



FUNDAÇÃO OSWALDO ARANHA
CENTRO UNIVERSITÁRIO DE VOLTA REDONDA
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
MESTRADO PROFISSIONAL EM MATERIAIS



ANDRÉA CRISTINA FÉLIX DA CRUZ

**CARACTERIZAÇÃO DO RESÍDUO DE CORTE DE MÁRMORE E
GRANITO DE MARMORARIA E ANÁLISE DA VIABILIDADE DE
SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DO CIMENTO *PORTLAND* PARA
PRODUÇÃO DE *PAVERS***

VOLTA REDONDA

2019

ANDRÉA CRISTINA FÉLIX DA CRUZ

**CARACTERIZAÇÃO DO RESÍDUO DE CORTE DE MÁRMORE E
GRANITO DE MARMORARIA E ANÁLISE DA VIABILIDADE DE
SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DO CIMENTO *PORTLAND* PARA
PRODUÇÃO DE *PAVERS***

Dissertação apresentada ao Mestrado Profissional em Materiais do Centro Universitário de Volta Redonda – UniFOA, como requisito obrigatório para obtenção do título de Mestre em Materiais, na área de concentração de processamento e caracterização de materiais aplicados à construção civil e linha de pesquisa em materiais compósitos.

Orientador: Prof. Dr. Sérgio Roberto Montoro

Coorientador: Prof. Dr. Ricardo de F. Cabral

VOLTA REDONDA

2019

FICHA CATALOGRÁFICA

Bibliotecária: Alice Tação Wagner - CRB 7/RJ 4316

C955c Cruz, Andréa Cristina Félix da.

Caracterização do resíduo de corte de mármore e granito de marmoraria e análise da viabilidade de substituição parcial do cimento Portland para produção de pavers. / Andréa Cristina Félix da Cruz. - Volta Redonda: UniFOA, 2019.

64 p. : Il

Orientador (a): Sergio Roberto Montoro

Dissertação (Mestrado) – UniFOA / Mestrado Profissional em Materiais, 2019

1. Materiais - dissertação. 2. Piso de concreto. 3. Marmoraria - reciclagem. I. Montoro, Sergio Roberto. II. Centro Universitário de Volta Redonda. III. Título.

CDD – 620.1



FUNDAÇÃO OSWALDO ARANHA
CENTRO UNIVERSITÁRIO DE VOLTA REDONDA
PRO-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
MESTRADO PROFISSIONAL EM MATERIAIS




ANDRÉA CRISTINA FÉLIX DA CRUZ

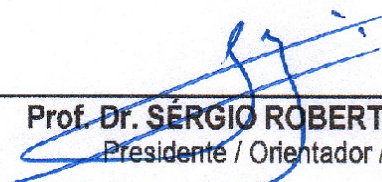
Caracterização do resíduo de corte de mármore e granito de marmoraria e
análise da viabilidade de substituição parcial do cimento Portland para
produção de pavers

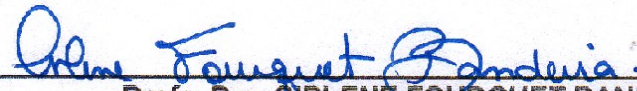
ESTA DISSERTAÇÃO FOI JULGADA ADEQUADA PARA OBTENÇÃO DO
TÍTULO DE
"MESTRE EM MATERIAIS"

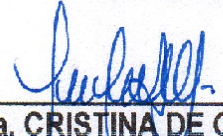
APROVADO EM SUA FORMA FINAL PELO PROGRAMA DE MESTRADO
PROFISSIONAL EM MATERIAIS


Prof. Dr. Roberto de Oliveira Magnago
Coordenador

BANCA EXAMINADORA:


Prof. Dr. SÉRGIO ROBERTO MONTORO
Presidente / Orientador / UniFOA


Profa. Dra. CIRLENE FOURQUET BANDEIRA
Examinador interno / UniFOA


Profa. Dra. CRISTINA DE CARVALHO ARES ELISEI
Examinador externo / FATEC

Setembro de 2019.

DEDICATÓRIA

Dedico esse trabalho à minha família, por ter acreditado em mim, e com todo o carinho e dedicação, me deu a esperança para seguir com segurança e certeza de que, não estou sozinha nessa caminhada.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à Deus que me deu energia para concluir esse trabalho.

Ao meu esposo Laércio Cláudio Alves da Silva e meu filho Caleb Félix da Silva que sempre foram compreensivos e me incentivaram nessa caminhada.

A todos que participaram de forma direta ou indireta nessa etapa de minha vida.

EPÍGRAFE

"Tudo quanto te vier à mão para fazer, faze-o conforme as tuas forças, porque na sepultura, para onde tu vais, não há obra nem projeto, nem conhecimento, nem sabedoria alguma."

Eclesiaste 9:10

CRUZ, A. C. F. **Caracterização do resíduo de corte de mármore e granito de marmoraria e análise da viabilidade de substituição parcial do cimento *Portland* para produção de *pavers***. 2019. Dissertação (Mestrado Profissional em Materiais). – Fundação Oswaldo Aranha, Centro Universitário de Volta Redonda, Volta Redonda, 2019.

RESUMO

O acondicionamento final dos resíduos de corte de mármore e granito de marmoraria no Brasil, geralmente é feito de forma incorreta. Assim, ambientalistas discutem sobre essa questão, uma vez que o meio ambiente e a sociedade são muito prejudicados. Dessa forma, novas práticas educativas devem ser estudadas em busca de propostas que ofereçam possibilidades de mudanças, tanto pela sociedade quanto pelas empresas geradoras de tais resíduos. Nesse entendimento, vale destacar que, resíduos sólidos como estes tendem a crescer em grandes proporções, o que torna necessário minimizar os prejuízos que causam. É fundamental implantar projetos voltados para reciclagem que visem apresentar possibilidades de solução para essa problemática, haja vista que, além de melhorar o meio ambiente pode gerar empregos e evitar doenças. O objetivo do presente estudo é avaliar a possibilidade de reciclar e reutilizar resíduos de mármore e granito substituindo parcialmente o cimento *Portland* na produção de *pavers* - pisos intertravados, trazendo benefícios para o meio ambiente, além de produzir peças que garantam a permeabilidade do solo, em conformidade com as normas vigentes. Para tanto, foi utilizado como matérias-primas, o RCMG de marmoraria, cimento, areia e água para desenvolver esse estudo, e normas brasileiras - NBRs como fonte de orientação. Foram confeccionados corpos de prova para realizar análises laboratoriais como ensaios de resistência à compressão, absorção de água, difração de raios X e microscopia eletrônica de varredura. Os ensaios foram realizados nos Laboratórios de Engenharia Civil e Ciência dos Materiais, do UniFOA. Investigou-se a viabilidade técnica para fabricação de *pavers* com substituição parcial de 10% e 20% do cimento *Portland* por resíduos de mármore e granito. Os resultados obtidos demonstraram que é viável a aplicação, pois apresentaram aumento da resistência mecânica com a substituição do cimento por RCMG - resíduo do corte de mármore e granito - na proporção de 10%.

Palavras-chave: Piso de concreto; Marmoraria; Reciclagem; Sustentabilidade.

CRUZ, A. C. F. **Characterization of the cutting cement and marble granite and analysis of the viability of partial cut of the Portland cement for the production of pavers**. 2019. Dissertation (Professional Master Of Material). – Fundação Oswaldo Aranha, Centro Universitário de Volta Redonda, Volta Redonda, 2019.

ABSTRACT

The final packaging of marble marble and granite cutting waste in Brazil is usually done incorrectly. Thus, environmentalists discuss this issue, since the environment and society are very preconc. Thus, new educational practices should be studied in search of proposals that may have possibilities of change, as well as the protection of companies that generate such residues. In this sense, the main values, like these, tend to be larger in proportions, which makes it necessary to minimize the damage they cause. This development study to recycle the present view to the risk problem with this problem, has been seen that in addition to improving environmental resources. The present study is a possibility to recycle and reuse marble and granite residues in substitution of Portland cement in the production of pavements, bringing benefits to the environment, besides guaranteeing that the pieces have guaranteed the permeability of the soil, according to the norms. The power. For this, it was used as raw material the residues of marble and granite marble, cement, sand and water for the accomplishment of this study, and the Brazilian norms - NBRs as source of orientation. The specimens were made for laboratory analysis, such as compressive strength, water absorption, X-ray and scanning electron microscopy tests. The tests were performed at UniFOA's Civil Engineering and Materials Science Laboratories. A technical feasibility for the manufacture of 10% and 20% of Portland cement partial pavements by marble and granite residues was investigated. The results obtained so far have shown that the application is feasible, since there was an increase in mechanical resistance with the replacement of cement by RCMG - marble and granite cutting residue - in the proportion of 10%.

Keywords: Concrete floor; Marmoraria; Recycling; Sustainability.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Resíduos de marmoraria	25
Figura 2. Uso da água no processo de beneficiamento das rochas ornamentais ...	26
Figura 3. Fluxo da água na montagem e acabamento	27
Figura 4. Caixa Retentora.....	28
Figura 5. Rua de Paraty-RJ: pavimentada com pedras pé-de-moleque	35
Figura 6. Corte esquemático: assentamento de intertravados	36
Figura 7. Tipos de pisos intertravados de concreto	36
Figura 8. Fluxo de atividade do projeto	38
Figura 9. Beneficiamento do RCMG	40
Figura 10. Preparo da amostra de RCMG.....	42
Figura 11. Teste <i>Slump</i> para aferição da fluidez	44
Figura 12. Corpos de prova no período de cura inicial.....	45
Figura 13. Ensaio de resistência à compressão axial.....	47
Figura 14. Microscopia Eletrônica de Varredura.....	48
Figura 15. Amostra no difratômetro.....	48
Figura 16. Microscopia Eletrônica de Varredura do resíduo.....	50
Figura 17. Imagens do concreto aos 28 dias de cura - 0% de resíduo.....	55
Figura 18. Imagens do concreto aos 28 dias - 10% de resíduo.....	55
Figura 19. Imagens do concreto aos 28 dias - 20% de resíduo.....	56

LISTA DE TABELA

Tabela 1. Tipos de cimento <i>Portland</i> comercializados no Brasil	31
Tabela 2. Proporções teóricas pretendidas por traço com as adições.....	41
Tabela 3. Séria de Peneiras utilizadas para ensaio de granulometria	43
Tabela 4. Preparação dos corpos de prova	43
Tabela 5. Distribuição granulométrica dos Materiais	49
Tabela 6. Resultado do ensaio de resistência à compressão axial.....	52
Tabela 7. Absorção de água e Índices de vazios	53
Tabela 8. Durabilidade do concreto em função da absorção de água	54

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Difratoograma do RCMG	51
Gráfico 2. Resultado do ensaio de resistência à compressão axial.	52
Gráfico 3. Resultado do ensaio de absorção de água.....	53
Gráfico 4. Resultado do ensaio de índices de vazios.....	54
Gráfico 5. Difratoograma do concreto sem adição do RCMG	56
Gráfico 6. Resultado do ensaio de índices de vazios e absorção de água.....	57
Gráfico 7. Resultado do ensaio de índices de vazios e absorção de água.....	58

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1. Relação água cimento	44
Equação 2. Absorção de água.	46
Equação 3. Índices de vazios.	46
Equação 4. Tensão de ruptura.	47

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

A	Área
A/C	Razão entre o volume de água e o volume de cimento,
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas.
ABCP	Associação Brasileira de Cimento <i>Portland</i> .
ARI	Alta resistência inicial
BRITA 0	Pedra britada de dimensões reduzidas em relação a brita
°C	Graus célsius.
CAD	Concreto de Alto Desempenho.
cm	Centímetros.
cm ²	Centímetros quadrados.
cm ³	Centímetros cúbicos.
CP	Corpo de prova.
DMC	Diâmetro Máximo Característico
DNPM	Departamento Nacional de Produção Mineral
DRX	Difração de raio x
F	Força.
F _c	Resistência característica do concreto.
F _{ck}	Resistência característica do concreto a compressão (F=Resistência; c=Compressão; k=Característica).
FIHP	<i>Federación Iberoamericana de Hormigón Premesclado</i>
F _{tmk}	Resistência característica média do concreto à tração depois de curado (F=Resistência; t=tração; m= média; k=característica).
g	Grama - Unidade de quantidade de massa de um corpo, definida no SI (Sistema Internacional de Unidades).

h	Hora - Unidade de tempo equivalente a 60min (sessenta minutos).
kg	Quilograma - Unidade de quantidade de massa de um corpo, definida no SI (Sistema Internacional de Unidades).
kN	Quilo Newton - Unidade de Pressão chamada de “quilo Newton” equivalente a 100kgf no SI (Sistema Internacional de Unidades).
m	Metros
mm	Milímetros
MEV	Microscópio Eletrônica de Varredura
MPa	Mega Pascal - Unidade de Intensidade de força, pressão ou tensão (em esforços de compressão ou tração). definida no SI (Sistema Internacional de Unidades).
MF	Módulo de finura
M_i	Massa saturada imersa
M_s	Massa seca
M_{sat}	Massa saturada
N	Newton - Unidade de intensidade de força ou pressão definida no SI (Sistema Internacional de Unidades).
NTS	Norma técnica SABESP
NBR	Norma Brasileira - Prefixo que precede os números das normas ABNT
O	Elemento químico Oxigênio
RCC	Resíduo da Construção Civil
RCMG	Resíduo de Corte de Mármore e Granito
SABESP	Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo
Si	Elemento químico Silício

