



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

**PROPRIEDADES DO CONCRETO PRODUZIDO COM SUBSTITUIÇÃO PARCIAL
DO AGREGADO GRAÚDO POR RESÍDUO DE MÁRMORE**

MARIA LUIZA RAMALHO DE ARAUJO

Orientadores: PhD. Ana Maria Gonçalves Duarte Mendonça

Carina Silvani

CAMPINA GRANDE – PB

Dezembro/2018

**PROPRIEDADES DO CONCRETO PRODUZIDO COM SUBSTITUIÇÃO PARCIAL
DO AGREGADO GRAÚDO POR RESÍDUO DE MÁRMORE**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CAMPINA GRANDE – PB

Dezembro/2018

UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
UNIDADE ACADÊMICA DE ENGENHARIA CIVIL

MARIA LUIZA RAMALHO DE ARAUJO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Universidade Federal de Campina Grande
como requisito para obtenção do grau de
bacharel em Engenharia Civil.

Área de habilitação: Estruturas.

Orientadores:

Carina Silvani

Ana Maria Gonçalves Duarte Mendonça

CAMPINA GRANDE – PB

Dezembro/2018

FOLHA DE APROVAÇÃO

MARIA LUIZA RAMALHO DE ARAÚJO

**PROPRIEDADES DO CONCRETO PRODUZIDO COM SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DO
AGREGADO GRAÚDO POR RESÍDUO DE MÁRMORE**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado em 14/12/2018 perante a seguinte
Comissão Julgadora:

Carina Silvani

Prof. Dr^a Carina Silvani
Orientadora

Departamento de Engenharia Civil
Centro de Tecnologia e Recursos Naturais
Universidade Federal de Campina Grande

Aprovada

Ana Maria Gonçalves D. Mendonça
Prof. Dr^a. Ana Maria Gonçalves Duarte Mendonça
Co-orientadora

Departamento de Engenharia Civil
Centro de Tecnologia e Recursos Naturais
Universidade Federal de Campina Grande

Aprovada

Aline F. N. de Azeredo
Prof. Dr^a. Aline Figueiredo Nóbrega de Azeredo
Membro Interno

Departamento de Engenharia Civil
Centro de Tecnologia e Recursos Naturais
Universidade Federal de Campina Grande

Aprovada

Thamires Dantas Guerra
Prof. Msc. Thamires Dantas Guerra
Membro Externo

Departamento de Engenharia Civil
Centro de Tecnologia e Recursos Naturais
Universidade Federal de Campina Grande

Aprovada

Gabryelle Keith Avelino Cruz
Prof. Msc. Gabryelle Keith Avelino Cruz

Examinador Externo

Departamento de Engenharia Civil
Centro de Tecnologia e Recursos Naturais
Universidade Federal de Campina Grande

Aprovada

AGRADECIMENTOS

À Deus e a Nossa Senhora, por ser meu refúgio nos momentos mais difíceis que enfrentei, amparando-me. Eterna gratidão por tudo que conquistei e que Ele abençoou abrindo as portas.

À minha família que em todos os momentos foram os meus maiores incentivadores para chegar até aqui. Sem o conforto de todos, não teria conseguido. Em especial a minha mãe Vânia que me ajudou desde o início e construiu esse sonho comigo.

À minha irmã Ana Beatriz, que em todos os momentos foi compreensiva e me apoiou em todas as situações

Ao meu namorado Josivaldo Sátiro por ter sido o meu incentivador em todos os momentos, fazendo-me crescer profissionalmente, me acalmando nos momentos difíceis e alegrando-se com as minhas vitórias. Essa vitória agora é nossa!

Aos meus amigos, por toda a paciência e incentivo para que esta etapa se concluísse. Em especial Alessandra, Larissa e Alana por todo o apoio em todos os momentos, alegres ou tristes.

Aos meus irmãos de caminhada na igreja, por terem sido o meu amparo em diversos momentos. Em especial aos da Pastoral da Juventude que conviveram comigo durante este fim do curso e à minha família de EJC Luz Misericordiosa.

Aos meus amigos e colegas de profissão, em especial à minha turma 2013.2, muito obrigada pela amizade e convívio. Obrigado também por todos os momentos ímpares que passamos ao longo destes anos, por todas as noites e dias de estudos. Não teria sido a mesma coisa sem vocês ao meu lado. Hoje o nosso sonho se concretizou.

À todos os meus professores, em especial minha orientadora Ana Maria Gonçalves por desde o início me abrir as portas e me proporcionar um amadurecimento na parte acadêmica, sempre me incentivando à publicações.

Ao técnico do Laboratório de Solos, Edvaldo, por me ajudar na realização de todos os ensaios necessários para conclusão desta pesquisa.

Aos alunos Jackson Hugo, Gineton e Igor que me ajudaram durante os processos metodológicos da pesquisa.

DEDICATÓRIA

*À Deus por me dar o dom da vida,
Por toda força me concedida para enfrentar de cabeça erguida todas as situações.
À minha família por todo o incentivo e apoio.*

“Mas, buscai primeiro o reino de Deus, e a sua justiça, e todas estas coisas vos serão acrescentadas” (Mateus 6:33)

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Composição básica do Concreto Simples.	19
Figura 2: Venda de cimento acumulada em 12 meses - Mercado Interno	22
Figura 3: Etapas da produção de um concreto para um ensaio de Resistência à Compressão Simples.	25
Figura 4: Formas de rompimento do concreto.....	26
Figura 5: Estrutura do pavimento com blocos intertravados de concreto	29
Figura 6: Placas no pátio da marmoraria	31
Figura 7: Área útil das placas de rochas apresentando as bordas que serão cortadas.	32
Figura 8: Aparas de mármore e granitos provenientes do corte das placas.....	32
Figura 9: Esquema do processo de beneficiamento de rochas.	33
Figura 10: Esquema da composição mineralógica típica: a) do mármore: calcita (2) e dolomita (3)	35
Figura 11: Placas de mármore e granito produzidas pela empresa GRANFUJI	36
Figura 12: Fotos de alguns dos resíduos gerados durante o beneficiamento de rochas ornamentais nas indústrias de Campina Grande - PB. (a) Lama abrasiva (Serragem); (b) costaneiras (Serragem); (c) Lâminas de aço (Serragem); (d) Retraços dos ladrilhos (Recorte)	37
Figura 13: Resíduo de Mármore utilizado na pesquisa.	38
Figura 14: Fluxograma das etapas da pesquisa	39
Figura 15: Procedimento do ensaio de slump test.	41
Figura 16: Resultado da britagem: (a) 25 golpes determinados pela NBR 7223; (b) Concreto após retirada do cone; (c) Abatimento analisado por meio da régua.....	42
Figura 17: Corpos de prova cilíndricos com diâmetro de 10cm e altura de 20 cm, após moldagem realizada.	44
Figura 18: Corpos de prova imersos em água.	45
Figura 19: Resistência à compressão simples dos corpos de prova de concreto: (a) Antes do rompimento. (b) Após rompimento do concreto.	46
Figura 20: Ensaio de absorção de água por imersão: (a) Amostra saturada; (b) amostra seca em estufa.....	48
Figura 21: Resistência à compressão simples do concreto de referência e do concreto incorporado com 5% de resíduo de mármore.....	49
Figura 22: Resistência à compressão simples do CREF e do concreto – C10%RM.....	50
Figura 23: Absorção de água do concreto de referência – CREF e do concreto com resíduos de mármore nos teores de 5% - C5%RM e com 10% - C10%RM.....	51

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Composição do Cimento Portland comum e composto.	20
Tabela 2: Principais tipos e aplicações do concreto	28
Tabela 3: Principais rochas exploradas e suas características	35
Tabela 4: Slump Test do concreto em estudo.....	41
Tabela 5: Quantitativo de materiais para a confecção de 16 corpos de prova.....	43
Tabela 6: Quantitativo de corpos de prova submetidos ao ensaio de resistência à compressão simples.....	45
Tabela 7: Coeficiente de Variação (CVe).....	46
Tabela 8: Classes de resistência de concretos estruturais.....	47

LISTA DE SIMBOLOS E ABREVIATURAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

RBRO – Resíduo do Beneficiamento de Rochas Ornamentais

RBMG – Resíduo do Beneficiamento de Mármore e Granito

P&D – Pesquisa e Desenvolvimento

RCD – Resíduo de Construção e demolição

ABCP – Associação Brasileira de Cimento Portland

SNIC – Sindicato Nacional da Indústria do Cimento

RESUMO

A construção civil é o setor com maior potencial para aproveitamento de vários tipos de resíduos industriais. Devido a isso a intenção é explorar as várias possibilidades que já existem, realizando, assim, uma interação e/ou integração entre segmentos e cadeias produtivos. As indústrias de beneficiamento de mármore e quartzito tem gerado grandes volumes de resíduos com potenciais para serem utilizados na construção civil como matéria-prima alternativa. Assim, este estudo teve como objetivo avaliar as propriedades físicas e mecânicas do concreto incorporado com resíduos de mármore em substituição ao agregado graúdo. Foram moldados corpos de prova nas dimensões de 10 cm x 20 cm com substituição parcial do agregado graúdo por resíduo de mármore nos teores de 5% e 10% e foi determinada a absorção e resistência compressão simples nas idades de 7,14,21 e 28 dias. Observou-se que a substituição do agregado graúdo por resíduo de mármore possibilitou a obtenção de um concreto com propriedades que atendem aos parâmetros normativos, destacando o percentual de 10% de substituição que apresentou resistência a compressão simples 7,14% superior ao concreto de referência.

Palavras-chave: Propriedades; material alternativo; construção civil.

ABSTRACT

Civil construction is the sector with the greatest potential for the use of various types of industrial waste. Because of this the intention is to explore the various possibilities that already exist, thus realizing an interaction and / or integration between segments and productive chains. The marble and quartzite processing industries have generated large volumes of waste with potential to be used in construction as an alternative raw material. Thus, this study had as objective to evaluate the physical and mechanical properties of the concrete incorporated with marble residues in substitution to the large aggregate. The specimens were molded in the 10 cm x 20 cm dimensions with partial replacement of the large aggregate with 5% and 10% of the marble residue, and the absorption and resistance of single compression at the ages of 7,14,21 and 28 days. It was observed that the substitution of the large aggregate with the marble residue allowed to obtain a concrete with properties that meet the normative parameters, highlighting the percentage of 10% of substitution that presented resistance to simple compression 7.14% higher than the reference concrete.

Key words: Properties; alternative material; construction.

