos inferiores aos usados como referência.

Esses valores podem ser justificados pelo método que foi produzido os corpos de prova, sendo indicado na produção de qualquer tipo de rocha sintética a vibro-compressão a vácuo e a cura a quente, processos que têm como objetivo a redução da porosidade no material e assim, consequentemente, a redução dos resultados de absorção de água (DEMARTINI, 2017).

Nos resultados encontrados pode-se observa uma relação direta entre a porosidade aparente e absorção de água. Os corpos de prova com maior porosidade aparente são os mesmos com maior absorção de água.

Fazendo uma análise dos resultados em relação à diferença de granulometria entre os corpos de prova, é possível observa que o rejeito de grão grosso (GG) gerou os corpos de prova com a menor porosidade aparente e absorção de água. Essa variação nos valores pode ser justificada pela maior incidência na formação de agregados em partículas inferiores a 20 μm (LIMA, 2007). Os resultados entre os corpos de prova de grãos finos (GF) e a mistura de grãos (MG) apresentaram valores aproximados, com uma variação de aproximadamente 1 %.

5.3.2. Ensaio de Flexão

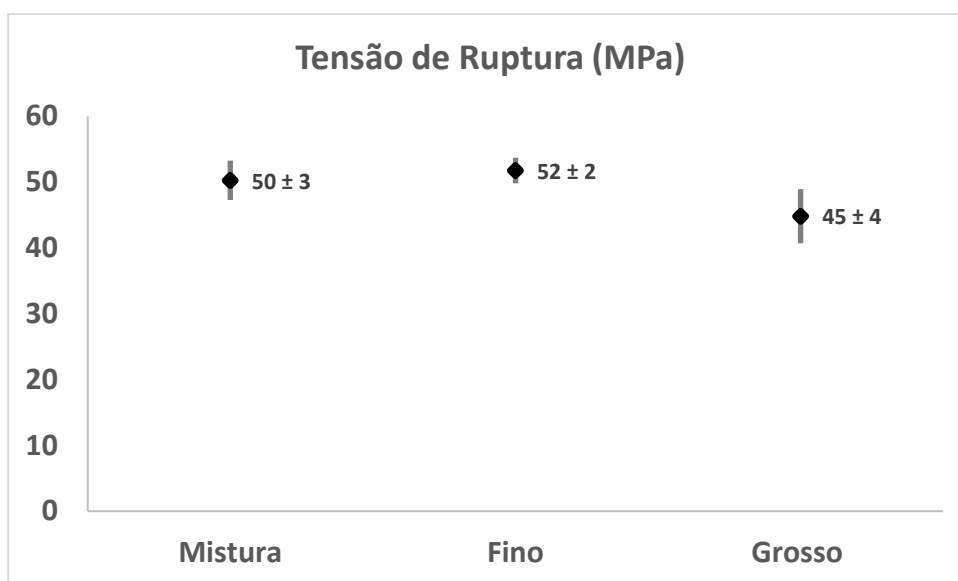
A tabela 6 apresenta as dimensões medias dos corpos de prova e a figura 13 a média dos resultados de tensão de ruptura obtidos no ensaio de flexão.

Tabela 6 - Dimensões média dos corpos de provas

Granulometria	Largura	Comprimento	Espessura
Mistura	$20,4 \pm 0,1$	$59,3 \pm 0,9$	$11,9 \pm 0,4$
Fino	$20,2 \pm 0,4$	$61,2 \pm 0,4$	$16,3 \pm 0,4$
Grosso	$20,6 \pm 0,1$	$59,9 \pm 0,4$	$12,8 \pm 0,4$

Fonte: Próprio autor

Figura 13 - Valores médios de tensão de ruptura por granulometria.



Fonte: Próprio autor

Os resultados médios de tensão de ruptura foram aproximadamente 54 % superior aos valores encontrados para mármore sintéticos nos estudos de Silva (2016) e Rabahi (2015).