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	19
1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....	19
1.1.1 Contexto.....	20
1.1.2 Descrição do problema.....	20
1.1.3 Relevância.....	21
1.2 OBJETIVOS.....	21
1.2.1 Objetivo Geral.....	21
1.2.2 Objetivos Específicos.....	21
1.3 JUSTIFICATIVA.....	23
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	23
2.1 ROCHAS ORNAMENTAIS.....	23
2.2 MARMORARIA.....	24
2.3 CONCRETO.....	29
2.4 HISTÓRICO DA PAVIMENTAÇÃO.....	34
2.4.1 Pisos intertravados de concreto.....	35
2.4.1.1 Uso de RCMG na confecção de <i>pavers</i>	37
3 MATERIAIS E MÉTODOS	38
3.1 MATERIAIS	38
3.1.1 Cimento.....	39
3.1.2 Resíduo do corte de mármore e granito (RCMG).....	39
3.1.3 Areia.....	39
3.1.4 Brita.....	39
3.1.5 Água.....	39

3.1.6 Aditivo	39
3.2 MÉTODOS	40
3.2.1 Coleta e beneficiamento do Resíduo	40
3.2.2 Caracterização das matérias primas	40
3.2.2.1 Análise da composição granulométrica.....	40
3.2.2.2 Microscopia de Varredura Eletrônica - MEV do RCMG.....	41
3.2.2.3 Difração de raios-X do RCMG	45
3.2.3 Corpos de Prova	46
3.2.3.1 Determinação do traço para confecção dos corpos de prova.....	46
3.2.3.2 Preparação dos moldes.....	47
3.2.3.3 Confecção dos corpos de prova.....	47
3.2.4 Ensaio com os corpos de prova	49
3.2.4.1 Absorção de Água e Índices de Vazios dos CP's cilíndricos.....	49
3.2.4.2 Resistência à compressão axial.....	50
3.2.4.3 Microscopia Eletrônica de Varredura do concreto.....	51
3.2.4.4 Difração de raio-X do concreto.....	51
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	52
4.1 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS COMO RECEBIDOS	52
4.1.1 Análise Granulométrica dos agregados	52
4.1.2 Microscopia Eletrônica de Varredura do RCMG	52
4.1.3 Difração de Raios-X do RCMG	53
4.2 CARACTERIZAÇÕES DOS CORPOS DE PROVA	54
4.2.1 Resistência à compressão axial	54
4.2.2 Absorção de água por imersão e Índices de vazios	55

4.2.3 Microscopia Eletrônica de Varredura do concreto.....	57
4.2.4 Difração de raio-X do concreto.....	59
5 CONCLUSÕES	62
6 TRABALHOS FUTUROS.....	63
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	64

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

A poluição ambiental pode ocorrer de diversas formas, uma delas são os resíduos industriais que além de causar problemas ao meio ambiente, apresentam graves danos socioeconômicos. Pode-se afirmar que a reutilização dos rejeitos sólidos gerados na Indústria da Construção Civil, contribui para a redução dos custos e danos ambientais, quando tratados ou dado a destinação correta (LUCAS; BENATTI, 2008).

O setor da construção civil utiliza de forma abundante, diversos recursos naturais, dentre estes, as rochas ornamentais, que são largamente usadas como pisos, acabamentos, revestimentos, mobiliários, dentre outros. Sendo assim, promove grande impacto ambiental, em virtude da alta produção de resíduos, os chamados resíduos de construção civil - RCC (FILHO CHIODO; RODRIGUES, 2009).

Nas oficinas de beneficiamento (marmorarias), mármores e granitos, ainda em sua forma bruta, são recortadas e polidas. Neste processo, resíduos líquidos e sólidos são gerados (FILHO CHIODO; RODRIGUES, 2009).

Consequentemente, reciclar e reutilizar são alternativas relevantes na busca do desenvolvimento sustentável, tendo em vista a economia de matérias-primas não renováveis e de energia, assim reduz-se os impactos ambientais (MENEZES; SOUZA; MELO; FERREIRA, 2009).

Independente da fonte geradora, a produção de resíduos ainda é um grande desafio a ser solucionado pela sociedade contemporânea, como exemplo, a destinação final do lixo, especificamente neste estudo, os resíduos sólidos de mármore e granito (RODRIGUES; FERREIRA, 2010).

A empregabilidade destas rochas é benéfica, porém, os rejeitos gerados prejudicam ao meio ambiente, por serem derivados industriais de mármore e granito. Os problemas mais relevantes neste setor são a ausência de gestão sustentável dos recursos; a quantidade de resíduos gerados; entre outros. A vista disso, a utilização em grande escala de rochas ornamentais traz impactos ambientais como a poluição aérea e promove o assoreamento dos rios (ALIABDO; ELMOATY; AUDA, 2014).

Nesse seguimento, as empresas poluidoras, têm sido levadas a conscientização para um desenvolvimento sustentável, ou seja, progredir sem prejudicar futuras gerações. O essencial no momento é encontrar meios para obter o progresso respeitando o meio ambiente.

Nesse sentido, acredita-se que a reciclagem de resíduos de granito na fabricação de *pavers* seja relevante, devido ao fato de contribuir para preservação ambiental, tendo em vista a possibilidade de reduzir o consumo de cimento *Portland*, uma vez que sua produção gera poluentes, além de evitar que tais rejeitos sejam inadequadamente armazenados, observando-se os princípios de sustentabilidade e responsabilidade social. Para tanto, é recomendado reciclar o material ora em estudo, antes de descartá-lo totalmente no meio ambiente.

Em vista disso, pretende-se avaliar de forma experimental a incorporação dos resíduos de mármore e granito na fabricação de *pavers*, pisos intertravados, utilizando-se das metodologias conforme os procedimentos das Normas da ABNT e da Ciência dos Materiais.

1.1.1 Contexto

A reciclagem e a reutilização dos rejeitos contribuem para o desenvolvimento sustentável. São alternativas que devem ser utilizadas para que estes tenham um desígnio correto. Assim, esse estudo busca demonstrar a possibilidade de dar uma destinação adequada para a escória de mármore e granito proveniente do corte e polimento das rochas ornamentais. Para demonstrar a viabilidade de substituir parcialmente o cimento *Portland* por tais resíduos na produção de *pavers*. Buscar-se-á possibilidades de utilizá-los por meio de tecnologias e projeto, dando-lhes uma destinação correta, em conformidade com as Normas da ABNT e a Ciência dos Materiais.

1.1.2 Descrição do problema

É sabido que os resíduos de modo geral, se não tiverem a destinação correta, causam danos ambientais. Dentre as diversas formas de poluição ambiental estão os resíduos industriais de marmorarias. É muito grande a quantidade de rejeitos gerados pelo setor de rochas ornamentais, nas etapas de corte e beneficiamento.

Esses resíduos geralmente são descartados em locais inapropriados, contaminando o ar, a água, gerando assim, danos à saúde humana e de animais, além da poluição visual.

1.1.3 Relevância

O presente estudo é relevante devido ao fato de se demonstrar meios alternativos que possibilitem reciclar e reutilizar os resíduos de mármore e granito, oriundos das oficinas de beneficiamento. Para tanto pretende-se demonstrar a viabilidade da substituição nas proporções de 10% e 20% do cimento Portland por rejeito pastoso de mármore e granito, também conhecido como lodo ou lama de marmoraria, para fabricação de *pavers*.

Com isto, o meio ambiente será beneficiado, além de produzir peças que garantam a permeabilidade do solo, de acordo com as normas referentes à sustentabilidade.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

O presente trabalho tem como objetivo geral, analisar a viabilidade de se utilizar parcialmente os resíduos de mármore e granito no concreto para produção de *pavers*.

1.2.2 Objetivos específicos

- Identificar, analisar a possibilidade de se utilizar os resíduos de mármore e granito;
- implementar tecnologias e projeto, contribuindo com o desenvolvimento sustentável;
- Demonstrar a possibilidade de se evitar o descarte do resíduo de mármore e granito gerado nas marmorarias, reduzindo o impacto ambiental;

- Analisar os principais fatores que podem influenciar na fabricação de *pavers* quanto à resistência mecânica, absorção de água e índices de vazios, dentre outras.

1.3 JUSTIFICATIVA

Diante da quantidade de rejeitos industriais gerados no setor da construção civil, principalmente pelas indústrias de beneficiamento de mármore e granito, foco do presente estudo, tornou-se necessário investigar alternativas que promovam a reciclagem, assim como sua reutilização. Dessa forma, buscou-se utilizá-los como insumo na fabricação de novos produtos, diminuindo a emissão de poluentes e melhorando as condições de saúde.

Nessa perspectiva, esse estudo tem como foco principal demonstrar a viabilidade de substituir parcialmente o cimento *Portland* por resíduos de mármore e granito, dando-lhes uma destinação correta.

O resíduo foi coletado em uma marmoraria localizada no município de Volta Redonda. Após preparação, foi levado para o Laboratório do Centro Universitário de Volta Redonda, UniFOA, onde os corpos de provas foram preparados para posteriormente, realizar as análises por meio de ensaios apropriados.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 ROCHAS ORNAMENTAIS

São consideradas rochas ornamentais, aquelas que após serem beneficiadas, destacam características exclusivas, em virtude da estrutura, textura e disposição dos minerais (ABREU; RUIZ; CARUSO, 1990).

Brandão, Sardou e Queiroz (1991), afirmam que essa nomenclatura contribui para especificar as rochas que apresentam características de “pedras ornamentais”, que são aquelas que podem ser utilizadas como adornos *in natura*, de diversas formas.

As rochas ornamentais recebem uma classificação petrológica precisa. No entanto, nas transações comerciais, subdividem-se em dois grupos, mármore e granitos. Os aspectos estéticos mais importantes são a cor, textura, tamanho do grão, como também as características tecnológicas como durabilidade (GIACONI; 1998).

O granito é considerado rocha ígnea, excessivamente rígida, composta de muitos minerais, atribuindo-lhe geralmente coloração rosada para grafite ou preto. O termo granito (granite). é um agrupamento enorme no setor de rochas ornamentais (LLOPE, 2011).

A composição mineralógica desses granitos está associada a diferentes aglutinações. O quartzo, feldspato, mica e os anfibólios são os minerais que dominam as rochas graníticas e granitoides. As rochas graníticas são consideradas no setor industrial, como: granito propriamente dito, dioritos, granodioritos, sienitoa, dentre outras, e apresentam dureza 7 na escala de *mohs* (ABREU; RUIZ; CARUSO, 1990).

Quanto ao termo, mármore, abrange as rochas metamórficas, predominando em sua composição o calcite. Qualquer calcário ao receber um polimento superficial, pode ser considerado mármore, que apresenta uma pluralidade de cores que provém de sedimentos e outros minerais (CEVIK *et al.*, 2010).

Mármore e granito têm sido muito utilizados na construção civil devido sua maior resistência e durabilidade, tendo em vista os padrões estéticos e possibilidades de criatividade em pisos e fachadas.

Os quartzitos, serpentinitos e ardósias também são rochas ornamentais, considerados tipos secundários, porém, não se enquadram nos grupos dos mármore e granitos (SANTOS; CHIODI FILHO, 1991).

2.2 MARMORARIA

A palavra “Marmoraria” é utilizada para definir o local onde placas de rochas, ainda em estado bruto, principalmente mármore e granito, são transformadas em peças ornamentais e utilizadas na construção civil.

As marmorarias produzem peças de diversas formas, de beleza rara e de grande relevância econômica. O desenvolvimento das atividades em uma marmoraria, envolve transporte de chapas, polimentos, cortes e acabamentos, gerando poeira, ruídos, vibração, resíduos líquidos, sólidos dentre outros (MANUAL REFERÊNCIA, 2008).

Estima-se que a produção anual de matérias-primas da atividade de beneficiamento de rochas, é em média de 27 toneladas de revestimentos em ladrilhos, pisos e azulejos de mármore, de granito e areia fina, soleiras e rodapés, além de peças especiais como placas para balcões, bancadas de pia, bancadas de lavatórios, mesas e colunas (SAMUDIO *et al.*, 2017).

O funcionamento de uma marmoraria deve estar de acordo com a portaria nº 43 (2008) do Ministério do Trabalho e Energia, que não permite atividades a seco. Para a montagem e o acabamento das peças, é necessário equipamentos pneumáticos e refrigerado por água, específicos para cortes a úmido, evitando que altas temperaturas e a poeira, resultante do processo de corte, afetem o ambiente operacional, assim como a saúde dos profissionais envolvidos. Destaca-se ainda que a transformação da matéria-prima gera esgotos industriais e resíduos sólidos (SAMUDIO *et al.*, 2017).

A NBR 13.402 de 1995, caracteriza as cargas poluidoras em efluentes líquidos industriais e domésticos e a NBR 10.004 de 2004, trata dos resíduos sólidos. A carga poluidora origina-se do não aproveitamento integral dos materiais ou substâncias envolvidas em processos de transformação, resultando o lançamento de resíduos em corpos receptores.