SUMÁRIO

1.0	INTRODUÇÃO	15
1.1	JUSTIFICATIVA	16
1.2	OBJETIVOS	16
1.2.1	<i>Objetivo Geral.....</i>	<i>16</i>
1.2.2	<i>Objetivos Específicos</i>	<i>17</i>
1.3	ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO - TCC	17
2.0	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	18
2.1	A CONSTRUÇÃO CIVIL E O SEU POTENCIAL DE REAPROVEITAMENTO	18
2.2	CONCRETO E SUA PRODUÇÃO	19
2.3	PROPRIEDADES DO CONCRETO	22
2.3.1	<i>Concreto fresco</i>	<i>22</i>
2.3.1.1	<i>Consistência</i>	<i>23</i>
2.3.1.2	<i>Trabalhabilidade.....</i>	<i>23</i>
2.3.1.3	<i>Segregação.....</i>	<i>23</i>
2.3.1.4	<i>Exsudação</i>	<i>24</i>
2.3.1.5	<i>Homogeneidade.....</i>	<i>24</i>
2.3.1.6	<i>Plasticidade.....</i>	<i>24</i>
2.3.2	<i>Concreto Endurecido</i>	<i>25</i>
2.3.2.1	<i>Propriedades Mecânicas.....</i>	<i>25</i>
2.3.2.2	<i>Massa específica</i>	<i>26</i>
2.3.2.3	<i>Durabilidade</i>	<i>27</i>
2.3.2.4	<i>Transporte de fluidos</i>	<i>27</i>
2.3.2.5	<i>Absorção e Permeabilidade</i>	<i>27</i>
2.4	USOS DO CONCRETO.....	28
2.5	USO DE RESÍDUOS EM CONCRETO DE CIMENTO PORTLAND.....	29
2.6	ROCHAS ORNAMENTAIS.....	30
2.7	BENEFICIAMENTO DE ROCHAS ORNAMENTAIS	33
2.8	O MÁRMORE	34
2.9	GRANFUJI – EMPRESA DE MÁRMORE E GRANITO – CAMPINA GRANDE – PB	36
3.0	MATERIAIS E MÉTODOS.....	38
3.1	MATERIAIS.....	38
3.2	METODOLOGIA	39

3.2.1 Seleção dos materiais.....	40
3.2.2 Estudo da dosagem dos materiais e moldagem dos corpos de prova.....	40
3.2.2.1 Dosagem dos materiais	40
3.2.2.2 Avaliação da consistência do concreto – Slump Test	40
3.2.2.3 Moldagem dos corpos de prova	43
3.2.2.4 Cura dos corpos de prova do concreto	44
3.2.3 Determinação das propriedades físicas e mecânicas do concreto simples incorporado com resíduo de mármore.....	45
3.2.3.1 Resistência à compressão simples do concreto.....	45
3.2.3.2 Absorção de água.....	47
4.0 RESULTADOS E DISCUSSÕES	49
4.1 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO SIMPLES	49
4.2 ABSORÇÃO DE ÁGUA	51
5.0 CONSIDERAÇÕES FINAIS E SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS	53
5.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS	53
5.2 SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS	53
REFERÊNCIAS	54
ANEXO – ESTUDO DAS PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS DO CONCRETO INCORPORADO COM RESÍDUOS DE MÁRMORE	61

1.0 INTRODUÇÃO

Atualmente, devido ao crescimento populacional, associado à intensa industrialização e ao surgimento de novas tecnologias, o consumo de matéria-prima tem se tornado excessivo. De acordo com Raupp-Pereira, et al., (2006) toda a produtividade leva ao decorrente decréscimo dos recursos naturais e simultaneamente, à geração de grandes quantidades de resíduos e subprodutos que em sua maioria, não são reciclados diretamente. O aproveitamento dos resíduos através de estudos capazes de detectar suas potencialidades é encarado hoje como atividade complementar ao sistema produtivo, podendo contribuir para a diversificação dos produtos, diminuição dos custos finais, além de resultar em “novas” matérias-primas para uma série de setores industriais (MENEZES et al., 2005a, MENEZES et al., 2008).

Sendo a construção civil um dos mais significantes setores econômicos, é um dos maiores consumidores de matérias-primas com grande extração de recursos naturais do meio ambiente. No entanto, devido à grande variedade de produtos gerados possui considerável potencial de reutilização dos seus respectivos resíduos e conseqüentemente a obtenção de um desenvolvimento sustentável. O concreto por apresentar diversas propriedades agregadas aos seus constituintes, possui um grande potencial para absorver componentes com características semelhantes aos seus elementos básicos que garantam as mesmas propriedades físicas e mecânicas.

Dentre os resíduos gerados na cadeia produtiva dos elementos construídos pelo homem estão aqueles provenientes da produção de rochas ornamentais. Durante a extração destas nas pedreiras, elas são cortadas em chapas para o uso em vários ramos da construção civil, gerando resíduos que se caracterizam pelo tipo da rocha extraída, como mármore, granitos entre outras rochas. O Brasil possui um parque de beneficiamento operando com mais de 1600 teares, totalizando uma capacidade de serragem, estimada, em 40 milhões de m²/ano (ABIROCHAS, 2009). O resíduo do beneficiamento de rochas ornamentais (RBRO) vem sendo amplamente estudado para diversas aplicações também em materiais de construção, como em matrizes cimentícias, cerâmicas, matrizes betuminosas, entre outros.

O uso de adições minerais na construção civil é um importante exemplo de prática sustentável, onde as adições minerais normalmente utilizadas são resíduos provenientes de outras indústrias, os quais seriam descartados em grandes quantidades em locais impróprios, gerando riscos de contaminação do solo e fontes de água (DAL MOLIN, 2005).

Nesse contexto, se apresenta o resíduo da indústria de beneficiamento de mármore e granito (RBMG) cuja sua exploração e produção se destaca como um ramo crescente da economia do Brasil. Entretanto, do ponto de vista ambiental a indústria de RBMG vem se tornando uma preocupação em vista da grande quantidade de resíduos gerados durante todas as etapas de corte e polimento das rochas, muitas vezes despejadas de forma inadequada no meio ambiente.

A aplicação de resíduos na construção civil podem ser das mais diversas, dentre elas temos a adição de resíduos gerados nas rochas ornamentais no concreto simples. Por este ser um dos materiais mais utilizados mundialmente observa-se uma grande preocupação pelo seu desempenho, que aliado ao desenvolvimento sustentável, faz do uso uma ótima alternativa.

1.1 JUSTIFICATIVA

Procurar reutilizar materiais que estariam dispostos inadequadamente sem nenhuma função é uma solução bastante significativa na Construção civil, tanto para a sustentabilidade quanto para a preservação ambiental, bem como para a inovação que a cada ano se torna mais crescente devido às diversas pesquisas que surgem visto que é um dos ramos que mais explora as riquezas naturais.

Assim, a incorporação do resíduo do beneficiamento de mármore no concreto vem como uma alternativa para a busca por um processo que consuma resíduo ao invés de matéria prima contribuindo para o avanço do conhecimento da área.

Diante deste contexto, o presente trabalho apresenta-se como uma alternativa sustentável para a incorporação do resíduo do mármore em substituição ao agregado graúdo na composição do concreto afim de melhorar suas propriedades físicas e mecânicas, minimizando o impacto ambiental e agregando valor ao apresentar uma boa solução economicamente.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

Este estudo tem como principal objetivo avaliar o desempenho do concreto incorporado com resíduos de mármore.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Estudar as propriedades físicas e mecânicas do concreto incorporado com o resíduo de mármore a partir dos ensaios de resistência à compressão simples do concreto e absorção de água;
- Prover uma forma de destinação segura e sustentável para o resíduo de Mármore.

1.3 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO - TCC

O texto deste Trabalho de Conclusão de Curso encontra-se em um volume único distribuído da seguinte forma:

Introdução – Introdução, Justificativa, Objetivos da Pesquisa e Organização deste estudo.

Fundamentação Teórica – São abordados assuntos relacionados a construção civil e seu potencial de reaproveitamento, beneficiamento das rochas ornamentais de mármore, bem como do concreto simples e suas aplicações.

Materiais e Métodos – São apresentados os materiais utilizados na pesquisa e relatados aspectos considerados importantes sobre os procedimentos da etapa experimental.

Resultados e Discussões – São apresentados e discutidos os resultados obtidos neste estudo.

Considerações Finais e Sugestões para pesquisas futuras – São apresentadas as considerações a cerca da pesquisa e as sugestões para estudos futuras sobre o tema.

Por fim, estão as Referências, onde são listadas as pesquisas citadas neste estudo.

2.0 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 A CONSTRUÇÃO CIVIL E O SEU POTENCIAL DE REAPROVEITAMENTO

Aliado aos estímulos da economia no ramo, Frej & Alencar (2010); Silva & Fernandes (2012); Rodrigues et al., (2013) incluem que a competição entre as empresas brasileiras de construção está cada vez mais acirrada, fazendo com que o setor procure alternativas ecologicamente corretas intensificando a pesquisa e desenvolvimento (P&D). Quanto aos impactos ambientais que gera, esta indústria se apresenta como um dos grandes desafios para a sustentabilidade, dado que é responsável por uma grande parcela dos recursos naturais.

Diante desse panorama, espera-se que o desenvolvimento de novos materiais e processos construtivos esteja não somente ligado a aspectos econômicos, mas também a aspectos ambientais e sociais, baseando-se no desenvolvimento sustentável e em modelos cíclicos de produção e consumo, nos quais os produtos possam voltar para as fases iniciais de produção após a sua vida útil ou, no caso dos resíduos, serem reaproveitados antes do seu descarte. Assim, todos os recursos empregados são otimizados e a geração de resíduos é reduzida a um mínimo reciclável (JOHN e AGOPYAN, 2000). Este ciclo com reaproveitamento pode diminuir consideravelmente o aumento do consumo de matéria prima e seus dejetos atendendo assim ao que determina a Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei 12.305/2010), que concede ao gerador do resíduo a responsabilidade por sua adequada disposição.

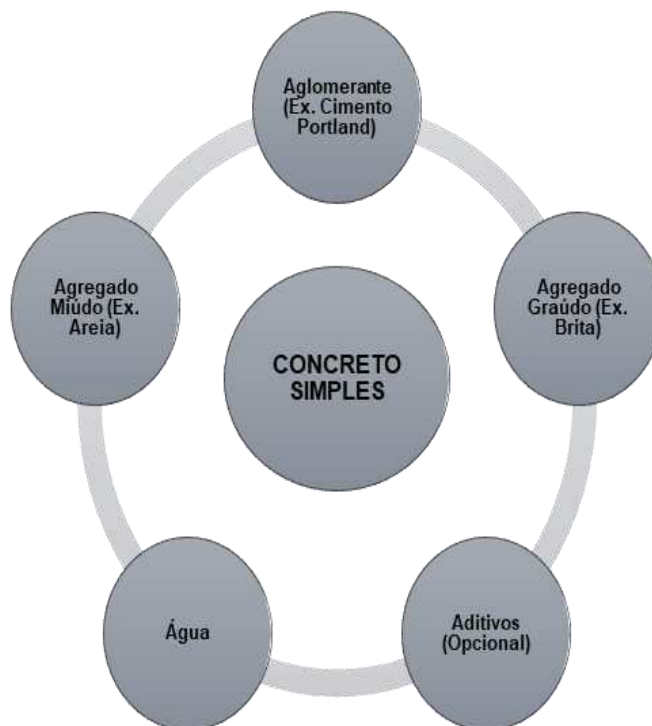
De acordo com Guerra et al., (2008) a indústria da construção civil está vivendo o desafio de executar uma atividade de grande impacto, procurando sistemas e soluções que se dirijam a um desenvolvimento sustentável. Uma parte considerável dos resíduos sólidos gerados é constituída por resíduos de construção e demolição (RCD), outra parte também é constituído pelos resíduos gerados pelo beneficiamento das Rochas Ornamentais.

A elevada produção nacional de RBRO gera grandes quantidades de resíduos, desde a extração do bloco nas jazidas até o polimento das placas e colocação das peças acabadas. O resíduo produzido durante a etapa do beneficiamento fica armazenado nos pátios das serrarias e depois é descartado em aterros, provocando impactos ambientais, como a poluição do solo e atmosférica, além da poluição visual e estética. Estima-se que, por ano, é gerada cerca de 1,8 milhão de tonelada deste resíduo no Brasil (REIS, 2008).

2.2 CONCRETO E SUA PRODUÇÃO

O concreto é o material de construção mais utilizado no mundo, consumindo grandes volumes de recursos naturais não renováveis, além de que a obtenção de matérias primas para sua produção causa grandes impactos ambientais. É um material resultante da mistura de quatro componentes principais e dependendo da necessidade utiliza-se materiais complementares, por exemplo os aditivos, como podemos observar na Figura 1.

Figura 1: Composição básica do Concreto Simples.



FONTE: O autor (2018)

Os principais elementos da composição do concreto são detalhados a seguir.

- i. Cimento (cimento Portland): o cimento é um material finamente pulverizado com propriedades aglutinantes, aglomerantes ou ligantes, que quando hidratado com água seus minerais reagem e todo o material solidifica. Após isso, mesmo que seja novamente endurecido o cimento não se decompõe mais.