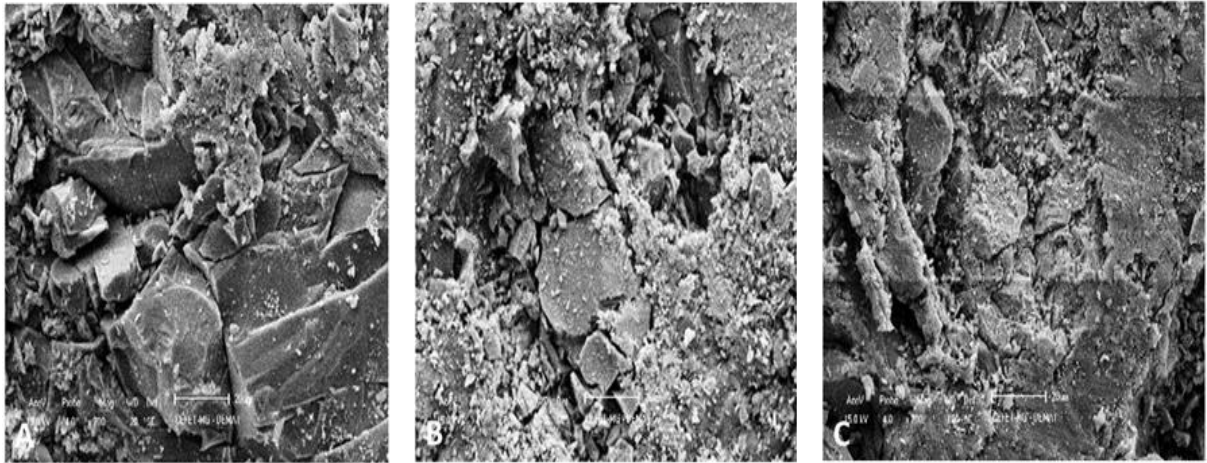
Analisando os resultados pela diferença de granulometria, observa-se que os corpos de prova produzidos com os grãos grossos (GG), obtiveram menores valores médios de tensão de ruptura, 45 Mpa, cerca de 13 % a menos que os 52 Mpa encontrados para os corpos de prova de grãos fino (GF), os que obtiveram os melhores resultados. Os corpos de prova da mistura de grãos (MG) alcançaram 50 Mpa, valor próximo aos de grãos finos (GF), sendo cerca de 3 % inferior.

Esses valores podem ser explicados pelo fato de que os corpos de prova produzida com os grãos grossos possuir as maiores dimensões de poros. Uma vez que a tensão de ruptura em materiais cerâmicos sofre influência das características macroestruturais do material e seu valor está ligado diretamente ao tamanho da falha crítica, que em geral é igual ao tamanho médio do maior poro ou do maior grão (ZANOTTO et al., 1991).

5.3.3. Microscopia eletrônica de varredura (MEV)

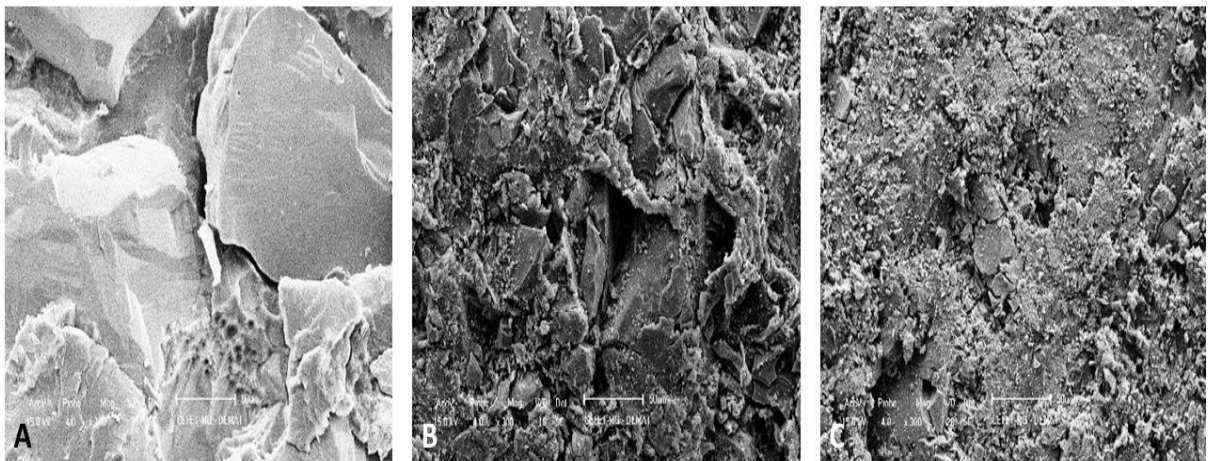
Foram feitas imagens dos corpos de prova após o ensaio de flexão, para análise da porosidade e granulometria. As figuras 14 e 15 apresentam a micrografia das faces fraturadas pelo ensaio de flexão das três composições granulométricas propostas.