Geralmente as marmorarias geram resíduos líquidos e sólidos (Figura 1), e nem sempre são reaproveitados. Os esgotos industriais são construídos a partir de um composto de água e rochas que se decantam produzindo um resíduo pastoso, que é o lodo ou lama. Geram ainda os resíduos intermediários, produzidos pela abrasão das pastilhas do disco de corte de peças e polimento de peças, que são as partículas oriundas das ferramentas (BRASIL, 2008).

Figura 1. Resíduos de marmoraria



Fonte: AUTORA (2018).

Os resíduos são classificados em resíduos de classe I, “perigosos” e resíduos de classe II, “não perigosos”. São considerados perigosos, os rejeitos que apresentam periculosidade ou características como: inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade e patogenicidade. Já os resíduos não perigosos, são os seguintes: resíduo de restaurante (restos de alimentos), sucata de metais ferrosos, sucata de metais não ferrosos, resíduo de papel e papelão, resíduos de plástico polimerizado, resíduos de borracha, resíduo de madeira, resíduo de materiais têxteis e bagaço de cana (NBR 10.004, 2004).

Os resíduos sólidos gerados nas marmorarias se classificam como não perigosos. Conforme anexo H, da instrução normativa, não são considerados inflamáveis, corrosivos, radioativos, tóxicos ou patogênicos, porém as concentrações de solubilidade devem ser tratadas. (NBR 10.004, 2004).

Nesse entendimento, os resíduos gerados nas marmorarias são os esgotos domésticos e esgotos industriais (líquido).; o lodo ou lama (pastoso).; e os retalhos, pedaços de chapas, filetes e faixa de corte (sólidos), (MORAES, 2006).

De acordo com Samudio *et al.*, (2017), observa-se que nas marmorarias ocorrem alguns problemas. No processo de corte a água após ser usada, escoam pela superfície dos materiais cortados e pelos equipamentos, percorrendo duas direções conforme demonstrado na Figura 2. No processo, o fluxo da água permeia o corte escoando sobre a chapa e cai por força da gravidade por meio de orifícios e frestas da mesa de corte, chegando ao primeiro tanque onde acontece a sedimentação e decantação. Nesse reservatório, é gerado um efluente constituído de partículas e a água utilizada no processo.

Figura 2. Uso da água no processo de beneficiamento de rochas ornamentais



Fonte: AUTORA (2018).

Na seção de acabamento e montagem, novamente a água percorre no processo de corte, ocorrendo a queda no piso da oficina de acordo com a Figura 3. Para tanto deve-se implantar um sistema de coleta, para que os colaboradores trabalhem com segurança (SAMUDIO *et al.*, 2017).

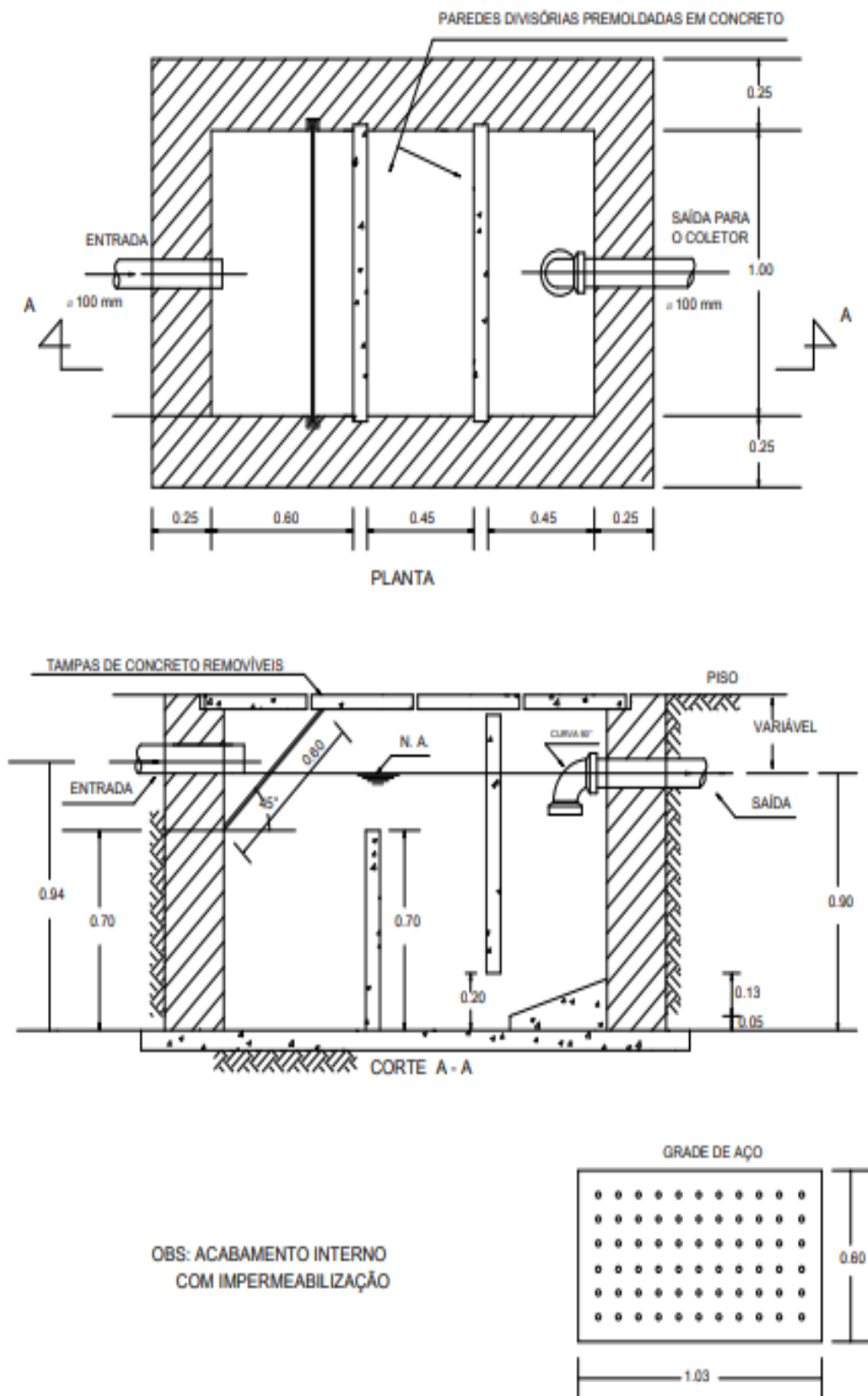
Figura 3. Fluxo da água na montagem e acabamento



Fonte: AUTORA (2018).

A Figura 4 apresenta a segunda parte do processo do esgoto industrial por meio de condutos abertos até a caixa retentora, que foi adaptada para essa finalidade conforme (SABESP, 2015).

Figura 4. Caixa retentora



Fonte: Adaptado de SABESP, 2015.

Nessa fase ocorre a sedimentação das partículas e decantação do líquido, produzindo lodo em forma de lama de rocha. As partículas são em granulometria reduzida. Após tratamento o efluente pode ser lançado na rede de esgoto sanitário de acordo com as exigências da legislação vigente, o que possibilita redução de custos de consumo de água com o reuso após tratamento (SAMUDIO *et al.*, 2017).

O Brasil está entre os maiores países produtores de rochas ornamentais do mundo, com uma produção em torno de 600 tipos de rochas comerciais, derivadas de quase 1500 jazidas. No beneficiamento de granito e mármore cerca de 250 empresas administram mais de 1500 teares, com capacidade produtiva de 40 milhões de metros quadrados por ano (SINROCHAS, 2003).

Frente aos dados de produção, a geração de resíduos nas marmorarias é muito elevada, visto que no processo de corte e polimento, a rocha sofre um desgaste de no mínimo 7 milímetros (SINROCHAS, 2003).

De acordo com os tipos de resíduos eles podem ser reciclados, reaproveitados ou reutilizados. Eles se apresentam no estado sólido ou líquido, devendo receber uma destinação ou um tratamento adequado (PEREIRA; TOCCHETTO, 2004).

A Lei nº 12.305 de 02 de agosto de 2010, que trata da Política Nacional de Resíduos Sólidos, foi criada com o propósito de direcionar procedimentos concernentes à gestão integrada e ao gerenciamento de resíduos sólidos.

O manejo inadequado desses resíduos, acarreta grandes impactos para a natureza, além de prejudicar a saúde humana. Os resíduos sólidos descartados inadequadamente acumulam águas pluviais formando ambientes propícios à proliferação de diversas doenças como a dengue e a febre amarela.

2.3 CONCRETO

O concreto é material construtivo, encontrado nas casas de alvenaria, nos edifícios, em rodovias, pontes, pisos intertravados, dentre outras. Presume-se que se consome por ano em torno de onze bilhões de toneladas de concreto. A *Federación Iberoamericana de Hormigón Premesclado* (FIHP). afirma que o consumo médio anual é aproximadamente de 1,9 tonelada de concreto por habitante (IBRACON, 2009).

De acordo com a ASTM (*American Society for Testing and Materials*), concreto é definido como um material compósito constituído de aglomerante (cimento e água) aglutinando partículas de naturezas diferentes. A areia, pedregulho, seixos, rocha britada, e demais tipos de resíduos são agregados que compõem o concreto. Além disso, no estado fresco, o concreto pode ter suas propriedades alteradas quando se adiciona substâncias químicas como os aditivos (IBRACON, 2009).

2.3.1 Cimento

É um produto que apresenta características adesivas e coesivas, tornando possível ligar partículas de minerais entre si, formando um todo consistente. A utilização de materiais que possuem propriedades cimentícias com finalidade de construir é uma prática muito ancestral na história da civilização (NEVILLE, 1982).

Os assírios e babilônios faziam suas moradias com argilas não cozidas, misturadas com fibras vegetais. Os egípcios ao construir as pirâmides, introduziam argamassas de cales e gesso. Os gregos aprimoraram esses materiais utilizando calcário calcinado, mas a produção de um cimento de durabilidade singular foi de responsabilidade dos romanos, que acrescentaram cinzas vulcânicas às argamassas de argila e cal (KIHARA; CENTURIONE, 2005).

Em 1756, o inglês John Smeaton, passou a desenvolver o cimento com mais qualidade. Ele conseguiu obter um produto com elevada resistência através de calcinação de calcários moles e argilosos. Em 1818, o inventor do cimento artificial, o francês Vicat, alcançou resultados parecido aos de Smeaton misturando componentes argilosos e calcários (KIHARA; CENTURIONE, 2005).

Em 1824, Joseph Aspdin, construtor inglês, fez um experimento queimando pedras calcárias e argila simultaneamente, obtendo um pó fino. Essa mistura ao secar, ficava dura como as pedras utilizadas nas construções, visto que ao ser misturado com a água não dissolvia. Esse produto foi nomeado de cimento *Portland*, por ser durável, sólido como as rochas da ilha britânica de *Portland* (KIHARA; CENTURIONE, 2005).

O cimento *Portland* é um composto de: Silicato tricálcico (C_3S), Silicato dicálcico (C_2S), Aluminato tricálcico (C_3A). e Ferro aluminato tetracálcico (C_4AF). Os responsáveis pelas primeiras reações são os aluminatos, atingindo valores inferiores

de resistência aos esforços mecânicos. Os silicatos são fundamentais em relação à resistência, sendo o C_3S nas primeiras idades e o C_2S em idades maiores (PETRUCCI, 2007).

Com o aprimoramento do cimento *Portland*, surgiram outros materiais que foram incorporados em sua composição, produzindo os cimentos com adições, melhorando assim a qualidade dos cimentos. As adições favoreceram a obtenção de melhor desempenho a um custo de produção menor. As escórias granuladas de alto-forno e os materiais pozolânicos naturais e artificiais são os materiais essenciais para serem adicionados ao cimento (PETRUCCI, 2007).

No Brasil vários tipos de cimento são comercializados com várias adições minerais e diferentes aplicações. Na Tabela 1, estão relacionados esses tipos de cimento.

Tabela 1. Tipos de cimento Portland comercializado no Brasil

Nome técnico do Cimento Portland	Sigla	Classes	Conteúdo dos componentes (%).			
			Clínquer + gesso	Escória	Pozolana	Filler calcário
Comum	CPI	25,32,40	100	-	0	-
Comum com Adição	CPI-S	25,32,40	99-95	-	1-5	-
Composto com Escória	CPII-E	25,32,40	94-56	6-34	0	0-10
Composto com Pozolana	CPII-Z	25,32,40	94-76	0	6-14	0-10
Composto com Filler	CPII-F	25,32,40	94-90	0	0	6-10
Alto Forno	CPIII	25,32,40	65-25	35-70	0	0-5
Pozolânico	CPIV	25,32	5-45	0	15-50	0-5
Alta Resistência inicial	CPV-ARI	-	100-95	0	0	0-5
Resistência a Sulfatos	RS	25,32,40	-	-	-	-
Baixo Calor de Hidratação	BC	25,32,40	-	-	-	-
Branco Estrutural	CPB	25,32,40	-	-	-	-

Fonte: Adaptado de KIHARA e CENTURIONE (2005).