A maioria dos tipos de Cimento Portland hoje existentes no mercado são utilizados para o uso geral. Porém determinados cimentos possuem certas propriedades e características que os fazem mais adequados para alguns tipos de usos, possibilitando que se obtenha um concreto ou uma argamassa com a durabilidade e resistência esperadas e mais economicamente possível. A Tabela 1 a seguir, apresenta a composição dos cimentos comuns e compostos.

Tabela 1: Composição do Cimento Portland comum e composto.

Tipo de cimento portland	Sigla	Composição (% em massa)				Norma Brasileira
		Clínquer + gesso	Escória granulada de alto-forno (sigla E)	Material pozolânico (sigla Z)	Material carbonático (sigla F)	
Comum	CP I	100	-			NBR 5732
	CP I-S	99-95	1-5			
Composto	CP II-E	94-56	6-34	-	0-10	NBR 11578
	CP II-Z	94-76	-	6-14	0-10	
	CP II-F	94-90	-	-	6-10	

FONTE: ABCP (2002)

O cimento do tipo CP II Z 32 com adição de material pozolânico apresenta bom desempenho nas estruturas que entram em contato com ambientes agressivos, sendo indicado para estruturas de concreto em geral, pisos industriais, pavimentos de concreto, elementos pré-moldados de concreto, calçadas e outras estruturas que possuem contato com meios químicos.

- ii. Agregado miúdo (areia ou resíduos finos): De acordo com a granulometria, corresponde a partículas de agregado menores que 4,8 mm (peneira n°4) e maiores que 75 µm (peneira n° 200). A areia deve ser composta por grãos de minerais duros, compactos, duráveis e limpos e não devem conter substâncias de nenhuma natureza e quantidade que venha a afetar o endurecimento e a hidratação do cimento, a durabilidade, a proteção contra a corrosão na armadura e quando requerido, o aspecto visual da estrutura de concreto. (MONTANARI, et al. 2016)
- iii. Agregado graúdo (Pedra britada ou resíduos de construção): É classificado como partículas de agregado maiores que 4,8 mm, como exemplo, seixos rolados e britas.

Segundo Neville (1997), ao mantermos a mesma mineralogia do agregado, os concretos com agregado de superfície mais rugosa, tendem a apresentar maior resistência que os concretos com agregado de superfície mais lisa.

De acordo com Gonçalves et al (1994), agregados com resistências maiores proporcionam concretos com maiores valores de resistência à compressão.

- iv. Água: Segundo a Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP), a água é o maior aliado do cimento na hora de confeccionar as argamassas e concretos. Ao contato com o cimento, ela reage ativamente do ponto de vista químico devendo ser livre de impurezas e sem a presença de íons agressivos.

A pasta composta pelo cimento e água age unindo os grãos dos agregados, preenchendo os vazios entre eles, formando uma massa trabalhável e condensada. Já a função dos agregados é fornecer ao conjunto condições de resistência aos esforços e ao desgaste, além de redução no custo. Ao passar do tempo, o concreto endurece decorrente de reações químicas entre o cimento e a água (hidratação do cimento definida pelo fator água/cimento). A proporção entre todos os materiais que compõem este material é também conhecida por traço ou dosagem. Cada material a ser utilizado deve ser analisado previamente em laboratório (conforme normas da ABNT), a fim de que se obtenha a caracterização e os dados necessários à elaboração.

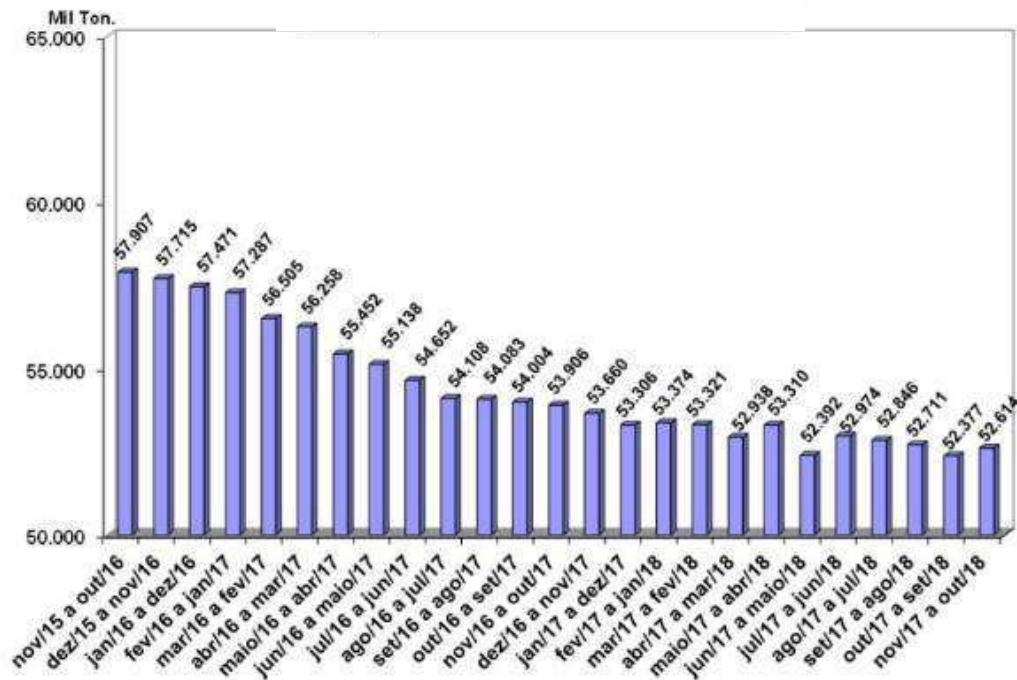
Segundo ABCP (2002), as características e propriedades dos concretos e argamassas dependem da proporção e da qualidade dos materiais com que são compostos. Pode-se dizer que o cimento é o principal responsável pela transformação da mistura dos materiais componentes dos concretos e das argamassas no produto final desejado, seja uma laje, uma viga, um revestimento, entre outros.

É estimado que, anualmente, são consumidos 11 bilhões de toneladas de concreto, onde segundo a Iberoamericana de Hormigón Premesclado (FIHP), dá um consumo de 1,9 toneladas de concreto por habitante por ano (PEDROSO, 2009).

Se tratando do cimento que é um dos materiais base para fabricação de concretos e argamassas, o Sindicato Nacional da Indústria do Cimento (SNIC) afirma que o consumo aparente de cimento (vendas no mercado interno + importações) totalizou 44,4 milhões de toneladas entre janeiro a outubro de 2018. O resultado significa queda de 1,9% em relação ao mesmo período de 2017. Na comparação com o acumulado nos últimos 12 meses (novembro de 17 a outubro de 18), a queda foi de 2,6% comparado ao período anterior (novembro de 16 a outubro de 17).

Em 12 meses, as vendas acumuladas de cimento registraram 52,6 milhões de toneladas. O volume é 2,4% menor em relação ao observado no período de novembro de 2016 a outubro de 2017. Já em outubro de 2018 foram vendidas 4,8 milhões de toneladas, quantidade 5,2% superior às vendas de outubro de 2017 (SNIC, 2018). A Figura 2 abaixo apresenta a venda acumulada nos 12 meses.

Figura 2: Venda de cimento acumulada em 12 meses - Mercado Interno



FONTE: SNIC (2018)

“Tudo indica que nossas expectativas para 2018 serão mantidas, ou seja, fecharemos o ano com queda entre 1% a 2%. No entanto, já vemos sinais de otimismo com o incremento de projetos e lançamentos imobiliários no mercado brasileiro como um todo, além do natural otimismo com os novos governos que terão início a partir de janeiro do ano que vem”, conclui o dirigente da SNIC.

2.3 PROPRIEDADES DO CONCRETO

Sabe-se que o concreto é semelhante a uma pedra artificial que pode ser construído nas mais diferentes formas, apresentando-se como um material que no estado fresco se apresenta como plástico, proporcionando modelagens e formas construtivas variáveis. Após endurecido, apresenta resistência semelhante às rochas naturais.

2.3.1 Concreto fresco

O estado fresco do concreto consiste no tempo que se inicia a pega do aglomerante formado, no qual começam as reações químicas com a água e a pasta se solidifica. Ao final desta etapa, considera-se que o concreto não está mais fresco e sim em seu estado endurecido. No intervalo de tempo na qual o concreto permanece em estado plástico, as principais propriedades a serem estudadas são: trabalhabilidade, consistência e a exsudação (CARVALHO, 2016).

2.3.1.1 Consistência

A consistência do concreto fresco é uma propriedade relacionada com a fluidez da mistura e está relacionada às características inerentes ao próprio concreto. A consistência adequada é fundamentalmente para garantir a trabalhabilidade do concreto, ou seja, a facilidade com que o concreto pode ser colocado num certo tipo de fôrma, sem segregação. (ANDOLFATO, 2002). Em concretos convencionais, é determinada principalmente pela quantidade de água no concreto. Variando a proporção de água adicionada ou empregando aditivos sua plasticidade é alterada, modificando a deformação do concreto mediante a esforços.

2.3.1.2 Trabalhabilidade

É a propriedade do concreto fresco que identifica sua maior ou menor capacidade para ser utilizado com determinada finalidade sem a perda de homogeneidade de toda a mistura. Na maioria dos casos, os concretos que possuem maiores adições de água acabam por obter uma trabalhabilidade melhor, entretanto, a utilização da água em excesso pode interferir negativamente na resistência do concreto, devendo ser sempre dosado de acordo com o traço calculado.

Os principais fatores que interferem na trabalhabilidade são os fatores internos, a exemplo da consistência, do traço do concreto, granulometria, forma do grão dos agregados, aditivos. Já os fatores externos podem ser a mistura, o transporte, o lançamento, adensamento, características da peça.

Outros dois fatores afetam significativamente a trabalhabilidade: temperatura e tempo. No tocante a temperatura, valores mais elevados reduzem a trabalhabilidade e aumentam a perda de abatimento (NEVILLE, 2016). Já em relação ao tempo, sabe-se que o concreto fresco a medida que passa vai se enrijecendo. Trata-se da evaporação, da absorção de água por parte dos agregados, e diminuição da parte de água pelas reações químicas iniciais.

2.3.1.3 Segregação

A segregação consiste na separação dos constituintes do concreto fresco, formando uma massa desuniforme. De acordo com Mehta e Monteiro (1994), há dois tipos de segregação. O primeiro tipo é uma característica das misturas secas e consiste na separação dos agregados da argamassa do concreto, sendo uma de suas principais causas a vibração

excessiva. O segundo tipo de segregação é a exsudação, sendo característica das misturas de concreto muito fluidos.

Segundo Dal Molin (2005), pode-se afirmar que os concretos com adições minerais tendem a ser mais coesos, com redução considerável da tendência à segregação e exsudação, quando comparados a um concreto sem adição.

2.3.1.4 Exsudação

É definida como um fenômeno cuja tendência da água é de vir à superfície do concreto recém lançado, devido à sua densidade (1g/cm^3) ser menor que a dos agregados ($\approx 2,7\text{g/cm}^3$) e a do cimento ($\approx 3,1\text{g/cm}^3$). Isso é causado pela incapacidade dos constituintes sólidos da mistura em reter toda a água de amassamento quando eles se assentam em direção ao fundo. A exsudação faz com que o fator a/c da superfície fique maior, reduzindo a resistência mecânica na região. Segundo Neville (2016), caso a água seja retida acima devido ao concreto sobreposto, o resultado será uma camada fraca, porosa e sem durabilidade.

2.3.1.5 Homogeneidade

Está relacionada com a qualidade, quanto mais homogêneo o concreto for, melhor a sua estrutura final. Os agregados graúdos possuem grande influência nesta propriedade do concreto pois quanto mais suas formas forem uniformes, regulares, estarem dispersos na pasta de cimento com água, melhor a qualidade do concreto, principalmente quanto à permeabilidade.