Figura 14 – Micrografia da face fraturada das amostras de a) grãos grossos (GG), b) finos (GF) e c) mistura (MG).



Fonte: Próprio autor

Figura 15 – Micrografia da face fraturada das amostras de a) grãos grossos (GG), b) finos (GF) e c) mistura (MG).



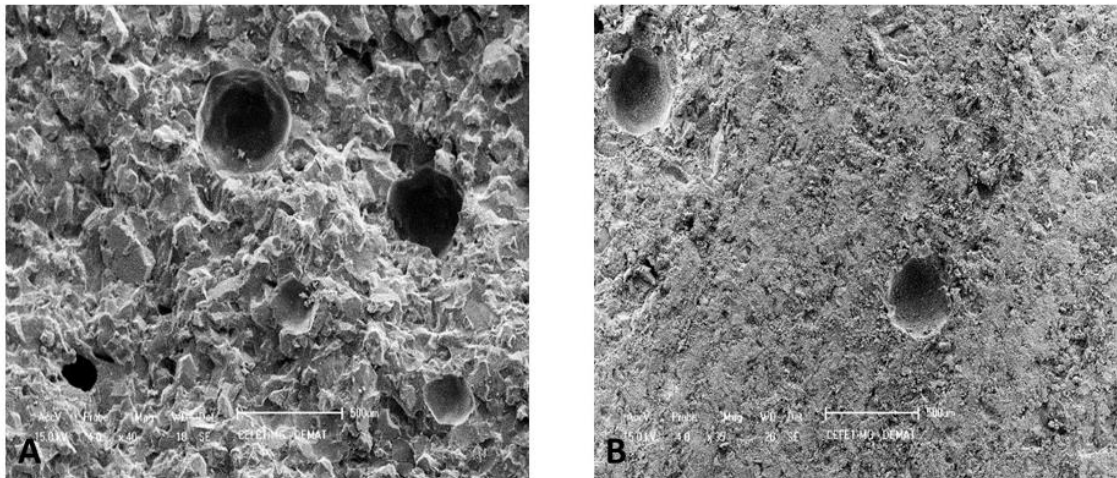
Fonte: Próprio autor

Nas figuras 14 e 15 é possível verificar a diferença entre os tamanhos dos grãos para cada corpo de prova. Nas imagens 14A, 14B, 15A e 15B é possível observa uma maior homogeneidade no tamanho dos grãos, enquanto nas imagens do 14C e 15C se observa uma maior heterogeneidade entre os grãos. Além disso, nas figuras 14 e 15 é possível observar

espaços vazios entre as partículas, provavelmente pela dispersão das partículas na resina não ter sido satisfatória, devido à alta viscosidade da resina (1400 – 1800 Cp).

A figura 16 apresenta a micrografia das faces cortada e fraturada dos corpos de prova com a mistura de grãos.

Figura 16 - Micrografia das amostras de a) face fraturada b) face cortada da mistura de grãos (MG).



Fonte: Próprio autor

Na figura 16 pode-se observar a existência de poros esféricos, internos e macroscópicos. Provavelmente esses poros são formados por bolhas de ar que ficaram aprisionadas na estrutura após a cura da resina.

6. CONCLUSÕES

O ensaio de fluorescência de raios X e difração de raios X demonstraram que o rejeito possui em sua composição, aproximadamente 99 %, elementos e fases inertes, o que pode viabilizar o seu uso em peças de revestimento minimizando os riscos à saúde dos possíveis usuários.

A produção das peças compósitas de rocha sintética foi realizada de forma simples e sem necessidade de grandes maquinários, o que demonstra que a aplicação desse rejeito na formulação de rochas sintéticas é viável e não há necessidade de altos investimentos, podendo ocorrer nas indústrias que já produzem o mármore e granito sintético.

Nas três faixas granulométricas, os valores de absorção de água e porosidade aparente foram de 50 vezes os valores de referência de mármore natural e sintético, mas não inviabilizam o uso dessa rocha sintética como revestimentos internos de paredes. Comparando os resultados por granulometria, os corpos de prova de grãos grossos (GG) apresentaram os melhores resultados de absorção de água e porosidade aparente, 8 % e 17 %, respectivamente, podendo ser aplicado como revestimento interno de paredes e pisos (NBR 13817).