O cimento é utilizado no mundo como o principal componente do concreto. De acordo com os relatórios técnicos do WBCSD – *World Business Council for Sustainable Development*, que visa ratificar o desenvolvimento sustentável - conforme o crescimento econômico, respeito pelo ambiente, e progresso social,

demonstrou que a indústria do cimento é responsabilizada por 5% do CO₂ que o homem produz a nível mundial, contribuindo com as alterações climáticas (NEVILLE, 1982).

2.3.2 Água

A água é um componente tão importante quanto o cimento para o concreto. Tem a finalidade de gerar reações de hidratação dos compostos do cimento, levando ao seu endurecimento, e aumentar a trabalhabilidade.

As substâncias anidras presentes no cimento *Portland*, ao entrar em contato com a água, formam produtos hidratados. O cimento ao ser hidratado transforma os compostos anidros mais solúveis em compostos hidratados menos solúveis. Esse processo de hidratação envolve a estabilização dos minerais do clínquer por meio da água, em temperatura ambiente, o que gera compostos mineralogicamente, como o C-S-H, etringita e portlandita (PETRUCCI, 2007).

Esta hidratação do cimento *Portland* depende da relação água-cimento, finura, temperatura, procedimentos de cura e outros fatores físicos e não somente dos componentes mineralógicos do clínquer e das adições ativas do cimento. Desse modo, os elementos químicos, junto com a água, rearranjam-se em novos sistemas cristalinos, dando rigidez à mistura (KIHARA; CENTURIONE, 2005).

2.3.3 Agregados

Os agregados são materiais granular que não possuem forma, volume definidos, e são inertes, ideais para serem usados em obras de engenharia. Geralmente estão presentes na elaboração de bases para calçamentos, confecção de argamassas e concretos, dentre outras (PETRUCCI, 2007).

As propriedades dos agregados influenciam na durabilidade e no desempenho estrutural do concreto, por serem ligados num todo monolítico através da pasta de cimento. Devido a suas características técnicas, o concreto passa a ter mais estabilidade dimensional e resistência em relação à pasta de cimento pura (NEVILLE, 1982).

Os agregados podem ser grãos e miúdos, de acordo com sua origem. Mehta e Monteiro (1994), afirmam que fragmentos maiores do que 4,8 milímetros

são agregados graúdos e os menores do que 4,8 milímetros são agregados miúdos.

Recebem ainda uma classificação como naturais que são: areia, cascalho, pedras e artificiais, rejeitos originários das siderúrgicas, dentre outros. Quanto à categoria dos agregados artificiais, inclui ainda os materiais processados termicamente, como argila, que ao ser difundido, são usados produção de concreto leve.

2.3.4 Agregados aditivos

São elementos adicionados ao concreto com o objetivo de reforçar algumas características, até mesmo facilitar seu preparo e utilização. De acordo com a NBR 12.655:2015, aditivos são materiais que se adiciona ao concreto no decorrer do processo de mistura, sendo que a quantidade não pode ser acima de 5% sobre a massa do cimento contido no concreto, para alterar as propriedades da mistura no estado fresco e/ou no estado endurecido (PETRUCCI, 2007).

A aplicação de aditivos no concreto tem a finalidade de aprimorar a trabalhabilidade, agilizar a pega, acelerar o endurecimento nas idades exordiais, dentre outras. Segundo Andrade e Helene (2007), os aditivos superplastificantes, contribuem para que o concreto seja mais resistente e mais durável. Seu uso provoca alteração na reologia da pasta que fica mais fluida.

2.3.5 Adições Minerais

As adições têm como objetivo somar ou substituir de forma parcial o cimento. Já os aditivos, esses têm a função de alterar as características do cimento, sem modificar sua proporção na composição do concreto. Conforme sua ação físico-química no concreto, as adições minerais são classificadas nos grupos de materiais pozolânicos, materiais cimentantes e filler (MEHTA; MONTEIRO, 1994).

2.4 HISTÓRICO DA PAVIMENTAÇÃO

Para garantir a comunicação entre os povoados, surgiu a necessidade de construir caminhos, atalhos e estradas, devido as grandes distâncias que existiam (FIORITI, 2007).

Pioneiros na construção de caminhos com a finalidade de transportar cargas e pessoas entre as vilas e colônias, os povos Etruscos, dominaram a Itália no período de 800 a 350 a.C. Os Etruscos se preocupavam com conforto, dessa forma, utilizavam materiais disponíveis na época para fazer acabamento plano nas superfícies, utilizando técnicas para ligar as distâncias, resultando em uma evolução de procedimentos (KNAPTON,1996).

Com isso, os Romanos expandiram seu império por meios dos conhecimentos que herdaram dos Etruscos e dos materiais disponíveis, considerando ainda sua relevância. Faziam os revestimentos usando solos arenosos, misturado com pedras naturais. Os caminhos foram construídos devido à necessidade de transportar os exércitos com celeridade para qualquer parte do território (MULLER, 2005).

Para isso os romanos faziam seus revestimentos de pedras talhadas, visto que tinha mais resistência ao desgaste. No século XVIII, veio a preocupação em manter as juntas estreitas entre as peças, surgindo os modelos de assentamento em fileiras ou tipo espinha de peixe. No século XX, iniciou-se a prática de selar as juntas com argamassa de cimento ou com uma mistura de asfalto e areia (CRUZ, 2003).

No Brasil, esse tipo de pavimento recebe a denominação de paralelepípedos ou paralelos e pé de moleque. Ainda são utilizados atualmente em cidades do interior do país (Figura 5). ou em baias de ônibus de cidades grandes (CRUZ, 2003).

Figura 5. Rua de Paraty-RJ pavimentada com pedras pé-de-moleque.



Fonte: WIKIPEDIA - História de Paraty (texto digital).

A pavimentação com blocos intertravados cresceu no mundo todo de forma relevante desde 1980. É utilizado em ambientes variados, já que possibilita harmonização estética e estrutural. O desenvolvimento desse sistema proporcionou equilíbrio entre aspectos ambientais, tecnológicos e econômicos (FIORITI, 2007).

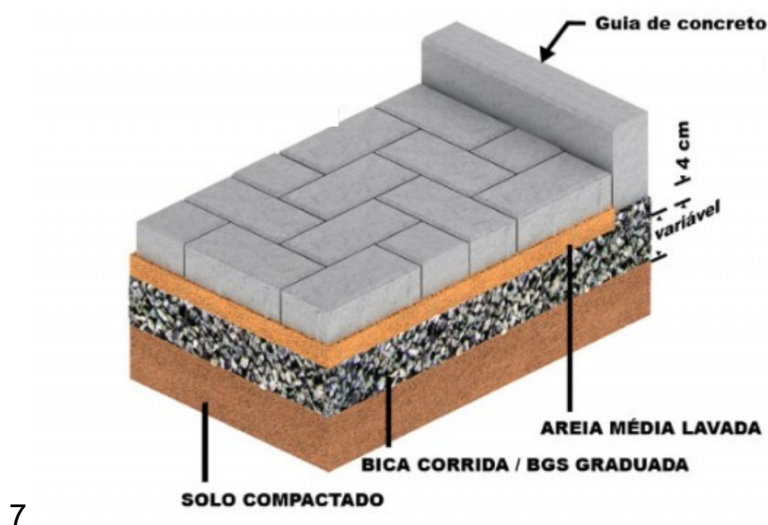
2.4.1 Pisos intertravados de concreto

Os pavimentos são classificados como pavimentos flexíveis ou rígidos. Os pavimentos flexíveis são aqueles que recebem revestimentos asfáltico (CAUQ). Já os pavimentos rígidos são aqueles revestidos de placas de concreto de cimento *Portland* (PCS).

Os pisos intertravados de concreto encontram-se no grupo dos pavimentos rígidos e são utilizados principalmente no revestimento de acostamentos, recuos, pátios e vias de baixo tráfego ou baixa velocidade (DNIT, 2004).

Conhecidos como *pavers* ou *paviess*, os blocos intertravados de concreto, são pré-fabricados, maciços e que viabiliza pavimentar de forma plena uma superfície. O intertravamento capacita o material resistir aos movimentos de deslocamento individual, horizontal, vertical, de rotação ou giração em relação às peças adjacentes, conforme Figura 6 (FIORITI, 2007).

Figura 6. Corte esquemático: assentamento intertravado



7
 Fonte: http://www.rhinopisos.com.br/mobile/instrucoes_de_colocacao

Os blocos intertravados se destacam devido as vantagens que oferecem, como o fácil assentamento, rápida liberação da pavimentação para o tráfego, acessibilidade às redes subterrâneas, praticidade na manutenção e durabilidade. Além disso, esse produto se destaca devido a sua eficácia ambiental, permeabilizando o solo e possibilitando que rejeitos sejam utilizados em sua composição. Atualmente é possível encontrar uma grande diversidade de modelos, tamanhos e cores de blocos, Figura 7 (FIORITI, 2007).

Figura 7. Tipos de pisos intertravados de concreto



Fonte: <http://www.neoblocosp.com.br/produtos/piso-intertravado>

2.4.1.1 **Uso de RCMG na confecção de *pavers***

A maioria dos processos que tem como meta a atividade econômica, gera resíduos, na forma de gases, líquidos ou sólidos, que degradam o meio ambiente, dificultando um desenvolvimento sustentável (GONÇALVES, 2000).

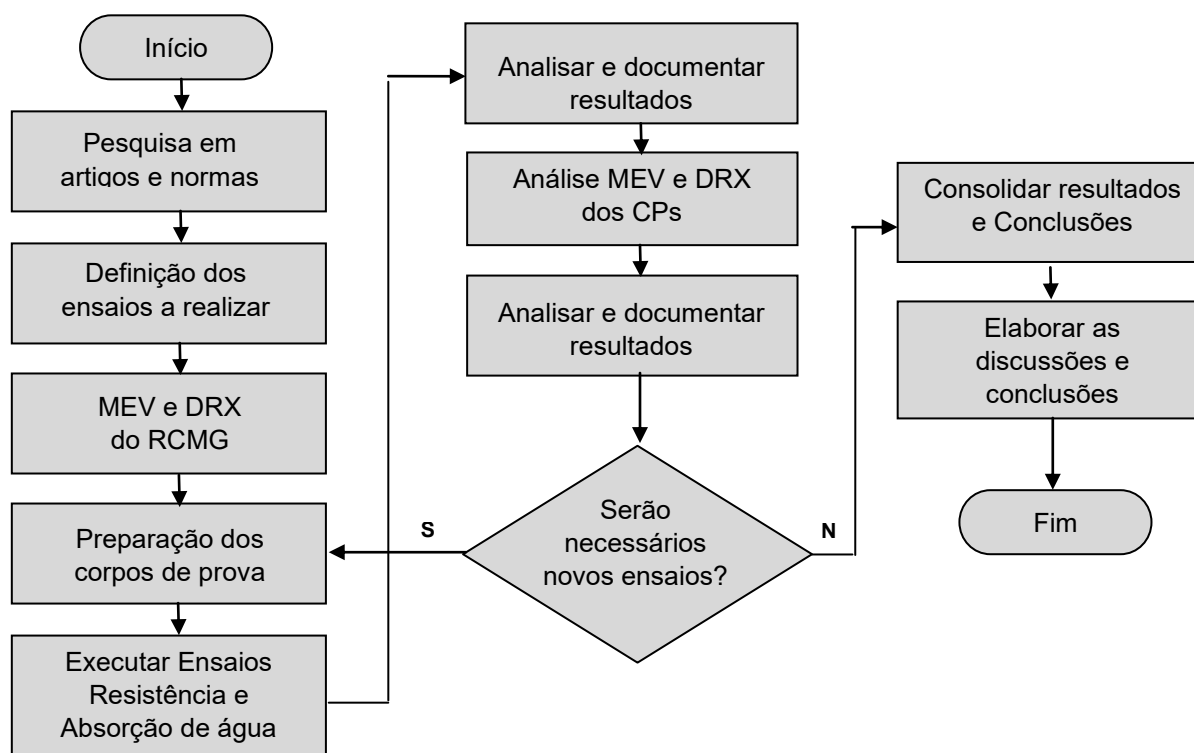
No Brasil, estima-se que a atividade de corte de mármore e granito gera em torno de 240.000 toneladas/ano de resíduos, distribuídas entre Espírito Santo, Bahia, Ceará, Paraíba, entre outros Estados (GONÇALVES, 2000).

Sendo assim, essa grande quantidade de resíduos produzido no beneficiamento de mármore e granitos causam muitos problemas ambientais. Vale destacar que o Brasil é um dos maiores produtores de rochas ornamentais do mundo, sua produção chega a 7,8 milhões do total de 105 milhões de toneladas produzidos mundialmente, sendo que 1,25 milhões de toneladas são de resíduos relacionados à produção e ao beneficiamento das rochas (APOLINÁRIO; SANTOS; RIBEIRO, 2013).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Os materiais e métodos aplicados neste estudo envolveram diversas etapas referentes às matérias-primas, ao processamento e aos ensaios de laboratório. A Figura 8 apresenta o fluxograma experimental que foi desenvolvido.

Figura 8. Fluxo de atividade de Projeto



Fonte: AUTORA, 2018.