2.3.1.6 Plasticidade

Plasticidade é a propriedade que o concreto fresco apresenta, definida pela facilidade da mistura de moldar-se sem se romper. Segundo Rodrigues (2017) essa propriedade depende da consistência e do grau de coesão entre os componentes do concreto. Na ausência da coesão ocorre a segregação que é definida como a separação dos grãos do agregado da pasta de cimento. A plasticidade tem bastante importância no que se refere à quantidade de agregados miúdos no concreto por exercerem influência preponderante sobre a plasticidade do mesmo devido a elevada área específica. O uso de areia em quantidades exageradas aumenta consideravelmente a coesão da mistura e dificulta o lançamento e adensamento do concreto em formas.

2.3.2 Concreto Endurecido

2.3.2.1 Propriedades Mecânicas

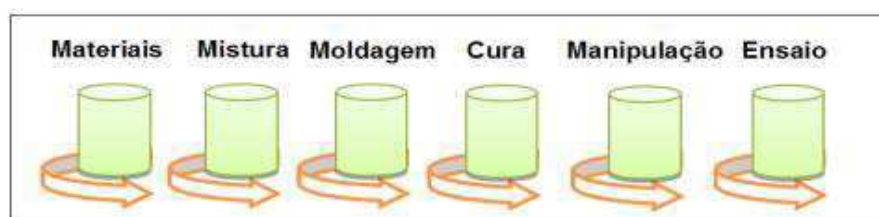
Mehta e Monteiro (1994) afirmam que as propriedades mecânicas do concreto endurecido têm uma relação intrínseca com as características químicas e físicas dos materiais a ele incorporados, bem como com as suas quantidades. Araújo et.al.(2000) indicam ser indispensável manipular corretamente a mistura de agregados e pasta de cimento para que se consiga um conjunto monolítico e resistente capaz de garantir a qualidade de uma obra em concreto.

A resistência do concreto é mensurada em função do processo de hidratação do cimento, que consiste em uma reação química relativamente lenta. Geralmente, os ensaios de resistência são realizados por meio da ruptura de corpos de prova, curados em ambientes com controle de umidade e temperatura no período de 28 dias (METHA; MONTEIRO, 2014).

Em se tratando desses ensaios mecânicos, diversos fatores podem influenciar nas consistências e nos resultados. Cupertino et al (2007a), Mehta e Monteiro (2006) e Neville (1997) advertem que de nada adianta uma rígida especificação do concreto se os ensaios não proporcionam garantia e confiabilidade em relação aos resultados encontrados.

O ensaio de compressão do concreto simples permite avaliar o comportamento deste material sob a ação de um estado de tensões. A Figura 3 demonstra as etapas da produção do concreto de um ensaio à compressão para a verificação de sua resistência. A mistura de seus materiais que incorporam a condição de naturezas e origens distintas, a moldagem e cura de forma diversificada, a manipulação dos corpos de prova e a realização dos ensaios de forma indevida são fatores capazes de induzir a variabilidade e qualidade dos resultados dos ensaios à compressão.

Figura 3: Etapas da produção de um concreto para um ensaio de Resistência à Compressão Simples.

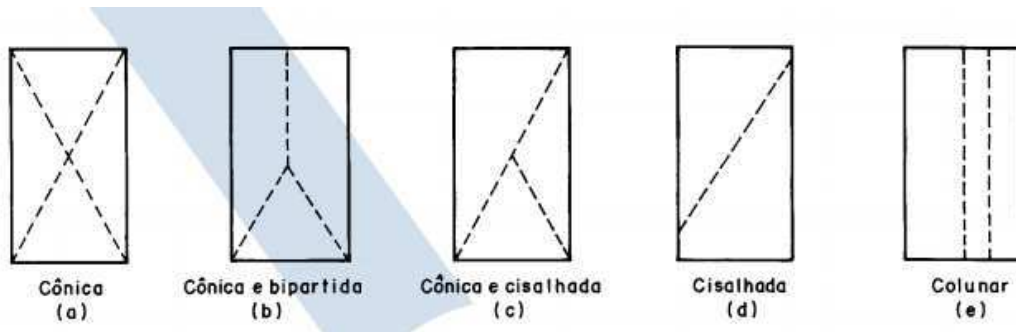


FONTE: Gildrão (2015)

Segundo a NBR 5739, existem diferentes formas que o concreto rompe no ensaio de

resistência à compressão simples, como mostra a Figura 4 a seguir.

Figura 4: Formas de rompimento do concreto.



FONTE: NBR 5739:1994

Em se tratando desses ensaios mecânicos, diversos fatores podem influenciar nas consistências e nos resultados. Cupertino et al (2007a), Mehta e Monteiro (2006) e Neville (1997) advertem que de nada adianta uma rígida especificação do concreto se os ensaios não proporcionam garantia e confiabilidade em relação aos resultados encontrados.

O conhecimento da resistência do concreto à tração é uma importante característica desse material, porque os esforços solicitantes aplicam deformações e tensões de tração nos elementos estruturais de Concreto Armado. Dentre as propriedades mecânicas, sabe-se que o concreto resiste mal à tração em comparação à compressão. Segundo Mehta e Monteiro (2006), resistência do concreto à tração varia entre 8 e 15 % da resistência à compressão. De acordo com Carvalho (2016), os três tipos básicos de ensaio comumente realizados para a determinação da resistência do concreto à tração são por tração direta, tração indireta e tração na flexão. A partir dos resultados dos ensaios, é possível estimar a capacidade resistente da peça e a carga na qual iniciam as fissuras.

O módulo de elasticidade representa a rigidez do material, assim, quanto menor for a deformação elástica provocada por uma dada tensão, maior o seu módulo de elasticidade. É a relação entre a tensão e uma das fases da deformação que é a deformação reversível.

2.3.2.2 Massa específica

De acordo com a massa específica, o concreto é classificado em três tipos. Os Concretos Leves possuem massa específica de ordem de 1440 a 1800 kg/m³. Os concretos

estruturais apresentam massa específica entre 2300 a 2800 kg/m³. Já os concretos pesados, utilizados em blindagem contra radiações, em torno de 3360 a 3840 kg/m³.

2.3.2.3 Durabilidade

Barros (2008) define um concreto durável como aquele que apresenta um bom desempenho em serviço, trabalhando sob as condições para as quais foi especificado. Segundo Neville (1997) a durabilidade inadequada do material concreto pode se dar tanto por um dano provocado por agentes externos quanto por fatores inerentes ao próprio concreto. As causas físicas destacam-se as diferenças de coeficiente de dilatação térmica do agregado e da pasta de cimento hidratado, bem como os efeitos de altas temperaturas. Já as causas mecânicas compreendem os impactos, abrasão, cavitação ou erosão.

2.3.2.4 Transporte de fluidos

Na maioria dos casos, os problemas de durabilidade estão relacionados a qualidade do concreto, especialmente à permeabilidade pois à exceção das ações de natureza mecânica, as influências negativas decorrem do transporte de fluidos através do concreto. A durabilidade depende bastante da facilidade com a qual os fluidos, tanto líquidos como gases, podem ingressar na estrutura e se deslocar no seu interior, trazendo consigo agentes que reagem com as partículas dos concretos causando patologias.

2.3.2.5 Absorção e Permeabilidade

O termo permeabilidade, segundo Ramachandran & Beaudoin (2001), se refere à resistência que um material poroso tem ao fluxo de um líquido que satura seus poros. A natureza e o teor de aglomerante bem como a granulometria do agregado, são fatores que influenciam a permeabilidade das argamassas, sendo que esta propriedade é diretamente proporcional à relação água/cimento e inversamente proporcional à resistência da pasta aglomerante.

Segundo a NBR 9778/1987, quanto mais poroso for o concreto, mais rapidamente os agentes agressivos como o gás carbônico existente no ar, o sal da água do mar, os gases sulfurosos de uma rede de esgoto etc., prejudicam a integridade da peça.

Barros (2008) discute que para obter uma melhor durabilidade, um concreto deve dificultar a entrada de fluidos no seu interior, como exemplo água pura ou com íons agressivos, dióxido de carbono e oxigênio. Em relação ao ensaio de absorção de água, ele

também afirma que corpos de prova na condição seca em estufa apresentam uma maior facilidade de execução dos ensaios. No entanto, essa condição não é representativa, pois não reflete a realidade do concreto em serviço.

2.4 USOS DO CONCRETO

O ramo da construção civil apresenta hoje cada vez mais aplicações e inovações tecnológicas promovendo um crescente uso do concreto nos mais diversos tipos de construções. Encontra-se uma diversa variedade de tipos de concreto existentes, cada um com suas particularidades e exigências nas construções, dentre as principais aplicações estão expostas na Tabela 2 a seguir.

Tabela 2: Principais tipos e aplicações do concreto

TIPO	APLICAÇÃO
Rolado	Barragens, pavimentação rodoviária (base e sub-base) e urbana (pisos, contrapisos)
Bombeável	De uso corrente em qualquer obra. Obras de difícil acesso. Necessidade de vencer alturas elevadas ou longas distâncias
Resfriado	Peças de elevado volume como bases ou blocos de fundações
Colorido	Estruturas de concreto aparente, pisos (pátios, quadras e calçadas), guarda-corpo de pontes, etc.
Projetado	Reparo ou reforço estrutural, revestimento de túneis, monumentos, contenção de taludes, canais e galerias
Alta Resistência Inicial	Estruturas convencionais ou protendidas, pré-fabricados (estruturas, tubos etc.)
Fluido	Peças delgadas, elevada taxa de armadura, concretagens de difícil acesso para a vibração
Pesado	Como lastro, contrapeso, barreira à radiação (câmaras de raios-X ou gama, paredes de reatores atômicos) e lajes de subpressão
Leve (600 a 1200 kg/m ³)	Elementos de vedação (paredes, painéis, rebaixos de lajes, isolante termo-acústico e nivelamento de pisos)
Leve estrutural	Peças estruturais, enchimento de pisos e lajes, painéis pré-fabricados
Pavimentos Rígidos	Pavimentos rodoviários e urbanos, pisos industriais e pátios de estocagem
Alto Desempenho (CAD)	Elevada resistência (mecânica, física e química), pré-fabricados e peças protendidas
Convencional (a partir de 20 MPa)	Uso corrente na construção civil
Submerso	Plataformas marítimas
Com fibras e aço, plásticas ou de polipropileno	Reduz a fissuração
Grout	Agregados de diâmetro máx. 4,8 mm

FONTE: ABESC (2007)

Uma aplicação que está conquistando espaço em todo o país são os blocos de concreto pré-fabricados, intertravados, ou maciços sendo bastante utilizados para pavimentar uma superfície. O intertravamento é a capacidade do material de resistir aos movimentos de deslocamento individual, seja vertical, horizontal, de rotação ou giração em relação às peças adjacentes (FIORITI, 2007).

Os blocos possuem diversas vantagens como a praticidade na manutenção, à facilidade no assentamento e conseqüentemente menor tempo de execução. De acordo com

Fioriti (2007), se for assentado de maneira correta com blocos de qualidade e seguindo as especificações, como uma sub-base bem executada, um pavimento de intertravados pode chegar a 25 anos de vida útil. Além das vantagens, os pisos se destacam pela sua eficiência ambiental, pois existe a possibilidade de utilizar resíduos em sua composição.

A estrutura do pavimento intertravado configura-se pelo revestimento em blocos, assentados sobre uma camada de areia, a base, a sub-base e o subleito. A Figura 5, apresenta uma seção transversal da estrutura de um pavimento contendo os blocos de concreto.

Figura 5: Estrutura do pavimento com blocos intertravados de concreto



FONTE: ABCP (2001)

2.5 USO DE RESÍDUOS EM CONCRETO DE CIMENTO PORTLAND

A incorporação de agregados reciclados de concreto na produção de concreto vem sendo proposto como substituição parcial do agregado natural. Contudo, Bidone (2015) afirma que essa prática de reaproveitamento de materiais é ainda quase insignificante diante do montante gerado, onde a maioria das instalações opera com unidades de beneficiamento fixas.