Os valores de tensão de ruptura, nas três faixas granulométricas, foram aproximadamente 54 % superiores aos valores de referência de mármore sintéticos. Os melhores resultados encontrados, por faixa de granulométrica, foram os encontrados nos corpos de prova de grãos finos (GF), com valor médio de 52 ± 2 MPa.

O presente trabalho conseguiu demonstrar a possibilidade de produzir um material, a base de rejeitos de minério de ferro, com propriedades físicas e mecânicas adequadas para a aplicação em peças de revestimento. Dessa forma desenvolvendo uma nova metodologia para o reaproveitamento desses rejeitos, que causam inúmeros impactos ambientais.

7. SUGESTÕES DE NOVOS TRABALHOS

Para a realização de trabalhos futuros sobre o tema sugere-se:

- Uso da vibro-compressão a vácuo e a cura a quente na produção de corpos de prova de rocha sintética produzida com rejeito de mineração de ferro e a sua influência nas propriedades físicas e mecânicas.
- Avaliação da dureza, desgaste, resistência a manchas para rochas sintéticas a base rejeito de minério de ferro.
- Estudo a adição de rejeito da mineração de ferro como agregado em rochas sintéticas já tradicionais, como mármore e granitos sintéticos.
- Análise sobre a influência de diferentes faixas granulométricas nas propriedades físicas e mecânicas de rochas sintéticas compostas do rejeito de mineração de ferro.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABIROCHAS (Associação Brasileira da Indústria de Rochas Ornamentais). **Balanço das Exportações e Importações Brasileiras de Rochas Ornamentais em 2015**. Informe 01/2016. Brasília, 2016.

ABREU, U.A., RUIZ, M.S., CARUSO, L.G Perfil 7- **Rochas dimensionadas e aparelhadas**. In: RUIZ, M.S., NEVES, M.R. (Coord.). Mercado produtor mineral do estado de São Paulo. São Paulo: I.P.T., 1990. p.137 – 151.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM C 503**: Standard specification for marble dimension stone. West Conshohocken, PA, 1999.

ANDRADE, L. C. R. **Caracterização de rejeitos de mineração de ferro, in natura e segregados, para aplicação como material de construção civil**. 2014. 96f Tese (Pós-Graduação) - Universidade Federal de Viçosa, Curso de Engenharia Civil, Viçosa, 2014.

ARAÚJO, T. Como são extraídos minerais de uma mina? **Mundo Estranho**. Editora Abril. 2011. Disponível em:<<https://mundoestranho.abril.com.br/ciencia/como-sao-extraidos-minerais-de-uma-mina/>>. Acessado em: 19 ago 2016.

ARISTIMUNHO, P. B.; BERTOCINI, S. R. Aplicação de lama de minério de ferro em forma de pó na presença de cimento portland. **Revista IBRACON Estruturas e Materiais**, São Paulo, v. 5, n. 2, p. 153-165, 2012. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1983-41952012000200003&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 7 mai. 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7211**: Agregado para concreto - Especificação. Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10004**: Rejeitos Sólidos – Classificação. Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10006**: Procedimento para obtenção de extrato solubilizado de rejeitos sólidos. Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10007**: Amostragem de rejeitos sólidos. Rio de Janeiro, 2004

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13817**: Placas cerâmicas para revestimento: classificação. Rio de Janeiro, 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15845-2**: Rochas de revestimento - Parte 2: Determinação da porosidade aparente e da absorção de água. Rio de Janeiro, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15845-6**: Rochas de revestimento - Parte 6: Determinação do modulo de ruptura (flexão por carregamento em três pontos). Rio de Janeiro, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 302000**: Agregado miúdo – determinação da absorção de água. Rio de Janeiro, 2001.

ATKINS, P.; JONES, L. **Princípios de Química: questionando a vida moderna e o meio ambiente**. Porto Alegre: Bookman, 2001, p.39-40.

AZEVEDO, A. L. Acidente em Mariana é o maior da História com barragens de rejeitos. **O Globo**, 2016. Disponível em: <<https://oglobo.globo.com/brasil/acidente-em-mariana-o-maior-da-historia-com-barragens-de-rejeitos-18067899>>. Acesso em: 14 out. 2017.