3.1 MATERIAIS

As matérias-primas utilizadas neste trabalho na preparação do concreto foram adquiridas em loja de material de construção do comércio local. O RCMG foi doado por uma marmoraria localizada na cidade de Volta Redonda.

3.1.1 Cimento

O cimento *Portland* do tipo CP-V ARI, fabricante LIZ, foi utilizado por apresentar alta resistência nos primeiros dias de sua aplicação; ser um produto compatível com processos que necessitam do uso de superfluidificantes e atender às especificações da NBR 5733:1991.

3.1.2 Resíduo do corte de mármore e granito (RCMG)

O resíduo foi proveniente de dois locais: Marmoraria São Luiz e Marmoraria Gramil, ambas localizadas no município de Volta Redonda - RJ. O material foi coletado diretamente no tanque de sedimentação de cada empresa e armazenado em baldes plásticos. Em seguida, transportado para local aberto e arejado para secagem ao ar livre.

3.1.3 Areia

Foi utilizada areia de origem natural, oriunda de leito de rio, classificada pela norma NBR 7211:2009 com granulometria média, entre 0,2 mm e 0,6 mm de diâmetro.

3.1.4 Brita

Utilizou-se a pedra britada classificada pela NBR 7211:2009 como brita 0, por ser um material indicado para uso na fabricação de *pavers*.

3.1.5 Água

A água utilizada no preparo do concreto foi fornecida pelo Serviço Autônomo de Água e Esgoto – SAAE, do município de Volta Redonda.

3.1.6 Aditivo

Utilizou-se o aditivo "hagenblocoR1" do fabricante HAGEN DO BRASIL, desenvolvido para ser aplicado a concretos para fabricação de blocos e *pavers*.

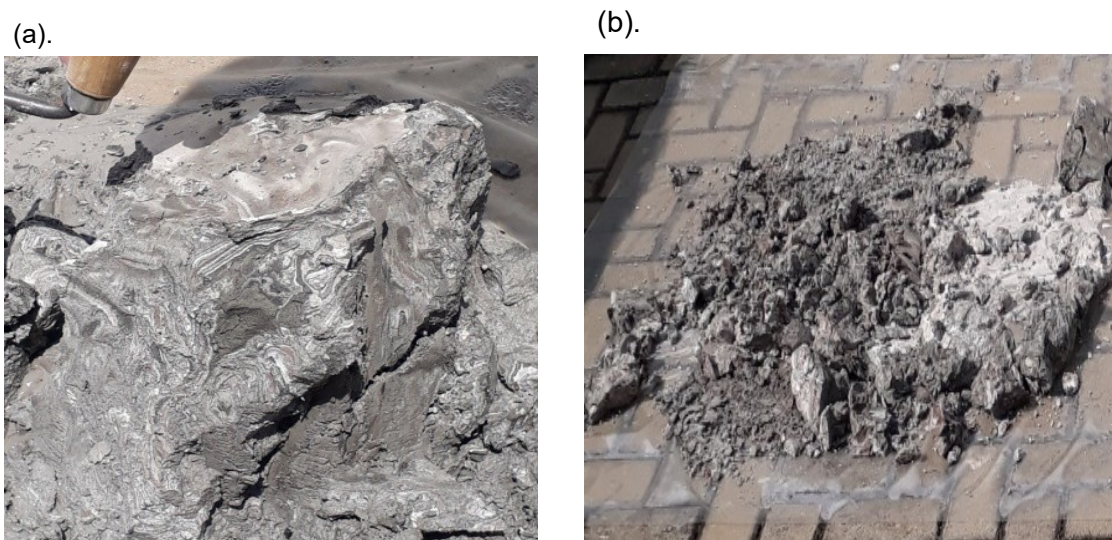
3.2 MÉTODOS

3.2.1 Coleta e beneficiamento do Resíduo

O resíduo do corte de marmoraria foi coletado, conforme Figura 9-a. Após coleta, a amostra foi submetida à secagem ao ar livre, por 6 h, como apresentado na Figura 9-b. O material seco foi coado, utilizando-se uma peneira de 150 *mesh* (106 μm) e armazenado em recipiente apropriado.

Figura 9. Beneficiamento do RCMG

(a). Resíduo coletado na marmoraria; (b). Resíduo secando ao sol



Fonte: AUTORA (2018).

3.2.2 Caracterização das matérias primas

Para fazer a caracterização das matérias primas foram utilizados os processos de análise granulométrica de todos os materiais secos. Além destes, o RCMG, também foi submetido à caracterização por difração de raio-x.

3.2.2.1 Análise da composição granulométrica

Para fazer a análise granulométrica das matérias primas, utilizou-se o agitador de peneiras eletromecânico de bancada, fabricante Solotest, com capacidade para até 8 peneiras \varnothing 8X2", alimentação 110/220 V - 50/60 Hz. Foi

utilizado o conjunto de peneiras sucessivas conforme NBR NM248 de 2003, demonstrado na Tabela 2.

Tabela 2 . Série de peneiras utilizadas para ensaio de granulometria

SÉRIE DE PENEIRAS	
Série Normal	Série Intermediária
75 mm	-
--	63 mm
37,5 mm	50 mm
--	-
--	31,5 mm
19 mm	25 mm
-	-
9,5 mm	12,5 mm
-	-
4,75 mm	6,3 mm
2,36 mm	-
1,18 mm	-
600 µm	-
300 µm	--
150 µm	-

Fonte: NBR NM 248 de julho de 2003

Através deste ensaio foram obtidos os valores do módulo de finura e o diâmetro máximo característico dos materiais. O ensaio foi realizado no Laboratório de Engenharia Civil do UniFOA.

3.2.2.2 Microscopia Eletrônica de Varredura - MEV do RCMG

Para a visualização de possíveis alterações na microestrutura, as amostras foram submetidas a microscopia eletrônica de varredura.

O ensaio foi realizado no Laboratório de Caracterização de Materiais do UniFOA no MEV da marca Hitachi, do modelo TM3000. As imagens foram ampliadas

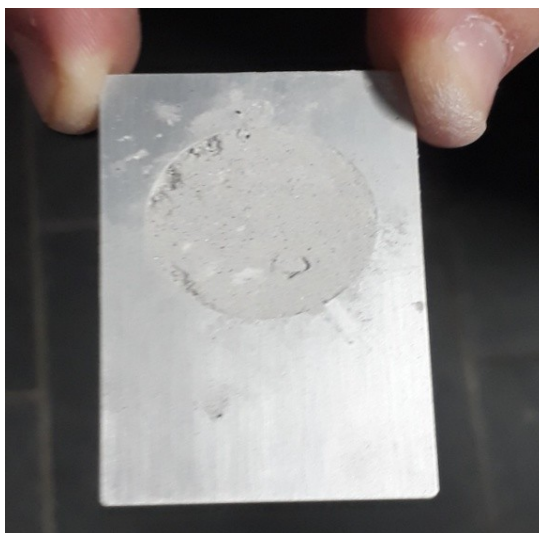
em 25X, 100X, 500X e 2000X, por um detector de elétrons secundários. Para esta análise, utilizou-se uma pequena fração do RCMG.

3.2.2.3 Difração de raio-X do RCMG

Para analisar a mineralógica quantitativa presente no resíduo de marmoraria, foi aplicada a técnica de difração de raio-X (DRX), em difratômetro, modelo XRD 6100, marca *Shimadzu*, radiação de cobre, comprimento de onda de 0,15414 nm, com tensão de 40 kV, corrente de 30 mA sob o ângulo de varredura de 10° até 80°, com velocidade de 1,5°/min.

Uma pequena quantidade do resíduo de marmoraria, um pó muito fino, foi encaminhado ao Laboratório de Materiais do UniFOA, onde a porção foi preparada e pressionada manualmente no porta amostras com cavidade de aproximadamente 17 mm de diâmetro e 3 mm de profundidade, Figura 10, e em seguida acomodada no difratômetro.

Figura 10. Preparo da amostra de RCMG



Fonte: AUTORA (2019).

3.2.3 Corpos de Prova

3.2.3.1 Determinação do traço para confecção dos corpos de prova

Utilizou-se as proporções 1 : 2,4 : 2,58 : 0,6, cimento; areia; brita e água respectivamente, em massa, para confecção dos corpos de prova, de modo que a resistência característica à compressão de 35 MPa, fosse atingida.

Foram preparados dosagens com diferentes percentuais de adição do resíduo de mármore e granito, conforme apresentado na Tabela 3.

Tabela 3. Proporções teóricas pretendidas por traço com as adições.

DOSAGEM DOS MATERIAIS						
ADIÇÃO (%)	CIMENTO (KG)	RCMG (KG)	AREIA (KG)	BRITA (KG)	ÁGUA (L)	ADITIVO (ML)
Referência	10.360	0	24.860	26.800	6,2	10
10	9.324	1.036	24.860	26.800	6.6	10
20	8.288	2.072	24.860	26.800	6.6	10

Fonte: AUTORA (2018).

3.2.3.2 Preparação dos moldes

Foram preparados corpos de prova cilíndricos para análise da Resistência à compressão axial, Tabela 4, de acordo com NBR 5738: 2016.

Tabela 4. Preparação dos corpos de prova

Ensaio	Corpos de Prova			
	Cilíndricos (10 x 20 cm).	Quantidades por composição		
Resistência à compressão		Referência	10%	20%
		12	12	12

Fonte: AUTORA (2018).

Os moldes receberam uma fina camada de óleo mineral para facilitar a liberação dos corpos de provas.

3.2.3.3 Confeção dos corpos de prova

Para a confecção dos corpos de prova, os agregados foram separados nas devidas proporções. Misturou-se primeiramente na betoneira, areia, brita, e nas composições com substituição parcial do cimento, o RCMG, com 70% da água. Feito isto, adicionou-se o cimento e o aditivo diluído no restante da água.

Após homogeneização da mistura por cinco minutos, com a betoneira parada, realizou-se o *Slump Test*, termo inglês utilizado para controle do fator “a/c”.

A relação “a/c” influencia na resistência do concreto e é calculado através da Equação 1.

$$a/c = \frac{\text{Volume de água}}{\text{Volume de cimento}} \quad (1).$$

O *Slump Test* foi realizado segundo a prerrogativa de se atingir o valor de abatimento de 5 cm (padrão 6 cm \pm 1 cm), Figura 11, obtido após no máximo, com três medições.

Figura 11. Teste *Slump* para aferição da fluidez.



Fonte: AUTORA (2018).

Os moldes cilíndricos foram preenchidos com a mistura homogênea do compósito de concreto em duas etapas. A 1ª etapa até a metade do molde, e a 2ª com o preenchimento total. Para o adensamento em cada CP nas respectivas etapas, foram dados 12 golpes com a haste de aço, até o transbordo superior do

concreto. Com auxílio da colher de pedreiro, foi feito rasamento do topo do CP para deixar sua superfície lisa. Os CPs foram abrigados no laboratório, Figura 12.

Figura 12. Corpos-de-prova no período de cura inicial



Fonte: AUTORA (2018).

Após 24 h de cura, foi realizada a retirada dos CP's dos moldes, e levados para o tanque de cura. O preparo do concreto foi realizado no Laboratório de Engenharia Civil do UniFOA, em betoneira da marca Menegotti com capacidade para 150 L.

3.2.4 Ensaio com os corpos de prova

3.2.4.1 Absorção de Água e Índices de Vazios dos CP's cilíndricos

O ensaio de índice de vazios e absorção de água foi realizado em conformidade com a NBR 9778:2009. Foram separados 2 corpos de prova das composições sem adição de RCMG e 2 com as respectivas adições, com idade de 28 dias. Determinou-se a massa de cada amostra, em balança com capacidade para 30 kg do fabricante Welmy, modelo BCW 30 LCD.

Em seguida, os corpos de provas foram submetidos a secagem na estufa Odontobrás modelo EL1.5, à temperatura de $105^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$. Decorrido um período de 72 h, cada amostra foi pesada novamente.

Finalizada a secagem em estufa, seguiu-se com o processo de saturação das amostras, mantendo-as imersas em água por um período de 72 h, a uma

temperatura de $23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$. Seguiu-se a orientação da NBR 9778:2009, deixando apenas 1/3 do volume das amostras imersas nas primeiras 4 h. Passado esse período, aumenta-se para 2/3 do seu volume imerso; e nas últimas 64 horas, as amostras permaneceram completamente imersas. Finalizado este processo, realizou-se a pesagem das amostras saturadas para obtenção do peso imerso.

Com as informações obtidas foi possível elaborar os cálculos para determinar o índice de vazios e absorção de água das amostras, demonstrado na Equação 2 para absorção de água e na equação 3 para o índice de vazios.

$$A_{a\%} = \frac{M_{sat} - M_s}{M_s} \times 100 \quad (2).$$

$$I_{v\%} = \frac{M_{sat} - M_s}{M_{sat} - M_i} \times 100 \quad (3).$$

Onde:

$A_{a\%}$ = Absorção de água por imersão

$I_{v\%}$ = Índice de volume de vazios

M_s = Massa da amostra seca em estufa (g).

M_i = Massa da amostra saturada, imersa em água (g).

M_{sat} = Massa da amostra saturada em água a temperatura de 23°C (g).