Srivastava et. al. (2014) utilizaram resíduos de vidro em substituição ao agregado graúdo em concretos. Os autores concluíram que o vidro pode substituir até 50% do agregado graúdo sem que haja perdas de resistência.

Moura et al. (2013) analisou a possibilidade do uso de Resíduo de Serragem de Pedra Cariri (RSPC) como substituição parcial do cimento na produção de concretos convencionais. A presença foi avaliada através das propriedades mecânicas (resistência à compressão axial e

diametral) e parâmetros de durabilidade (absorção por imersão e por sucção capilar). Foram elaborados 9 traços, variando a relação a/c (0,45; 0,55; 0,65) e os teores de substituição (0%, 10% e 20%) do cimento. Os resultados demonstraram que em relação aos parâmetros de durabilidade, os concretos com RSPC apresentaram comportamento compatível com os concretos de referência. Entretanto, a utilização do resíduo no concreto proporcionou uma redução nas resistências à compressão e à tração por compressão diametral.

Estudo realizado por Izquierdo (2015) avaliou o uso de pó de pedra em substituição da areia natural nos teores de 20%, 40%, 60% e 80% e de pó do resíduo de fibras de sisal em substituição ao cimento em concretos para fabricação de blocos para alvenaria. Para cada traço produzido foi realizada a substituição do cimento por pó de resíduo de fibras de sisal nos teores de 5%, 10%, 15% e 20%. O estudo concluiu que os blocos produzidos com substituição de 60% da areia pelo pó de pedra e substituição de 5% do cimento por pó de resíduo de fibras de sisal indicaram resistência à compressão superior ao concreto de referência.

2.6 ROCHAS ORNAMENTAIS

A NBR 6502 (ABNT, 1995) define rocha como sendo material sólido, consolidado e constituído por um ou mais minerais. Na construção civil possui as mais diversas aplicações e utilizações sendo um material bastante utilizado no ramo de decoração e revestimentos. Seus principais campos de aplicação incluem tanto o emprego em peças isoladas, como esculturas, tampos e pés de mesa, balcões, lápides e artefatos de arte funerária em geral, quanto em edificações, destacando-se, nesse caso, os revestimentos internos e externos de paredes, pisos, pilares, colunas, soleiras, etc. (CHIODI, 2009)

Comercialmente os tipos de rochas ornamentais mais difundidas são basicamente subdivididos em granitos e mármore distinguidas pelas suas composições mineralógicas, assumem de maneira generalizada estes nomes, independentemente de possuírem outra designação mais intrínseca do ponto de vista geológico (SANTOS et al.,2012). Os demais tipos são as ardósias, quartzitos, pedra sabão, serpentinitos basaltos e conglomerados naturais (PEITER et al, 2001).

De acordo com Chiodi (2009), o granito e o mármore correspondem a grande parte das variedades de rochas ornamentais e de revestimento comercializadas, atuando com cerca de 80% da produção mundial. No Brasil, estudos apontam que os mármore correspondem a 19% do total de consumo da produção nacional de rochas ornamentais, enquanto 50 % são relativos aos granitos, correspondendo a uma parcela considerável da produção total.

Segundo a revista Qualidade (2004) são produzidos mais de quarenta milhões de metros quadrados de chapas, dois milhões de metros cúbicos de blocos por ano e mais de três milhões de ladrilhos padronizados. Sebrae (2014) constata que toda a crescente produção colocou o Brasil como o 8º colocado no ranking de países exportadores de blocos e é o 5º maior exportador de rochas ornamentais acabadas.

A produção de rochas ornamentais inclui a extração de blocos, o esquadrejamento, serragem para obtenção de chapas e, finalmente, a realização do acabamento desejado sendo ele de polimento, flameagem, apicoamento, entre outros. Ao se aplicar na rocha qualquer tipo de insumo no acabamento, o valor agregado da mesma aumenta (QUEIROZ, 2005). Após o processo de obtenção das chapas, estas são dispostas em pátios nos parques industriais, como mostra a figura 6 a seguir.

Figura 6: Placas no pátio da marmoraria



FONTE: Rodrigues (2015).

Para a finalização da placa para o acabamento desejado para as vendas, as placas são cortadas em dimensões padrão, gerando lascas de mármore e granito que são descartados como resíduos, como mostra a Figura 7.

Figura 7: Área útil das placas de rochas apresentando as bordas que serão cortadas.



FONTE: Rodrigues (2015).

A Figura 8 apresenta os resíduos provenientes dos cortes das peças de rochas ornamentais que são dispostos em locais dos parques industriais sem maiores utilidades.

Figura 8: Aparas de mármore e granitos provenientes do corte das placas



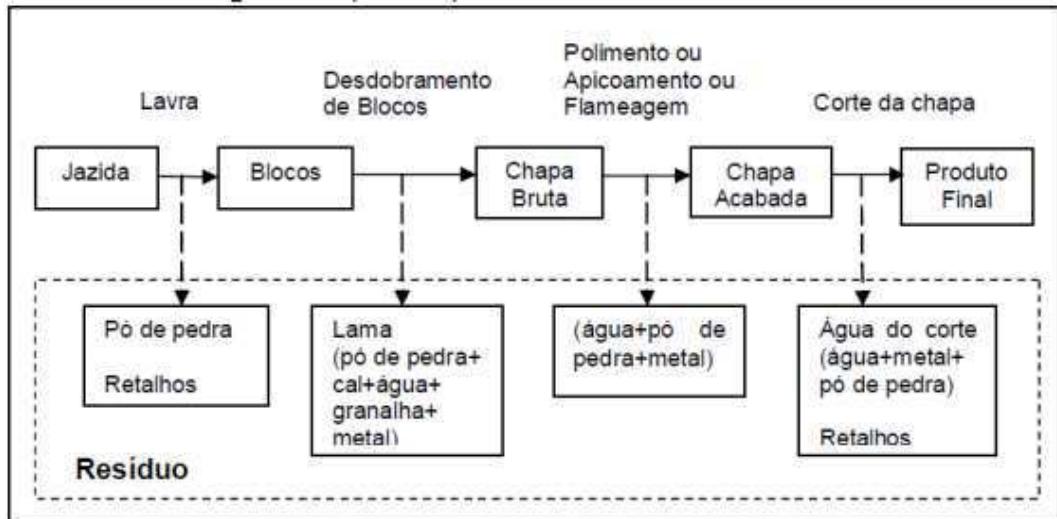
FONTE: Rodrigues (2015).

O resíduo de beneficiamento de rochas ornamentais é classificado como sendo de Classe III, ou seja, inertes. Com isso, a sua utilização na construção civil não causa risco a saúde do homem nem risco ambiental. Porém, Lopes (2006) afirma que os resíduos formados pela lama no beneficiamento do mármore e do granito (RBMG) quando despejadas de forma incorreta acarretam graves problemas ambientais, como o assoreamento de rios, poluição dos mananciais, e também pode causar doenças à população.

2.7 BENEFICIAMENTO DE ROCHAS ORNAMENTAIS

As rochas ornamentais, também denominadas de rochas lapídeas ou pedras naturais, são extraídas da natureza no formato de chapas ou blocos, cortados em diferentes formas e beneficiadas através dos processos de desdobramento, polimento, corte e acabamento, como podemos observar na Figura 9.

Figura 9: Esquema do processo de beneficiamento de rochas.



FONTE: Reis (2008).

De acordo com Braga et al. (2010) durante o processo de corte do bloco o volume de resultante do pó pode chegar a 1/3 (um terço) em peso seco ou 2/3 (dois terços) em peso úmido do bloco. Para Binici et al. (2007), este valor pode chegar aproximadamente a 25% do seu volume resulta em pó. Miranda (2012) contabilizou que as marmorarias executam a serragem e o polimento das chapas ornamentais, e estima uma produção de 190.000 toneladas de resíduos provenientes do beneficiamento de mármore e granito a cada ano.

Segundo Reis (2008), as indústrias de beneficiamento de rochas ornamentais são consideradas pelos ambientalistas como fontes de contaminação e poluição do meio ambiente devido ao grande volume de resíduo gerado e ao descarte do mesmo que, em muitos casos, acontece diretamente nos ecossistemas. Vale salientar que, tanto a disposição e o transporte final em aterros industriais quanto a estocagem do resíduo nos pátios das empresas, geram custos consideráveis.

Em qualquer das principais aplicações das rochas ornamentais o ciclo produtivo pode ser dividido em três etapas bem definidas, desde a atividade mineral até a conformação do

produto. São elas: extração, beneficiamento primário e beneficiamento secundário ou final (ALENCAR, 2013).

A extração equivale a remoção de material útil ou economicamente aproveitável dos maciços rochosos ou dos matacões. O produto oriundo dessa etapa resulta em blocos de dimensões variadas, que procuram obedecer ou aproximar-se, o máximo possível, daqueles que proporcionem o melhor aproveitamento do material e a maior utilização da capacidade produtiva dos equipamentos nas etapas de beneficiamento (ALENCAR, 2013).

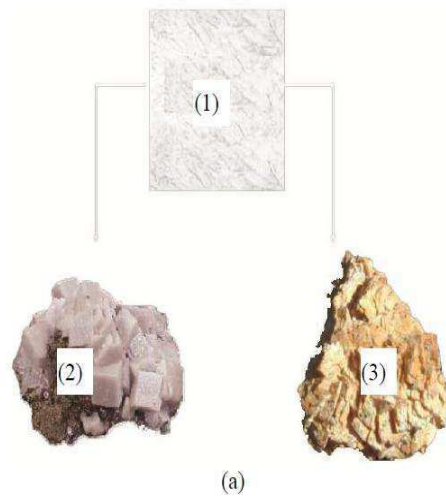
Silveira et al., (2014) afirma que o beneficiamento de rochas ornamentais visa acima de tudo, transformar os blocos extraídos na fase da lavra, em produtos finais ou semiacabados. Com isso, pode-se separar as fases de beneficiamento em primário e secundário ou final.

2.8 O MÁRMORE

De uma forma geral nos estudos de geologia as rochas são classificadas quanto as suas características físicas e mecânicas tais como: condutividade térmica, durabilidade, dureza, higroscopicidade, permeabilidade, porosidade, resistência mecânica e trabalhabilidade (BARROS FILHO, 2005). Analisando tanto o granito quanto o mármore nos quais seus resíduos juntos são classificados como RBMG, Barros Filho (2005) afirma que possuem boa condutividade térmica, são porosos quando não polidos, possuem superfície antiderrapante, são muito resistentes a choques e intempéries, com durezas na escala de Mohs de 3,0 a 4,5 para o mármore e de 5,0 a 7,0 para o granito.

O mármore é composto basicamente por calcita (CaCO_3) e dolomita, sendo formada pelo metamorfismo de calcários, sendo considerada assim, uma rocha calcária, como podemos observar na Figura 10. Seus constituintes químicos majoritários, expressos na forma de óxidos, são a sílica (SiO_2) e a alumina (Al_2O_3), seguidos pela cal (CaO) e os óxidos alcalinos (Na_2O , K_2O).

Figura 10: Esquema da composição mineralógica típica: a) do mármore: calcita (2) e dolomita (3)



FONTE: Rodrigues (2015).

O calcário que dá origem ao mármore também é matéria-prima para o clínquer, um dos principais constituintes do cimento que por sua vez, tem grande importância na produção de concretos, e são situados em geral nas proximidades das fábricas de cimento. A rocha calcária é primeiramente britada, depois moída e em seguida misturada, em proporções adequadas, com argila moída. Essa característica adquirida pelo clínquer, que faz dele um ligante hidráulico muito resistente, é sua propriedade mais importante. Segundo Bauer (2000:65) “várias são as rochas aptas a serem exploradas para produção de agregados industrializados”. Bauer (2000:65) cita as principais rochas exploradas e as características das rochas conforme a Tabela 3.