BAKER, P. SWEENEY, M. S. MCELROY, J. Residents calling it an environmental disaster: tailings pond breach at Mount Polley Mine near Likely, BC. **Global News**, Canadá, 04 ago. 2014. Disponível em: <<http://globalnews.ca/news/1490361/tailings-pond-breach-at-mount-polleymine-near-likely-bc/>>. Acesso em: 9 nov. 2016.

BENNETT, R. L. **Characteristics of Iron Ore and Agglomeration as related to Furnace Use- SME Mineral Processing Handbook**, 1985.

BORGES, A. A. Caracterização da parcela magnética de minério fosfático de carbonatito. **REM - Revista Escola de Minas**, Ouro Preto, v. 61, n.1, p.29-34, 2008.

BRASIL. Lei nº.6938, de 31 de agosto de 1981. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 31 ago. 1981. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=313>>. Acesso em: 5 mai. 2018.

BRASIL. Lei nº.12.334, de 20 de setembro de 2010. Estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens entre outros assuntos. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 20 set. 2010. Disponível em: <www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12334.htm>. Acesso em: 5 mai. 2018.

BRASIL. MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Plano Nacional de Mineração 2030**, Brasília: Ministério de Minas e Energia, 2010.

CASTRO, A. L. **Resina poliéster: caracterização e estudo das condições de cura e propriedades mecânicas**. Relatório de Estágio (Graduação em Química). Departamento de Química, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis/SC, jul. 2013

CASTRO, T. A.; NALINI JUNIOR, H. A.; LIMA, H. M. **Entendendo a Mineração no Quadrilátero Ferrífero**. Belo Horizonte: Ecológico, 2011. 93 p.

CHAMIS, C.C. **Analysis of The Three-Point-Bend Test For Materials With Unequal Tension And Compression Properties**. Lewis Research Center National Aeronautics and Space Administration Cleveland, Ohio, 1974.

COMMONWEALTH OF AUSTRALIA. **Mine Closure and Completion**. 2006. 63 p. Disponível em: <http://www.minerals.org.au/file_upload/files/resources/enduring_value/mine_closure.pdf>. Acesso em: 7 ago. 2016.

CONAMA. Resolução CONAMA nº.01 de 23 de janeiro de 1986. Estabelece as diretrizes gerais para uso e implementação da Avaliação de Impacto Ambiental como um dos instrumentos da Política Nacional do Meio Ambiente, entre outros. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 17 fev. 1986. Disponível em:

<<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res86/res0186.html>>. Acesso em: 7 ago. 2016.

CRUZ, L. Deslizamento de terra em mina deixa vítimas e mobiliza bombeiros em Itabirito. **Estado de Minas**, Belo Horizonte, 10 set. 2014. Disponível em:

<http://www.em.com.br/app/noticia/gerais/2014/09/10/interna_gerais,567542/deslizamento-de-terra-em-mina-deixa-vitimas-e-mobiliza-bombeiros-em-itabirito.shtml>. Acesso em: 9 nov. 2016.

CULLITY, B.D.; STOCK, S.R. **Elements of X-Ray Diffraction**. 3rd ed. Foxboro: Prentice Hall, 2001. 664 p.

DAL MOLIN, D. C. C. **Estudo da influência das resinas poliéster isoftálica e ortoftálica e do teor de cinza volante nas propriedades mecânicas e durabilidade do concreto polímero**. 2002. Tese de Doutorado. Escola de Engenharia - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre/RS, 2002.

DAMASCENO, G. C. **Geologia, mineração e meio ambiente**. Superintendência de educação aberta e a distância - SEAD. Universidade Federal do Recôncavo da Bahia - UFRB. Cruz das Almas/BA, 2017.

DEMARTINI, T.J.C. **Produção e caracterização de mármore artificial com rejeito fino de mármore dolomítico beneficiado em teares de lâminas diamantadas**. 2017. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais) - Universidade Estadual Do Norte Fluminense, Rio de Janeiro, abr. 2017.

DE SOUZA, J. G. **Análise ambiental do processo de extração e beneficiamento de rochas ornamentais com vistas a uma produção mais limpa: aplicação em Cachoeiro de Itapemirim - ES**. 42 p. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora - MG, 2007.

DE SOUZA, N. A. F. **Análise crítica de rotas de beneficiamento de mineiro de ferro itabirítico**. Dissertação (Graduação em Engenharia Metalúrgica) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010.