3.2.4.2 Resistência à compressão axial

Quando as amostras atingiram as idades de 7, 14, 21 e 28 dias respectivamente, foram retiradas 03 unidades de cada composição do tanque de cura, para realização do ensaio mecânico à compressão axial, conforme a norma ABNT NBR 5738:2016.

Os ensaios de resistência mecânica à compressão axial, foram realizados no Laboratório de Engenharia Civil do UniFoa, em prensa EMIC, modelo DL10000, com capacidade máxima de 100 kN. Para uniformizar a distribuição de tensões sobre o corpo-de-prova foi utilizado bases de neoprene na parte inferior e superior do corpo de prova, conforme Figura 13.

Figura 13. Ensaio de resistência à compressão axial



Fonte: AUTORA (2018).

Antes do início do processo de rompimento foi fornecida a área de seção do corpo de prova. Com base na força aplicada, a prensa EMIC calculou automaticamente o resultado da tensão de rompimento em MPa. Para se obter a tensão de ruptura foi utilizada a equação 4.

$$F_{ck} = \frac{F}{A} \cdot 10 \quad (4).$$

Onde:

F_{ck} = Tensão de ruptura (MPa).

F = Força aplicada (kN).

A = Área de seção (cm²).

3.2.4.3 Microscopia Eletrônica de Varredura do concreto

Para a visualização de possíveis alterações na microestrutura, as amostras foram submetidas ao MEV. O ensaio foi realizado no Laboratório de Caracterização de Materiais do UniFOA no MEV da marca Hitachi, do modelo TM3000, conforme Figura 14. As imagens foram ampliadas em 25X, 100X, 500X e 2000X, por um detector de elétrons secundários. Para esta análise, utilizou-se uma pequena fração das amostras próximo à superfície do corpo de prova.

Figura 14. Microscopia Eletrônica de Varredura MEV.



Fonte: AUTORA (2019).

3.2.4.4 Difração de raio-X do concreto

Para analisar a mineralógica quantitativa presente nos concretos desenvolvidos, foi aplicada a técnica de difração de raio-X (DRX), em difratômetro, modelo XRD 6100, marca *Shimadzu*, radiação de cobre, comprimento de onda de 0,15414 nm, com tensão de 40 kV, corrente de 30 mA sob o ângulo de varredura de 10° até 80°, com velocidade de 1,5°/min, demonstrado na Figura 15.

Foram encaminhados para o Laboratório de Materiais do UniFOA, fragmentos de corpos de prova dos concretos, com cerca de 30 mm de diâmetro. As amostras foram preparadas e fixadas em porta amostras circulares e acomodadas no difratômetro para análise.

Figura 15. Amostra no difratômetro.



Fonte: AUTORA (2019).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAS COMO RECEBIDOS

4.1.1 Análise granulométrica dos agregados

Na análise da distribuição granulométrica foi observado que o diâmetro máximo característico do RCMG apresentou dimensões 62,16% maiores comparado ao cimento, porém, não excedendo a 75 μm , como também módulo de finura, cerca de 62% maior.

Foi verificado que 53% da amostra de areia permaneceram retidas na peneira 600 μm , Tabela 5. De acordo com a NBR 7211:2009, essa graduação correspondeu à areia média. Da mesma forma, ao realizar o ensaio com a brita “zero”, verificou-se que a sua granulometria está em conformidade com a norma acima citada.

Tabela 5. Distribuição granulométrica dos Materiais

Peneiras	% Retido							
	CIMENTO		RCMG		AREIA		BRITA 0	
	Ret.	Acum.	Ret.	Acum.	Ret.	Acum.	Ret.	Acum.
12,5 mm	-	-	-	-	-	-	-	-
9,5 mm	-	-	-	-	-	-	-	-
6,3 mm	-	-	-	-	-	-	43,1	43,1
4,75 mm	-	-	-	-	-	-	38,0	81,0
2,36 mm	-	-	-	-	2,2	2,2	18,0	99,0
1,18 mm	-	-	-	-	12,0	14,2	1,0	100,00
600 μm	-	-	-	-	53,0	67,2	-	-
300 μm	-	-	-	-	23,6	90,9	-	-
150 μm	-	-	-	-	7,6	98,5	-	-
75 μm	38,9	38,9	51,3	51,3	-	-	-	-
Fundo	61,1	100,0	48,7	100,0	1,5	100,0	-	-
ϕ Máx (mm).	< 75 μm		75 μm		2,4 mm		4,8 mm	
MF	0,4		0,5		2,7		3,2	

Fonte: AUTORA (2019).

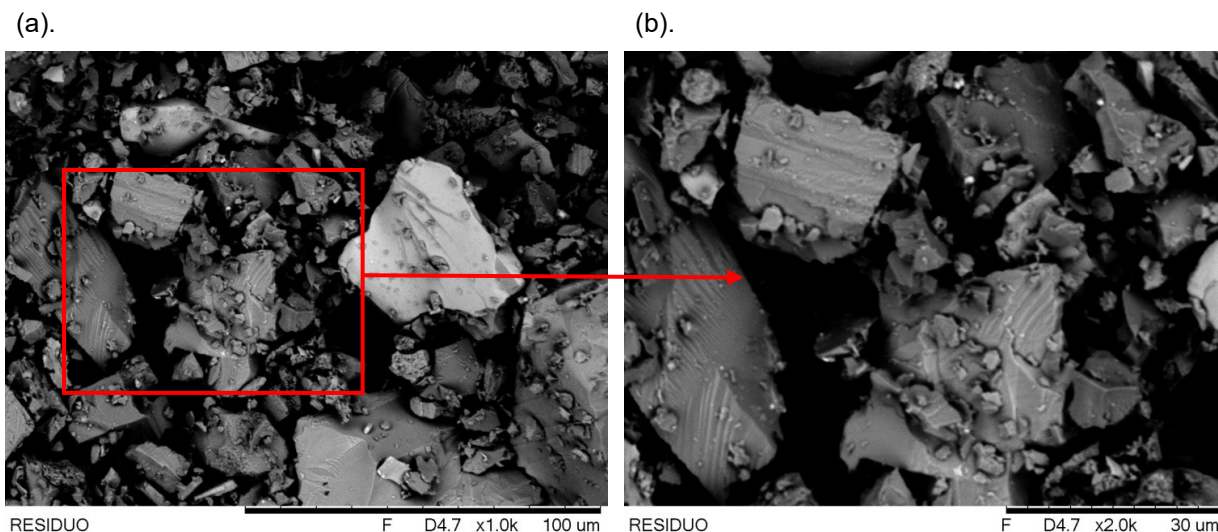
4.1.2 Microscopia Eletrônica de Varredura – MEV do RCMG

Nas imagens da Figura 16-a e 16-b, resultantes do MEV, observou-se que os grãos minerais do resíduo não possuem uma forma definida, apresentando

partículas com geometria irregular, provavelmente em decorrência da quebra dos grãos no processo de corte e polimento das peças de mármore e granito.

Figura 16. Microscopia Eletrônica de Varredura do resíduo

(a). Ampliação em 1000x; (b). Ampliação em 2000x



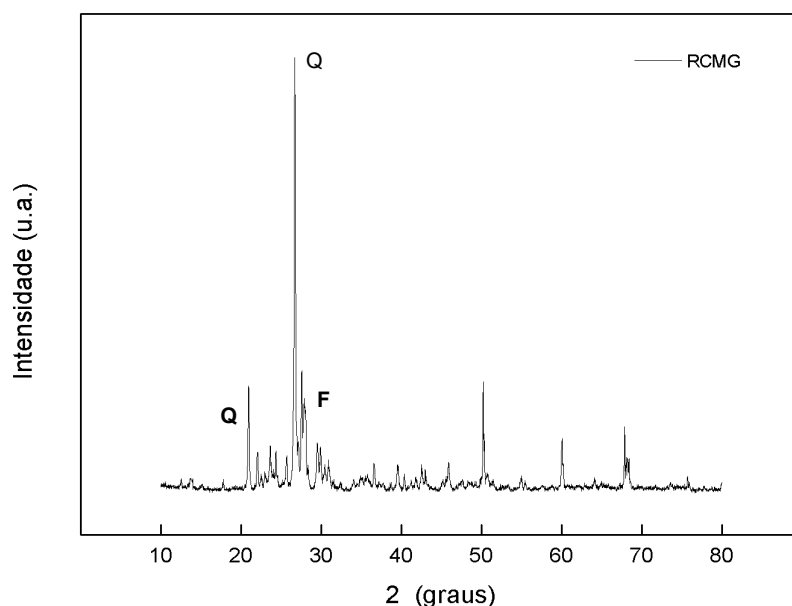
Fonte: AUTORA (2019).

Alves (2008), em estudos realizados, por meio do MEV, observou também que o resíduo apresentou grãos de variados tamanhos, e bem distribuídos ao longo da amostra. Quase metade da amostra apresentou partículas com dimensões inferiores a 40 μm . Essa observação está compatível com o resultado obtido no ensaio de granulometria, onde 51% dos grãos foram retidos na peneira 75 μm .

4.1.3 Difração de Raios-X do RCMG

Ao realizar análise por meio de DRX, do resíduo de corte de mármore e granito foram observados alguns picos de intensidade, sendo o mais intenso entre os intervalos de 20 a 30 graus.

De acordo com Lima, Neves e Carvalho (2010), tal preponderância é compatível com as fases mineralógicas peculiar de rochas graníticas, apresentando picos que indicam ser mica, feldspato e quartzo, gráfico 1.

Gráfico 1. Difratoograma do RCMG.

Fonte: AUTORA (2019).

Lima, Neves e Carvalho (2010), quando submeteram resíduos de granito à análise de DRX, chegaram a um difratograma semelhante como ao encontrado no desenvolvimento deste trabalho.

4.2 CARACTERIZAÇÕES DOS CORPOS DE PROVA

4.2.1 Resistência à Compressão axial

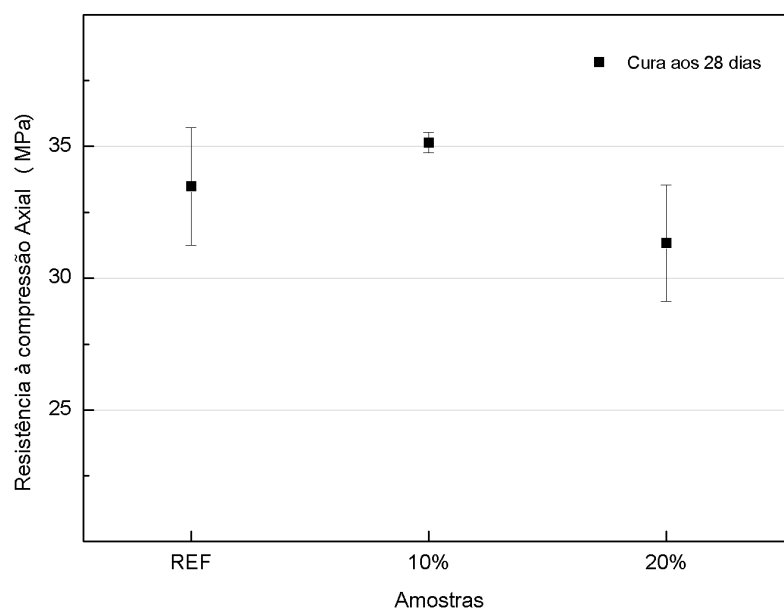
As propriedades mecânicas dos compósitos foram avaliadas por meio de ensaios mecânicos de resistência à compressão axial. Três corpos de prova de cada composição foram submetidos à análise. As amostras em que o cimento foi substituído na proporção de 10%, apresentaram resistência mecânica superior, quando comparadas àquelas sem adição. Em contrapartida, aquelas em que a substituição do cimento correspondeu a 20% de RCMG, apresentaram resultados ligeiramente inferiores, Tabela 6.

Tabela 6. Resultado do ensaio de resistência à compressão axial

Idade (dias).	Proporções		
	Referência (MPa).	10% (MPa).	20% (MPa).
28	33,47 ± 2,23	35,14 ± 0,39	31,32 ± 2,21

Fonte: AUTORA (2019).

Quando paradas a composição referência com as demais, verificou-se que aquelas com substituição de 10% apresentaram um aumento na resistência mecânica de aproximadamente 1,05%, enquanto que a amostra com 20% teve uma queda de 0,94%. Quanto maior a quantidade do pó residual de marmoraria, menor foi a resistência mecânica à compressão axial do compósito, Gráfico 2.

Gráfico 2. Resultado do ensaio de resistência à compressão axial

Fonte: AUTORA, (2019).