Tabela 3: Principais rochas exploradas e suas características

Rocha	Densidade	Taxa de ruptura sob compressão (MPa)	Módulo de Elasticidade (MPa)
Granito	2,7	90	34.000
Basalto	2,9	140-180	34.000-80.000
Gnaisse	2,8	90-110	46.000-66.000
Calcário	2,8	160	75.000
Arenito	2,3-2,7	50-180	20.000

Fonte: Junior (2015).

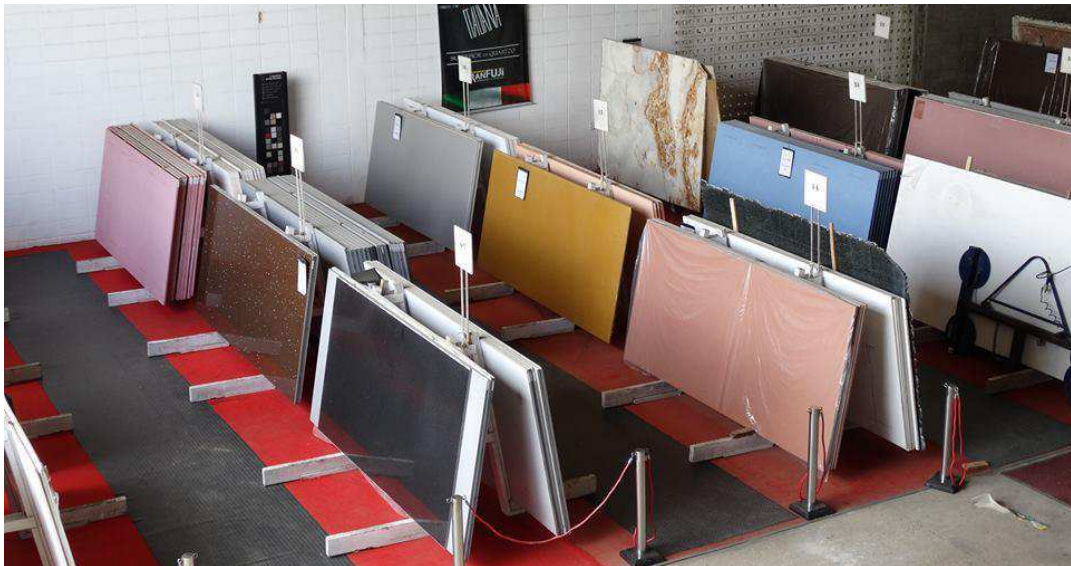
2.9 GRANFUJI – EMPRESA DE MÁRMORE E GRANITO – CAMPINA GRANDE – PB

Segundo Souza et al. (2007), a GRANFUJI possui um parque industrial moderno voltados para atender às mais exigentes demandas de mercado, compreendendo uma área que chega a 50 mil metros quadrados, contendo modernas plantas industriais que processam matérias-primas provenientes de jazidas próprias ou adquiridas junto a seus fornecedores, com capacidade instalada de 720.000 m² por ano.

Os equipamentos destas empresas são todos importados da Itália, consistem em: 5 teares GASPARI MENOTTI, quatro JS 350 e um JS 380 (italianos), com 3,50 m de largura, sistema de alimentação automatizado e elevador nível de automação e 2 teares BRETON, com 4,50 m de largura e alimentação automática; 2 polidoras GASPARI MENOTTI de 18 cabeças; 2 fresa-ponte PEDRINI; 1 flameadora/apicoadora PELLEGRINI e 2 talhas-blocos de 60 discos cada um e uma linha completa de ladrilhos padronizados da BRETON. (SOUZA et al, 2007).

A Figura 11 a seguir mostra algumas placas de granito e mármore finalizadas para vendas após todo o processo de beneficiamento das rochas ornamentais.

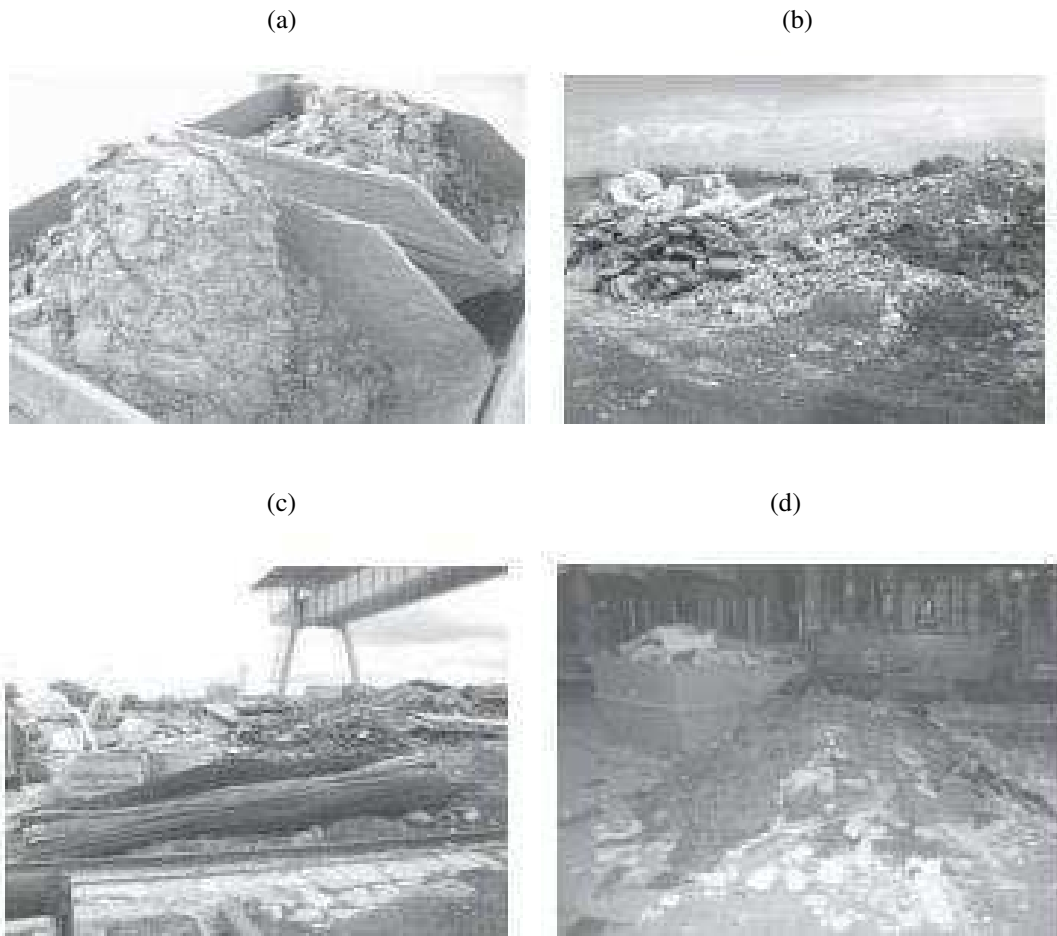
Figura 11: Placas de mármore e granito produzidas pela empresa GRANFUJI



FONTE: GRANFUJI (2015).

Na Figura 12 a seguir, são apresentados os principais resíduos gerados pelo beneficiamento de granito e mármore na Empresa GRANFUJI localizada na cidade de Campina Grande – PB.

Figura 12: Fotos de alguns dos resíduos gerados durante o beneficiamento de rochas ornamentais nas indústrias de Campina Grande - PB. (a) Lama abrasiva (Serragem); (b) costaneiras (Serragem); (c) Lâminas de aço (Serragem); (d) Retraços dos ladrilhos (Recorte)



FONTE: Junior (2015).

Diante do exposto, pode-se concluir que dentre os resíduos gerados pelo beneficiamento de rochas ornamentais, os resíduos provenientes dos recortes, utilizando-se as aparas e lascas possuem grande potencial para incorporação deste material em substituição dos agregados para produção de concreto, mostrando, portanto, a importância da presente pesquisa.

3.0 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 MATERIAIS

Os materiais utilizados para realização deste estudo foram:

- Agregado graúdo: Brita de origem granítica;

- i. Brita de origem granítica, apresentando diâmetro máximo padronizado para brita 19 mm, apresentando massa específica seca de $2,63\text{g/cm}^3$, massa específica de $2,77\text{ g/cm}^3$, massa específica aparente igual a $2,67\text{g/cm}^3$, finura de 6,65 e diâmetro máximo 19,1 mm.
- ii. Brita graduada de 9,5 mm, também chamada de “cascalinho”.

- Agregado miúdo: Areia quartosa do tipo natural proveniente de jazida do leito do Rio Paraíba, apresentando diâmetro máximo de 2,4 mm, finura igual a 2,45%, massa específica de $2,57\text{ g/cm}^3$, massa unitária solta igual a $1,429\text{g/cm}^3$, e teor de materiais pulverulentos de 0,07%.

- Cimento Portland CII Z32: Cimento Portland composto com adição de pozolana;

- Resíduo de mármore: o resíduo de mármore utilizado no desenvolvimento deste projeto foi proveniente da indústria GRANFUJI situada no distrito industrial de Campina Grande-PB. A Figura 13 apresenta o resíduo utilizado na pesquisa possuindo granulometria semelhante ao agregado graúdo após britagem.

Figura 13: Resíduo de Mármore utilizado na pesquisa.



FONTE: O autor (2018).

- Água: fornecida pela Companhia de Águas e Esgotos da Paraíba (CAGEPA).

3.2 METODOLOGIA

Para o prosseguimento desta pesquisa foram desenvolvidas as etapas descritas a seguir:

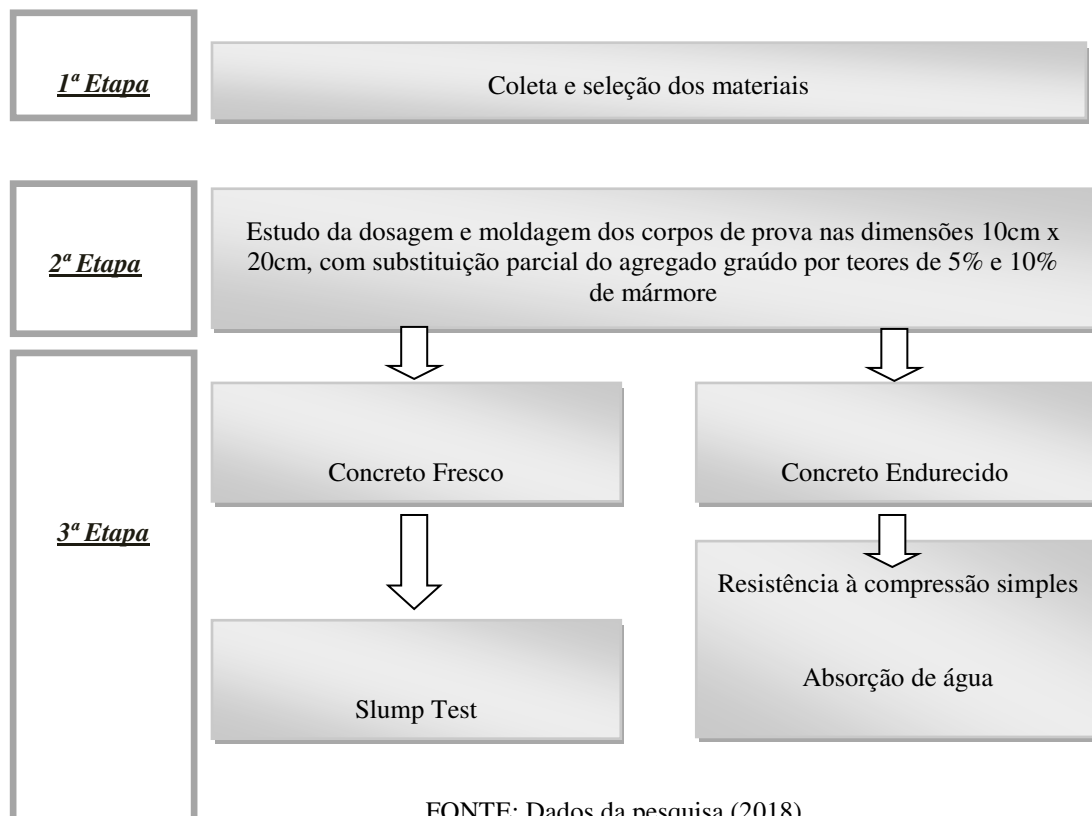
Primeira Etapa – Seleção de Materiais: descrição dos materiais, critérios adotados para escolha e laboratórios utilizados;

Segunda Etapa – Estudo da dosagem e moldagem dos corpos de prova de concreto nas dimensões 10cm x 20cm, substituindo o agregado graúdo por mármore nos teores de 5% e 10%;

Terceira Etapa - Determinação da consistência e trabalhabilidade do concreto fresco por meio do slump-test e as propriedades físicas e mecânicas do concreto endurecido foram determinadas por meio dos ensaios de resistência à compressão simples e absorção de água.