DNPM (DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL). **Normas Reguladoras da mineração**. Portaria nº 12 de 22 de janeiro de 2002. Disponível em: <http://www.dnpm-pe.gov.br/Legisla/nrm_00.php>. Acesso em: 5 mai. 2018.

DNPM (DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL). **Anuário Mineral Brasileiro. Principais substâncias metálicas**. Brasília, 2016. Disponível em: <<http://www.dnpm.gov.br/dnpm/publicacoes/serie-estatisticas-e-economia-mineral/anuario-mineral/anuario-mineral-brasileiro/anuario-mineral-brasileiro-2016-metalicos>>. Acesso em 5 mai. 2018

DNPM (DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL). **Compensação Financeira pela Exploração dos Recursos Minerais (CFEM)**. Brasília, 2010. Disponível em <<http://www.dnpm.gov.br/dnpm/publicacoes/serie-estatisticas-e-economia-mineral/anuario-mineral/anuario-mineral-brasileiro/anuario-mineral-brasileiro-2016-metalicos>>. Acesso em 5 mai. 2018.

DNPM (DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL). **Sumário mineral**. Brasília, 2015. Disponível em <<http://www.dnpm.gov.br/dnpm/sumarios/sumario-mineral-2015>> Acesso em 5 mai. 2018.

DNPM (DEPARTAMENTO NACIONAL DE PESQUISA MINERAL). **Sumário mineral** 2013, 20 p. Disponível em: <www.dnpm.gov.br>. Acesso em: 7 ago. 2016.

DUARTE, A. P. **Classificação das barragens de contenção de rejeitos de mineração e de rejeitos industriais no estado de Minas Gerais em relação ao potencial de risco**. 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia Sanitária) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008.

DUTRA, R. P. S.; PONTES, L. R. A. Obtenção e análise de cerâmicas porosas com a incorporação de produtos orgânicos ao corpo cerâmico. **Cerâmica**, São Paulo, v. 48, n. 308, p. 223-230, dez. 2002 . Disponível em <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0366-69132002000400010&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 10 mai. 2018.

FEAM (FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE). **Inventário estadual de barragens do estado de Minas Gerais**. Belo Horizonte, 2011. 31 p. Disponível em: <http://www.feam.br/images/stories/feam/inventario_de_barragem__2011.pdf>. Acesso em: 7 ago. 2016.

FERNANDES, F. R. C; ENRÍQUEZ, M. A. R. S; ALAMINO, R.C.J. **Recursos Minerais & Sustentabilidade Territorial**. V1. 343 p. CETEM/MCTI. Rio de Janeiro, RJ. 2011.

FILHO, R. S.; MATOS, G. M. M.; MENDES, V. A.; IZA, E. R. H. F. **Atlas de rochas ornamentais do estado do Espírito Santo**. Projeto Geologia e Recursos Minerais do Estado do Espírito Santo. CPRM, 349 p. Brasília/DF 2013.

FRASCÁ, M.H.B. de O. Caracterização tecnológica de rochas ornamentais e de revestimento: estudo por meio de ensaios e análises e das patologias associadas ao uso. In: III SIMPÓSIO SOBRE ROCHAS ORNAMENTAIS DO NORDESTE, 2002, Recife. **Anais...** Recife, PE.

GOMES, M. A. **Caracterização tecnológica no aproveitamento do rejeito de minério de ferro**. 2009. 77 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mineral) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2009.

GOMES, M. A.; PEREIRA, C. Al. PERES, A. E. C. Caracterização tecnológica de rejeito de minério de ferro. **Rem: Rev. Esc. Minas**, Ouro Preto. v. 64. n. 2. 233-236 p., jun. 2011. Disponível em <<http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0370->. Acesso em 8 mai. 2018.

IBAMA (IBAMA INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS). **Rompimento da Barragem de Fundão: Documentos relacionados ao desastre da Samarco em Mariana/MG**. Publicado em 16 de março de 2016. Disponível em <<http://www.ibama.gov.br/recuperacao-ambiental/rompimento-da-barragem-de-fundao-desastre-da-samarco/documentos-relacionados-ao-desastre-da-samarco-em-mariana-mg>>. Acesso em: 13 jun. 2017.

IBRAM (INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO). **Guia para planejamento do fechamento de mina**. 2013, 1ª Edição. 224 p. Disponível em: <<http://www.ibram.org.br>>. Acesso em: 24 jun. 2016.