4.2.2 Absorção de água por imersão e Índices de vazios

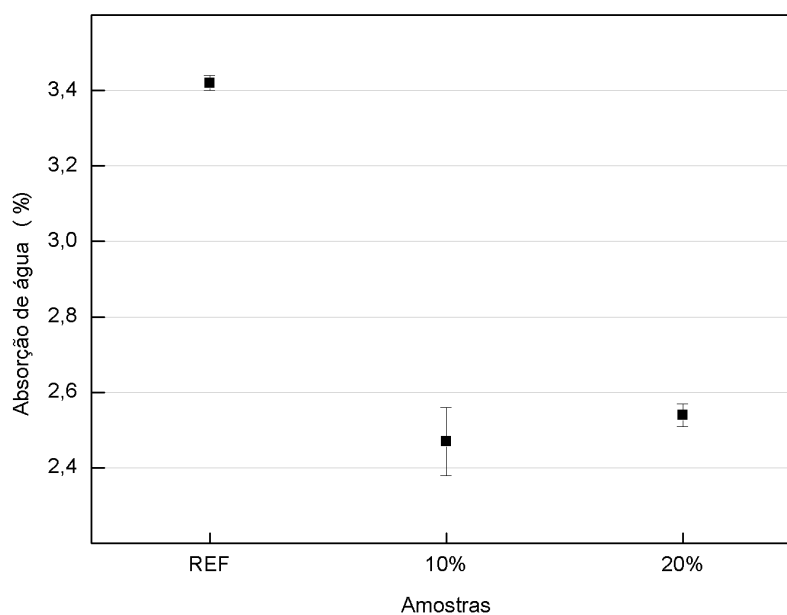
Após 72 h de imersão, verificou-se a massa dos corpos de prova e em seguida, foi efetuada a pesagem de cada composição imersa em água. Ao substituir os valores nas equações 2 e 3, foi observado que as composições apresentaram baixos índices de absorção de água com poucas variações, Tabela 7.

Tabela 7. Absorção de água e Índice de vazios

	REF	10%	20%
Absorção de Água	3,42% ± 0,02%	2,47% ± 0,09%	2,95% ± 0,03%
Índices de Vazios	7,31% ± 0,29%	5,05% ± 0,51%	6,28% ± 0,03%

Fonte: AUTORA, (2019).

As composições com 10% de substituição de resíduos apresentaram menor percentual de absorção de água e índices de vazios, quando comparado com os CP's referência e as amostras com substituição de 20% do cimento, Gráfico 3

Gráfico 3. Resultado do ensaio de absorção de água

Fonte: AUTORA (2019).

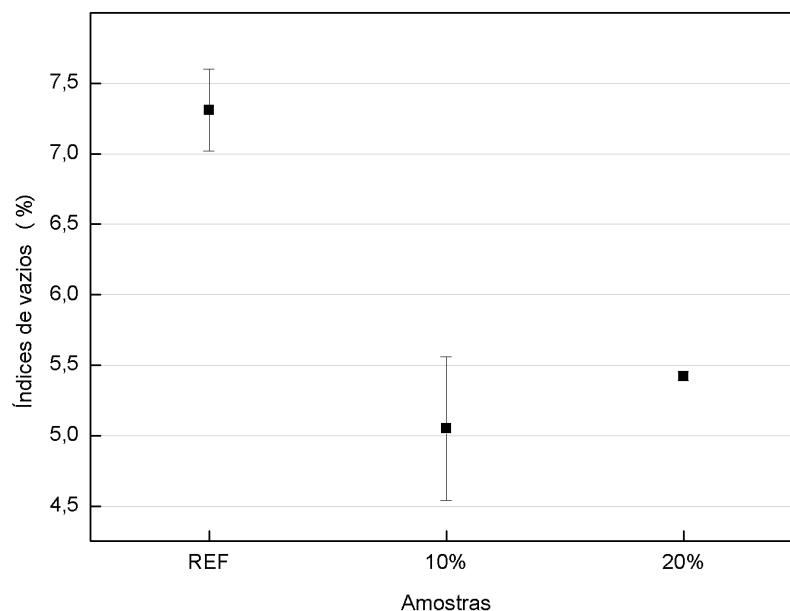
Para Helene (1983), concretos com teor de absorção de água menor ou igual a 4,2% podem ser classificados como "Durável - Alto Desempenho", de acordo com o especificado na Tabela 8.

Tabela 8. Durabilidade do concreto em função do índice de absorção de água.

Classificação do concreto	Teor de absorção de água (a).
Durável – Alto desempenho	$\leq 4,2\%$
Convencional	$4,2\% \leq a \leq 6,2\%$
Deficiente	$\geq 6,2\%$

Fonte: Adaptado de HELENE e TUTIKIAN (2011).

Observou-se ainda, que a composição sem adição do RCMG foi a que apresentou maior índice de vazios, gráfico 4.

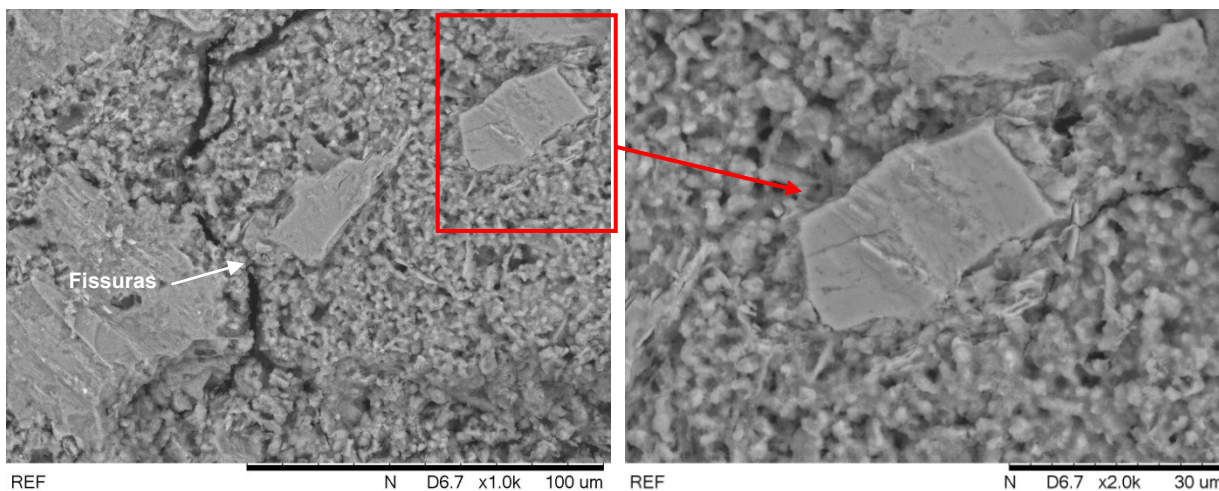
Gráfico 4. Resultado do ensaio de índices de vazios

Fonte: AUTORA (2019).

4.2.3 Microscopia Eletrônica de Varredura do concreto

As Figuras 17, 18 e 19, apresentaram imagens obtidas no MEV das amostras dos CP's rompidos aos 28 dias de cura. A amostra "referência" apresentou aspecto poroso e fissuras, Figura 17.

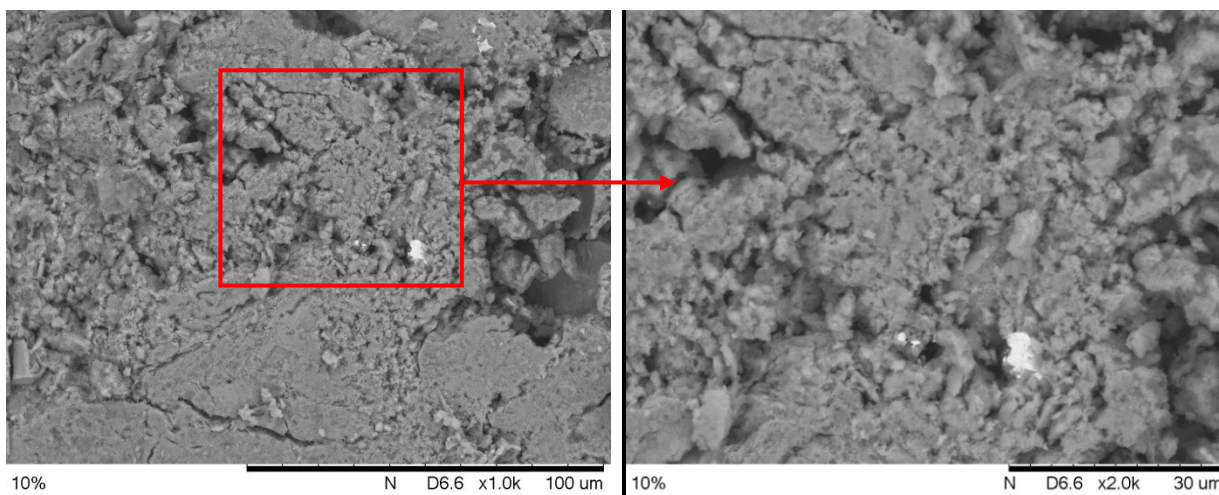
Figura 17. Imagens do concreto aos 28 dias de cura - Referência (0% de resíduo).



Fonte: AUTORA,(2019).

Com a substituição do cimento na fração de 10%, percebeu-se um concreto mais coeso, resultando no aumento da resistência mecânica como evidenciado nos testes de compressão axial, Figura 18.

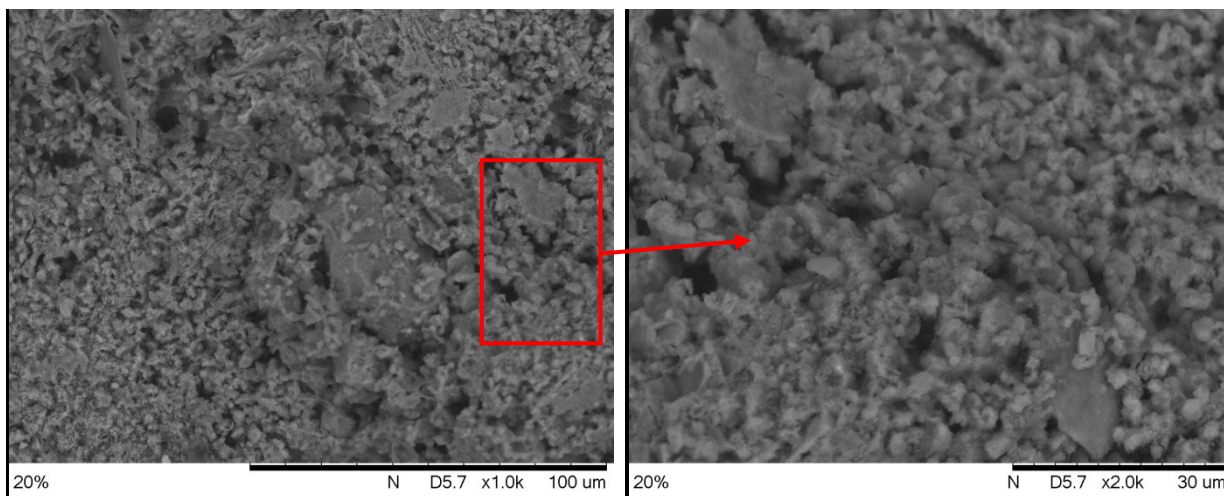
Figura 18. Imagens do concreto aos 28 dias - 10% de resíduo.



Fonte: AUTORA (2019).

A substituição em 20% do cimento não alterou o aspecto poroso e coeso do concreto, Figura 19.

Figura 19. Imagens do concreto aos 28 dias de cura - 20% de resíduo

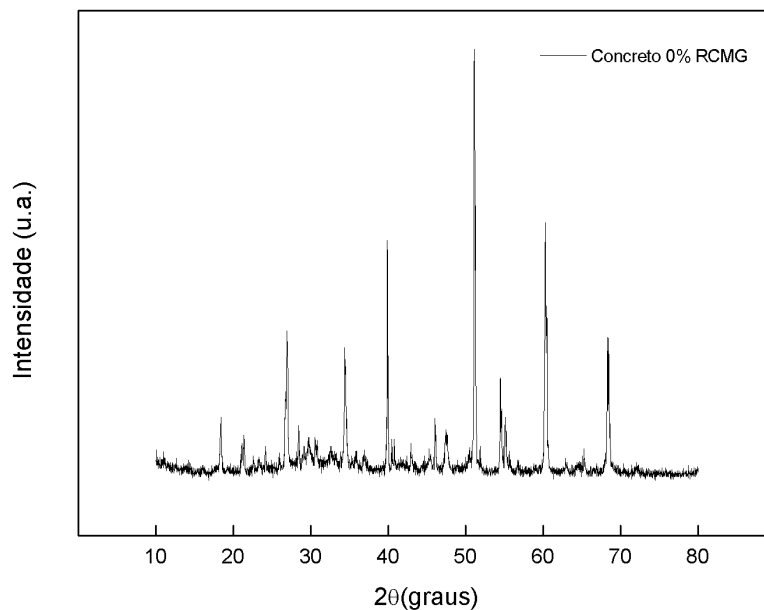


Fonte: AUTORA (2019).

4.2.4 Difração de raio X do concreto

Os gráficos 5, 6 e 7, apresentam os difratogramas dos concretos estudados. O espectro referente a amostra referência, resultou em alguns picos de intensidade, sendo o mais expressivo, localizado entre o intervalo angular de 50 e 60 graus, Gráfico 5.