A Figura 13 ilustra o fluxograma das etapas utilizadas para a realização da pesquisa.

Figura 14: Fluxograma das etapas da pesquisa



FONTE: Dados da pesquisa (2018)

3.2.1 Seleção dos materiais

Nesta etapa foram selecionadas as matérias-primas utilizadas para a produção do concreto simples: cimento, agregado graúdo e agregado miúdo. Os agregados passaram por um processo de peneiramento a fim de separar impurezas indesejadas bem como diminuir a quantidade de material pulverulento. Segundo Junior (2015) as impurezas orgânicas e os elementos pulverulentos que podem estar presentes nos agregados na forma de películas superficiais podem interferir na aderência entre a pasta de cimento e os agregados nas reações químicas de hidratação sendo necessários controlar os teores do pó fino no agregado, garantindo assim a resistência e durabilidade do concreto.

3.2.2 Estudo da dosagem dos materiais e moldagem dos corpos de prova

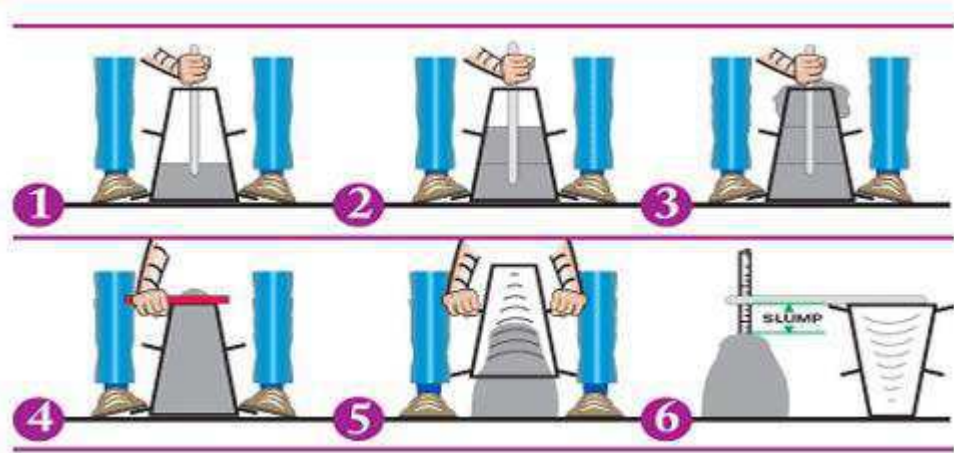
3.2.2.1 Dosagem dos materiais

A dosagem dos materiais foi realizada de acordo com a metodologia da ABCP – Associação Brasileira de Cimento Portland, a partir da caracterização do agregado graúdo, miúdo e do cimento foi obtido o traço determinando a proporção dos materiais como sendo 1:2:3,14 com o fator água/cimento (fa/c) de 0,58. Em seguida determinou-se as idades de cura que foram utilizadas para determinação das propriedades físicas e mecânicas do concreto. O traço adotado como referência possui como resistência característica (f_{ck}) de 20 Mpa. O valor do abatimento do (slump test) foi fixado entre (40 – 60 mm).

3.2.2.2 Avaliação da consistência do concreto – Slump Test

O ensaio para determinação da consistência do concreto - Slump Test foi executado de acordo com a norma técnica ABNT NBR 7223(ABNT, 1992). Dessa maneira, a amostra de concreto foi dividida em três camadas individualmente compactadas com 25 golpes de haste cada, em um tronco de cone com altura de 30cm. Após compactar as três camadas sucessivamente, removeu-se o excesso de concreto e fez-se a retirada do tronco de cone lentamente para não haver alterações decorrentes de falhas de execução. A Figura 15 demonstra o passo-a-passo da execução do Slump test para uma amostra do concreto produzido.

Figura 15: Procedimento do ensaio de slump test.



FONTE: Guerra (2014)

Para o concreto de referência e o concreto com 5% RM foi-se necessário um segundo slump com adição de 0,7 litros e 0,75 litros de água, respectivamente, para obter o abatimento previsto que garante uma melhor trabalhabilidade. Já para o concreto com 10% RM foi adicionado 0,45 litros de água para chegar ao abatimento esperado. Segundo Guerra (2013) muitos fatores podem ocasionar a mudança do valor do slump do concreto dentre eles a temperatura do ambiente, as perdas de água na betoneira ou no transporte, pela velocidade do ensaio, entre outros. A Tabela 4 apresenta os resultados obtidos para o Slump Test do concreto em estudo.

Tabela 4: Slump Test do concreto em estudo

Concreto	Abatimento (cm)
CREF – Concreto de referência	4,6
C5%RM – Concreto com 5% RM	5,5
C10%RM – Concreto com 10% RM	4,0

FONTE: Dados da pesquisa (2018)

A Figura 16 ilustra o ensaio de Slump Test realizado no Laboratório de solos (Bloco BK) na UFCG campus sede.

Figura 16: Resultado da britagem: (a) 25 golpes determinados pela NBR 7223; (b) Concreto após retirada do cone; (c) Abatimento analisado por meio da régua.



FONTE: Dados da pesquisa (2018).

3.2.2.3 Moldagem dos corpos de prova

A moldagem dos corpos de prova foi estabelecida de acordo com a ABNT NBR 5738:2015. Segundo a norma, os corpos de prova cilíndricos podem ter o diâmetro (d) de: 100mm, 150mm, 250mm ou 450mm e altura equivalente a 2d. Nesta pesquisa, foram moldados corpos de prova cilíndricos nas dimensões 100mm x 200mm para o concreto de referência (CREF) e corpos de prova com substituição parcial do agregado graúdo por resíduo de mármore nos percentuais de 5% e 10% e estipulou-se as idades de cura para o rompimento em 7, 14, 21 e 28 dias.

Para a realização da caracterização física e mecânica dos resultados obtidos foram moldados 48 corpos de prova. Para cada ensaio realizou-se a análise de duas amostras e calculado a média aritmética de ambas para cada idade determinada. Considerando as perdas de material pelo processo da confecção do concreto por meio da máquina betoneira e moldagem manual, adicionou-se 5% de cada material seguindo proporcionalmente o traço calculado para obtenção de 16 corpos de prova de cada uma das três produções com os teores diferentes dos materiais. A Tabela 5, apresenta o quantitativo do consumo de materiais utilizados nos corpos de prova desta pesquisa.

Tabela 5: Quantitativo de materiais para a confecção de 16 corpos de prova

<i>Material</i>	<i>CREF</i>	<i>C5%RG</i>	<i>C10%RM</i>
<i>Cimento</i>	11,34 kg	11,34 kg	11,34 kg
<i>Agregado Miúdo</i>	22,68 kg	22,26 kg	21,78 kg
<i>Agregado Graúdo (Brita 9,5)</i>	14,26 kg	13,55 kg	12,89 kg
<i>Agregado Graúdo (Brita 19)</i>	21,38 kg	21,38 kg	21,38 kg
<i>Água</i>	6,58 L	6,58 L	6,58 L
<i>Resíduo de Mármore</i>	0,00 kg	1,79 kg	3,57 kg

FONTE: Dados da pesquisa (2018)

A proporção entre os agregados graúdos foi determinada de acordo com a norma ABNT NBR 7810:1983, sendo a proporção 60/40 a escolhida, ou seja, com a proporção de 60% para brita 19 e 40% para brita 9,5.

A Figura 17 ilustra o local de disposição das amostras cilíndricas, lugar este que apresenta uma superfície plana e sem vibrações nas quais as amostras foram colocadas

posteriormente a moldagem por um período de 24 horas. Após isto realizou-se o desmolde, identificação dos moldes e imersão dos corpos de prova em água.

Figura 17: Corpos de prova cilíndricos com diâmetro de 10cm e altura de 20 cm, após moldagem realizada.



FONTE: Dados da pesquisa (2018)

3.2.2.4 Cura dos corpos de prova do concreto

Segundo a NBR 14931:2004, enquanto não atingir endurecimento satisfatório, o concreto deve ser protegido e curado contra agentes prejudiciais que possam produzir fissuras, evitando assim perda de água por superfície exposta, garantindo também uma superfície com resistência adequada e assegurando a formação de uma capa superficial durável. Com isso, para a realização desse estudo foi executada a cura imersa das amostras em um tanque de cura específico presente no Laboratório de Solos da UFCG Campus 1 que permaneceram à medida que foram sendo utilizados para os ensaios nas respectivas idades de cura. A Figura 18 a seguir, demonstra os corpos de prova imersos em água do concreto em análise.

Figura 18: Corpos de prova imersos em água.



FONTE: Dados da pesquisa (2018)

3.2.3 Determinação das propriedades físicas e mecânicas do concreto simples incorporado com resíduo de mármore

3.2.3.1 Resistência à compressão simples do concreto

A determinação da resistência à compressão axial do concreto foi realizada de acordo com o procedimento do método de ensaio da ABNT NBR 5739:2007. É utilizado para indicar a tensão que a peça sofre a ruptura. Os resultados foram obtidos pela média de dois corpos de prova rompidos a cada idade de cura determinada, como mostra a Tabela 6 a seguir.

Tabela 6: Quantitativo de corpos de prova submetidos ao ensaio de resistência à compressão simples.

Concreto	Tempo de cura (dias)			
	7	14	21	28
CREF	2	2	2	2
C5%RM	2	2	2	2
C10%RM	2	2	2	2
TOTAL	24 corpos de prova			

FONTE: Dados da pesquisa (2018)

A avaliação da eficiência das operações de ensaio é feita através dos conceitos atribuídos ao coeficiente de variação dentro do ensaio (CV_e), conforme níveis determinados pela Tabela 7 abaixo.

Tabela 7: Coeficiente de Variação (CV_e)

Coeficiente de Variação (CV_e)				
Nível 1 (Excelente)	Nível 2 (Muito bom)	Nível 3 (Bom)	Nível 4 (Razoável)	Nível 5 (Deficiente)
$CV_e \leq 3,0$	$3,0 < CV_e \leq 4,0$	$4,0 < CV_e \leq 5,0$	$5,0 < CV_e \leq 6,0$	$CV_e > 6,0$

FONTE: NBR 5739-07 (2007).

A Figura 19 ilustra a realização do ensaio de resistência à compressão simples dos corpos de prova de concreto, no laboratório de Solos da Universidade Federal de Campina Grande – PB.

Figura 19: Resistência à compressão simples dos corpos de prova de concreto: (a) Antes do rompimento. (b) Após rompimento do concreto.

(a)



(b)



FONTE: Dados da pesquisa (2018).