IBRAM (INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO). **Informações e análises da economia mineral brasileira**. 2012, 7ª Edição. Disponível em: <<http://www.ibram.org.br>>. Acesso em: 04 jun 2016.

JENKINS, R. Instrumentation. In: ____ Modern Powder Diffraction. Washington, D.C: Mineralogical Society of America, 1989, Cap.2, p.19-43.

KARACA, Z.; HACIMUSTAFAOGLU, R.; GOKÇE, M.V. **Grain properties, grainboundary interactions and their effects on the characteristics of marbles used as building Stones**. Construction and Building Materials. 93:166-171. 2015

KOPEZINSKI, I. **Mineração x Meio Ambiente: considerações legais, principais impactos ambientais e seus processos modificadores**. Porto Alegre: Editora da Universidade, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2000, 103 p.

LIMA, A. B. T. **Aplicações de Cargas Minerais em Polímeros**. 2007. Dissertação. (Mestrado em Engenharia Mineral) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

MENEZES, R.R., SEGADÃES A. M.; FERREIRA H. S.; FERREIRA, H. C. Análise da expansão por umidade e absorção de água de pisos cerâmicos comerciais em relação à composição química e à quantidade estimada de fase vítrea. **Cerâmica**, São Paulo, v. 49, p. 72-81, abril 2003. Disponível em <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0366-69132003000200003&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 10 maio 2018.

MENEZES, R. R.; NEVES, G. A.; FERREIRA, H. C. O estado da arte sobre o uso de rejeitos como matérias-primas cerâmicas alternativas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, PB, v. 6, n. 2, p.303-313, 2002.

MENEZES, R. G.; LARIZZATTI, J. H. **Rochas ornamentais e de revestimento: conceitos, tipos e caracterização tecnológica**: Módulo I – Aperfeiçoamento Tecnológico e Caracterização Tecnológica, usos e aplicações. Departamento de Geologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2005.

NEUMANN, R.; SCHNEIDER, C. L.; ALCOVER-NETO, A. Caracterização Tecnológica de Minérios. Tratamento de Minérios, v. 4, p. 55-112, 2004.

MILONAS, J.G. **Análise do processo de reconstituição de amostras para caracterização do comportamento de barragens de rejeito de minério de ferro em aterro hidráulico**. 2006. 146 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2006.

OLIVEIRA, P. S. **Rotas para recuperação de ferro fino contido no underflow do espessador de lama da Usina de Conceição**. 2006. 112 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Metalúrgica) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2006.

OZKAN, S.; IPEKOGLU, B. **Investigation of environmental impacts of tailings dams**. Environmental Management and Health. v. 13. n°3. 242-248 p. 2002.

PRAES, P. E.; ALBUQUERQUE, R. O.; LUZ, A. F. O. Recovery of Iron Ore Tailings by Column Flotation. **Journal of Minerals, Materials Characterization and Engineering**, Belo Horizonte, vol.1, p. 212-216, 2013.

RABAHI, R. F. **Análise da resistência mecânica de vigas de mármore sintético com carga reciclada**. 2010, 192 p. Dissertação (Doutorado em Engenharia Mecânica) - Universidade de Brasília, Brasília, 2015.

Rejeitos da mineração. **Revista Pesquisa**. FAPESP - Fundação de amparo a pesquisa do estado de São Paulo. São Paulo. Edição 240. 14 p. Disponível em:
<<http://revistapesquisa.fapesp.br/2016/02/19/rejeitos-da-mineracao/>>. Acesso em: 7 mai. 2018.

RESINPLAST. **Boletim Técnico - P06, Resina Cristal R910**. Belo Horizonte, Versão: 01, set. 2011.

RIBEIRO, F.M.M., PURQUERIO, B.M. Granito Sintético Para Estruturas de Equipamentos de Precisão de Pequeno Porte - Metodologia de Projeto. In: XV CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA MECÂNICA. 1999, Águas de Lindóia, São Paulo. **Anais...** Universidade de São Paulo, USP - São Carlos, Águas de Lindóia, São Paulo. 1999.

ROCHA, L.; PERES, A.E.C. Aproveitamento econômico das lamas de ferro. **REM: Ver. Esc. Minas**, Ouro Preto, v. 62, n. 3, p. 291-295, set. 2009 . Disponível em:
<http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0370-44672009000300006&lng=en&nrm=iso>. Acesso em 07 mai 2018.