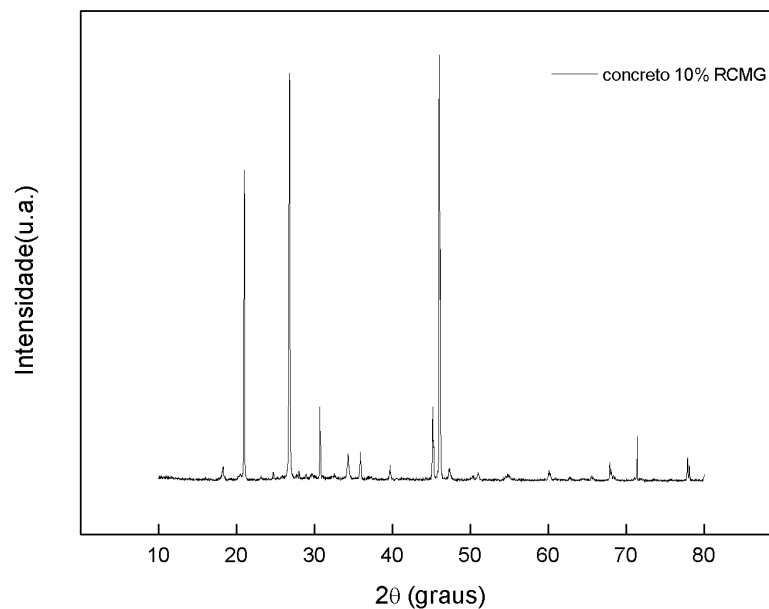
Gráfico 5. Difratograma do concreto sem adição do RCMG.



Fonte: AUTORA (2019).

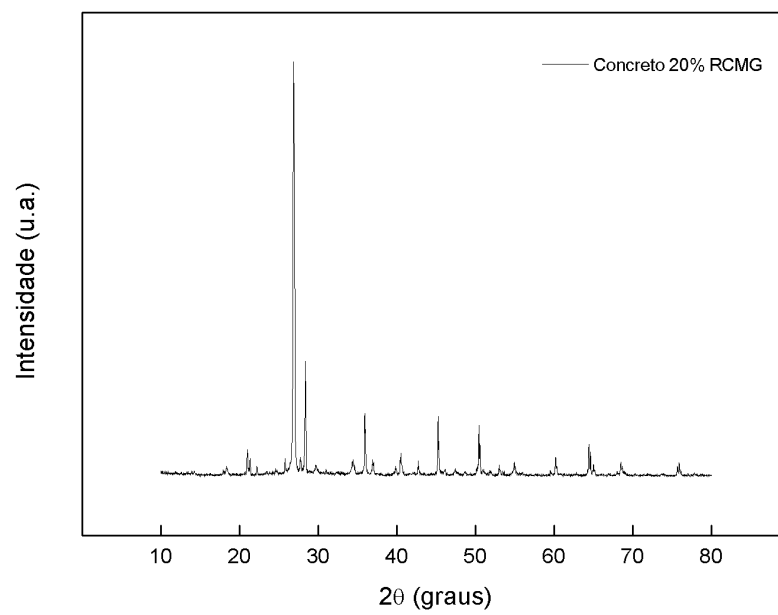
A composição com adição de 10% do resíduo de marmoraria apresentou menos picos, porém com intensidades maiores e semelhantes em intervalos de ângulos menores em comparação ao concreto sem adição do RCMG, Gráfico 6.

Gráfico 6. Difratoograma do concreto com 10% de RCMG



Fonte: AUTORA (2019).

Na composição com substituição de 20% do cimento por RCMG, observou-se ainda menos picos, predominando com intensidade ainda maior entre os intervalos de 20 e 30 graus, Gráfico 7.

Gráfico 7. Difratoograma do concreto com 20% de adição

Fonte: AUTORA (2019).

5 CONCLUSÕES

Pelos resultados obtidos em laboratório, pode-se concluir que não ocorreu perda significativa de resistência mecânica com a substituição parcial do cimento *Portland* por resíduo de corte de mármore e granito nas proporções empregadas.

Na preparação dos concretos com o rejeito pastoso de marmoraria, percebeu-se a necessidade de um volume maior de água do que foi previsto para o traço, a fim de garantir a confecção dos corpos de prova. Ainda assim, as composições que receberam 10% do RCMG, apresentaram maior desempenho, atingindo em média 35 MPa, atendendo às exigências normativas de resistência mecânica à compressão axial para *pavers*. As composições com esta proporção também apresentaram os menores índices de vazios e absorção de água.

As amostras que receberam a fração de 20% do rejeito apresentaram resistência mecânica semelhante às aquelas que foram confeccionados como composições "referência", ou seja, sem adição do resíduo. Entretanto, os resultados da análise de índice de vazios e absorção de água atingiram patamares intermediários, estando mais próximos dos compósitos que receberam o RCMG.

O concreto desenvolvido neste trabalho apresentou resultados laboratoriais satisfatórios, tornando-se viável a substituição parcial do cimento *Portland* para produção de *pavers*.

Assim sendo, esse trabalho contribuiu para redução da disposição do RCMG no meio ambiente, uma vez que esses resíduos podem acarretar impermeabilização do solo por apresentar partículas muito finas como comprovado na análise de granulometria.

6 TRABALHOS FUTUROS

- Produzir concreto com outras proporções do RCMG por cimento, para análise da resistência mecânica, absorção de água e índices de vazios;
- Desenvolver traços de concreto "seco" para produção industrial com a utilização de máquinas hidráulicas ou pneumáticas específicas para produção de *pavers*;
- Desenvolver outros produtos aplicados à construção civil;

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE, T; HELENE, P. **Concreto de cimento *Portland***. In: Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais. IBRACON. São Paulo, 2007.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13402 Caracterização de cargas poluidoras em efluentes líquidos industriais e domésticos - Procedimento**. Rio de Janeiro, RJ, 1995.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12.655 Concreto de cimento *Portland* - Preparo, controle, recebimento e aceitação - Procedimento**. Rio de Janeiro, 2015.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10.004 Resíduos Sólidos**. Rio de Janeiro, RJ, 2004.

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

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738 Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova**. Rio de Janeiro, RJ, 2016.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM248 Agregado - Determinação da composição granulométrica**. Rio de Janeiro, RJ, 2003.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9778 Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica** Rio de Janeiro, RJ, 2009.

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.

ALIABDO, A. A.; ELMOATY, A. E. M. A.; AUDA, E. M. **Re-use of waste marble dust in the production of cement and concrete**. Construction and Building Materials v. 50, jan 2014, p. 28–41.

BRANDÃO, W., SARDOU FILHO, R., QUEIROZ, E.T. **Mármore e granito e outras rochas ornamentais no Brasil**. In: SCHOBENHAUS, C., QUEIROZ, E.T., COELHO, C.E.S (Coord.). Principais depósitos minerais do Brasil. Brasília: D.N.P.M./C.P.R.M.. 1991.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego, **Marmoraria, Manual de Referências**. Brasília, DF, 2008. 9 p.

CEVIK, U.; DAMLA, N.; KOBYA, A.I.; CELIK, A.; KARA, A. **Radiation dose estimation and mass attenuation coefficients of marble used in Turkey**. Ann. Nucl. Energy v.37, ed.12, dezembro de 2010, p.1705–1711.

COMPANHIA DE SANEAMENTO BÁSICO DO ESTADO DE SÃO. **Norma Técnica (NTS). nº 217**, São Paulo, SP, 2015. 20 p.

CIMENTO ITAMBÉ. Disponível em: <<http://www.cimentoitambe.com.br/adicionar-agua-suplementar-ao-concreto-exige-cuidados/>>. Acesso em 10 de agosto de 2019.

CRUZ, L.O.M., **Pavimento intertravado de concreto: estudo dos elementos e métodos de dimensionamento**. junho de 2003, 281 f. Dissertação Mestrado em Ciências em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2003.

DNIT - DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA DE TRANSPORTE. **Manual de Pavimentos Rígidos**. 2 ed. Rio de Janeiro, 2004

FILHO CHIODO, C. RODRIHUES E. P. DE. Associação Brasileira da Indústria de Rochas Ornamentais. ABI Rochas. **Guia de Aplicação de Rochas em Revestimento**. Projeto Brula. 2009.

FIORITI, Cesar F. **Pavimentos intertravados de concreto utilizando resíduos de pneus como material alternativo**. Dissertação de Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental, Escola de Engenharia de São Carlos. Disponível em <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18139/tde-27092007-184727/pt-br.php>> Acesso em 10 de agosto de 2019.

GIACONI, W.J. **Perfil atual da indústria de rochas ornamentais no município de Cachoeiro de Itapemirim (ES)**. Campinas, SP, 1998. 85 p. Dissertação de Mestrado na Área de Administração e Políticas de Recursos Minerais.

IBRACON, **Anais do 50º Congresso Brasileiro do Concreto - CBC2008**. Salvador, 2009.

KIHARA, Y; CENTURIONE, SERGIO. L. **O Cimento Portland**. In: **Concreto** : São Paulo, SP, 2005.

KNAPTON, J., (1996). **“Romans and their Roads – The Original Small Element Pavement Technologists”**, Fifth International Concrete Block Paving Conference, pp. 17-52, Tel-Aviv, Israel, June, 1996.

LIMA R.C.O.,NEVES; G. A.; MELO, CARVALHO; CARVALHO, J. B. Q., **Durabilidade de tijolos de solo-cimento produzidos com resíduo de corte de granito** Disponível em <<http://www2.ufcg.edu.br/revista-remap/index.php/REMAP/article/view/159/145>> acesso em 10 de agosto de 2019.

LLOPE, W.J. **Activity concentrations and dose rates from decorative granite countertops**. J. Environ. Radioact. v.102, Ed. 6, 620–629 p. junho de 2011.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M., **Concreto: Estrutura, Propriedades, Materiais**, São Paulo, Pini, 1994.

MENEZES R. R.; NEVES G.A.; SOUZA J.; MELO W. A.; FERREIRA H. S.; **Atividade pozolânica dos resíduos do beneficiamento do caulim para uso em argamassas para alvenaria**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. Campina Grande-PB; v.13, n.6, p.795–801, 2009.

MORAES, I., **Mármore e Granito: Lavra, beneficiamento e Tratamento de Resíduos**, 2006. Disponível em <http://biton.uspnet.usp.br/cirra/wp-content/uploads/2013/09/IHMZ.ABES_.odf>. Acesso em 10 de agosto de 2019.

NEVILLE, ADAM. **Propriedades do concreto**, II Edição, São Paulo, Pini, 1982.

MULLER, R. M (2005). “**Avaliação de Transmissão de Esforços em Pavimentos Intertravados de Blocos de Concreto**”. Dissertação de Mestrado, Sc. COPPE / UFRJ, Rio de Janeiro.

PEREIRA, L. C.; TOCCHETTO, M. R. L. **Resíduos: É preciso inverter a pirâmide – reduzir a geração**”. Disponível em: <<http://www.ambientebrasil.com.br/composer.php3?base=residuos/index.php3.../residuos.htm>>. Acesso em 10 Agosto de 2019.

PETRUCCI, ELADIO G. R., **Materiais de construção**, 9 Ed., São Paulo, Globo, 2007.

REVISTA INFOROCHAS, publicação mensal do centro, Cetemag, Sicoob Credirochas e Sindirochas – Nr 8 jul 2006.

RODRIGUES, M. R. P; FERREIRA, O.P. **Caracterização de compósitos produzidos com borracha de pneus inservíveis e resina poliuretana**. Revista Iberoamericana de Polímeros. São Paulo. v. 11 n. 5. p. 274-283. 2010.

SANTOS, J.F., CHIODI FILHO. C. **Programa Michelangelo Espírito Santo: uma proposta para liderança nacional em rochas ornamentais**. Brasília. D.N.P.M., 1991. 45 p (apost.).

SAMUDIO, E. M. M.; DOURADO, F. F. M.; BETTIOL, D. A. A. OLIVEIRA, B. M.; SILVA, Y. A.; REIS, R. A. **Gestão de Resíduos no beneficiamento de rochas ornamentais: O caso das Marmorarias**. Revista Caleidoscópio. Eniac de publicação internacional de Iniciação Científica, v.1, n. 9. 2017 p. 15-21. Disponível em: <[file:///C:/Users/Jorge/Downloads/450-1415-1-PB%20\(3\).pdf](file:///C:/Users/Jorge/Downloads/450-1415-1-PB%20(3).pdf)>. Acesso em 10 de agosto de 2018.

SAMUDIO, E. M. M.; DOURADO, F. F. M.; BETTIOL, D. A. A. OLIVEIRA, B. M.; SILVA, Y. A.; REIS, R. A. **Gestão de Resíduos no beneficiamento de rochas ornamentais: O caso das Marmorarias**. Revista Caleidoscópio. Eniac de publicação internacional de Iniciação Científica, v.1, n. 9. 2017 p. 15-21. Disponível em <[file:///C:/Users/Jorge/Downloads/450-1415-1-PB%20\(3\).pdf](file:///C:/Users/Jorge/Downloads/450-1415-1-PB%20(3).pdf)>. Acesso em 10 de agosto de 2018.

SINROCHAS-MG - Sindicato da Indústria de Mármore e Granitos no Estado de Minas Gerais. Projeto Rochas de Minas: **Estudo de Competitividade do Setor de Rochas Ornamentais e Revestimento do Estado de Minas Gerais**. Belo Horizonte, 2003.