SANTOS, I. J. **Estudo da produção de concentrados de minério de ferro a partir dos rejeitos da barragem de Germano**. 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mineral) - Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2003.

SILVA, F. D. D.; OLIVEIRA, F. M. D. C.; SOUZA, J. C. D. Aplicabilidade do rejeito industrial de rochas ornamentais na indústria cerâmica”. In: VII SIMPÓSIO DE ROCHAS ORNAMENTAIS DO NORDESTE. Fortaleza. **Anais...** Fortaleza, CE. Novembro de 2009.

SILVA, J. P. S. Impactos ambientais causados por mineração. **Revista Espaço da Sophia**. n.8, 2007.

SILVA, S.F. **Desenvolvimento e caracterização de um mármore artificial produzido a partir do aproveitamento do rejeito de mármore calcítico e resina epoxídica**. 2016.

Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência dos Materiais) - Universidade Estadual do Norte Fluminense, Rio de Janeiro, 2016.

SILVEIRA, C. C. **Análise da Distribuição de Weibull aplicada à Resina Fenólica**. 2006.

Dissertação (Graduação em Engenharia de Materiais) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.

SILVEIRA, M. D. **Utilização de rejeitos da mineração na construção civil**. 2015.

Dissertação (Curso de Especialização em Construção Civil) – Universidade Federal do Estado de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2015.

TAVARES, L. M. M., **Apostila Processamento de Recursos Minerais I**: Uma introdução aos aspectos teóricos e práticos da preparação e concentração física de matérias-primas minerais. 7ª revisão. Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais, Universidade Federal do Rio De Janeiro, 1ª semestre de 2009.

THE MINING ASSOCIATION OF CANADA. **A Guide to the Management of Tailings Facilities**. 2ª edição, 68p. Ottawa, Ontario, 2011. Disponível em:

<<http://mining.ca/sites/default/files/documents/GuidetotheManagementofTailingsFacilities2011.pdf>>. Acesso em: 7 out 2017.

TOLENTINO, M. V. C **Estudo da viabilidade técnica do aproveitamento do resíduo arenoso da mineração do itabirito**. 2010. Dissertação (Mestrado em Ciências e Tecnologia das Radiações Minerais e Materiais) – Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2010.

TREVIZAN, E. V. **Aproveitamento de rejeitos da mineração**. 2013. 44 p. Dissertação (Graduação em Engenharia de Minas) – Universidade Federal de Goiás, Goiás, 2013.

O que se sabe sobre o rompimento das barragens em Mariana (MG). **UOL**, São Paulo/SP e Mariana/MG, 2015. Disponível em: <<https://noticias.uol.com.br/cotidiano/ultimas-noticias/2015/11/06/o-que-se-sabe-sobre-o-rompimento-das-barragens-em-mariana-mg.htm>>. Acesso em: 7 out. 2017.

OLIVEIRA, P. C. **Estudo do controle de formação e retomada de pilhas de minério**. 2015. Monografia - Curso de especialização em tratamento de minérios – CETM. Universidade Federal de Goiás. Catalão, GO. 2015

VARGAS, T.; MOTOKI, A.; NEVES, J.L.P. Rochas ornamentais do Brasil, seu modo de ocorrência geológica, variedade tipológica, exploração comercial e utilidades como materiais nobres de construção. **Revista de Geociências**, Niterói, 2-2, 119-132, 2001. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/265928040_ROCHAS_ORNAMENTAIS_DO_BRASIL_SEU_MODO_DE_OCORRENCIA_GEOLOGICA_VARIEDADE_TIPOLOGICA_EXPLOTACAO_COMERCIAL_E_UTILIDADES_COMO_MATERIAIS_NOBRES_DE_CONSTRUCAO>. Acesso em: 5 maio 2018.

VIEIRA, M. G. **Produção de um pellet feed a partir da concentração do rejeito da flotação mecânica da Samarco**. 2008. 90p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Metalúrgica e de Minas) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008.

WOLFF, A. P. **Caracterização de rejeitos de minério de ferro de minas da VALE**. 2009. 107 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mineral) - Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2009.

ZANOTTO, E. D.; MIGLIORE JR. A. R. **Propriedades Mecânicas de Materiais Cerâmicos: Uma Introdução**. Departamento de Engenharia de Materiais. Universidade Federal de São Carlos/SP. Cerâmica v.37, p. 247, fev. 1991.