A classificação do concreto em relação à resistência é determinada pela NBR 8953/15 (Concreto para fins estruturais – Classificação por grupos de resistência) de acordo com a resistência obtida pela idade de cura correspondente a 28 dias após moldagem, sendo divididos em dois grupos (Grupo I e Grupo II). Os concretos considerados normais com massa específica compreendida entre 2000 kg/m³ e 2800 kg/m³ são designados pela letra C em seguida do valor da resistência característica (f_{ck}). Pela norma, os que possuem resistência menor que C20 são considerados concreto de baixa resistência e não são aplicados como elementos estruturais. Os concretos que pertencem ao grupo II possuem resistência maior que C50, são chamados de concreto de alta resistência. Já os concretos utilizados para a maioria das estruturas, são os do grupo I, considerados concretos de resistência moderada. A Tabela 8 abaixo, apresenta as classes de resistência dos concretos estruturais.

Tabela 8: Classes de resistência de concretos estruturais

CLASSE DE RESISTÊNCIA GRUPO I	RESISTÊNCIA CARACTERÍSTICA À COMPRESSÃO (MPA)	CLASSE DE RESISTÊNCIA GRUPO II	RESISTÊNCIA CARACTERÍSTICA À COMPRESSÃO MPA
C20	20	C55	55
C25	25	C60	60
C30	30	C70	70
C35	35	C80	80
C40	40	C90	90
C45	45	C100	100
C50	50		

FONTE: NBR 8953-15 (2015).

3.2.3.2 Absorção de água

A determinação da absorção dos agregados graúdos foi realizada segundo o método de ensaio descrito pela ABNT NBR 9778/2009. O estudo consiste em quantificar a absorção de água, expressa em porcentagem, medindo o incremento de massa de um corpo sólido poroso decorrente à penetração de um líquido em seus poros permeáveis, em relação a sua

massa no estado seco. O valor da absorção de água de cada corpo de prova foi calculado utilizando a Equação 1:

$$A = \frac{m_2 - m_1}{m_1} \times 100 \quad (Eq.1)$$

Onde:

A é a absorção expressa em porcentagem (%);

m_1 é a massa do corpo de prova seco, expressa em gramas (g);

m_2 é a massa do corpo de prova saturado, expressa em gramas (g).

A Figura 20 ilustra o ensaio de absorção de água por imersão.

Figura 20: Ensaio de absorção de água por imersão: (a) Amostra saturada; (b) amostra seca em estufa.

(a)

(b)



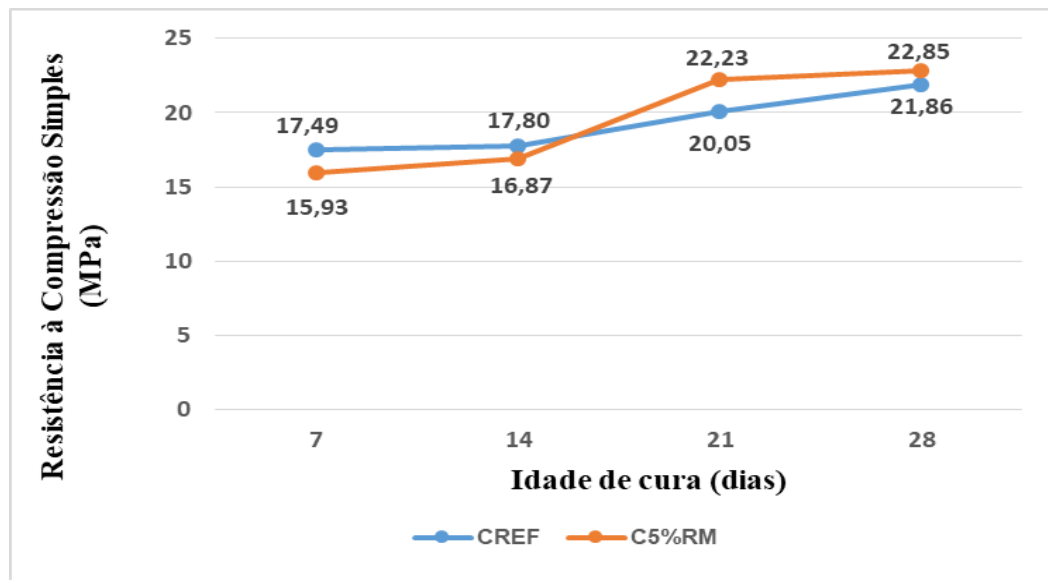
Fonte: Dados da pesquisa (2018).

4.0 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Resistência à compressão simples

A Figura 21 apresenta os resultados obtidos para a resistência a compressão simples do concreto de referência - CREF e do concreto com 5% de rejeitos de mármore.

Figura 21: Resistência à compressão simples do concreto de referência e do concreto incorporado com 5% de resíduo de mármore.



Analisando os resultados constata-se que a adição de 5% do resíduo de mármore em substituição do agregado graúdo convencional promoveu a elevação da resistência à compressão simples do concreto em comparação com o de referência, obtendo aos 28 dias um aumento de 4,53%. Observou-se que foi alcançada resistência superior à resistência característica (f_{ck}) determinada de 20MPa de acordo com a dosagem realizada, classificado como C20, ainda com 21 dias obtendo sua resistência máxima esperada aos 28 dias.

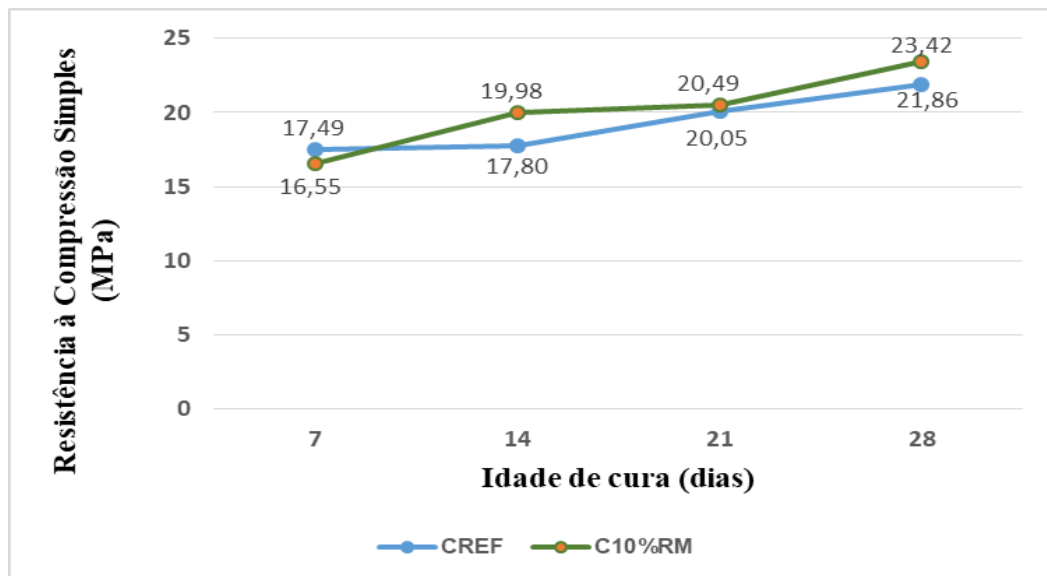
A partir da ABNT NBR 5739:2007 (Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos), analisando como base a idade de cura de 28 dias, é possível determinar o desempenho do coeficiente de variação para o concreto em estudo. Para o concreto com 5% de substituição parcial do agregado graúdo por resíduo de mármore, houve coeficiente de variação de 0,19 entre os valores das duas amostras enquadrando-se como excelente na classificação, representando a menor dispersão entre os dados que foram obtidos.

Neville (2016) descreve que a resistência do concreto é influenciada pela textura e forma do agregado graúdo, contudo, essa influência é variável e está relacionado ao fator água/cimento da mistura realizada.

Segundo Mendes (2002) a influência do agregado graúdo na resistência à compressão não é tão relevante para concretos que possuem valores de resistência características inferiores a 50 MPa, pois nesses casos, os componentes mais fracos são a pasta de cimento endurecida e a zona de transição entre a pasta e o agregado. Nesse estudo, podemos relacionar o aumento da resistência devido à ausência de pó decorrente do peneiramento na seleção dos materiais, bem como da textura e forma dos grãos dos resíduos do corte de mármore utilizado na pesquisa.

A Figura 22 ilustra os resultados obtidos para a resistência a compressão simples do CREF em comparação com o C10%RM.

Figura 22: Resistência à compressão simples do CREF e do concreto – C10%RM.



De acordo com os resultados obtidos, observa-se que a substituição do agregado graúdo por resíduo de mármore no teor de 10% em relação a resistência não foi prejudicada devido provavelmente ao empacotamento das partículas dos agregados. Considerando o Coeficiente de Variação calculado de 1,17 classifica-se como um nível excelente segundo a NBR 5739:2007.

Conforme resultados obtidos, verifica-se que a substituição do agregado graúdo (brita granítica) por resíduo de mármore promoveu uma elevação da resistência para todos os

teores de substituição em todas as idades de cura, observando-se que o aumento do percentual de substituição contribuiu para a obtenção de resistências mais elevadas.

Alhadas (2008) verificou a influência do agregado graúdo provenientes de diferentes origens mineralógicas nas propriedades mecânicas do concreto, observando que os resultados obtidos mostraram que o agregado graúdo, dentre os quais estava o calcário que possui origem geológica similar ao mármore, exerceu significativa influencia na obtenção da resistência à compressão esperada para os concretos estudado.

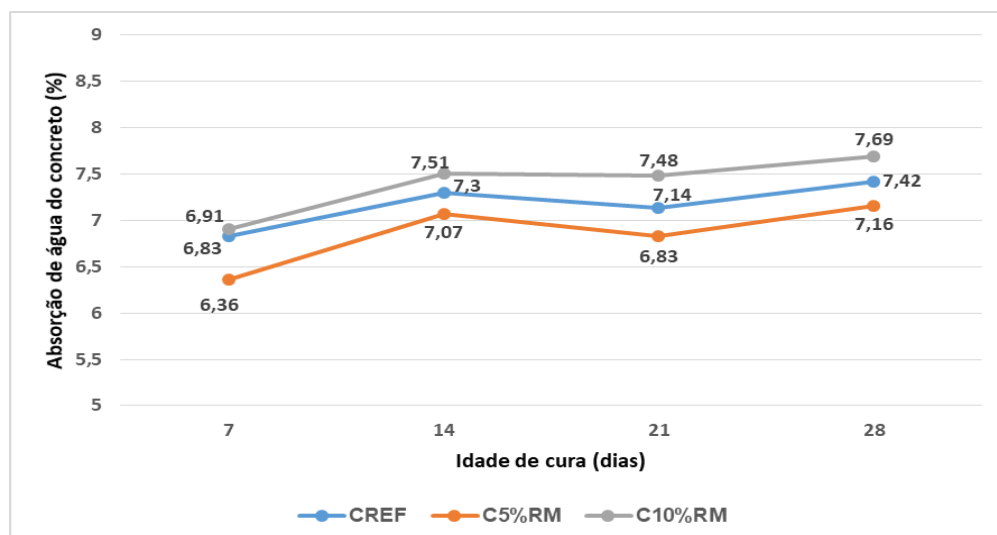
Segundo Mehta e Monteiro (1994), “a forma e a textura das partículas influenciam mais nas propriedades do concreto no estado fresco que endurecido, porém há evidências de que, pelo menos nas primeiras idades, a resistência do concreto, particularmente a resistência à flexão, pode ser afetada pela textura do agregado”.

Barros Filho (2005) afirma que o mármore possui boa condutividade térmica, possuem superfície antiderrapante, sendo resistente a choques e intempéries, com durezas na escala de Mohs de 3,0 a 4,5. Como o mármore é considerado um material resistente, pode-se considerar que este material colaborou para a melhora na resistência à compressão do concreto.

4.2 Absorção de água

A Figura 23 apresenta os resultados do ensaio de absorção de água obtida para o concreto de referência – CREF, para o concreto com resíduos nos teores de 5% - C5%RM e para o concreto com 10% - C10%RM.

Figura 23: Absorção de água do concreto de referência – CREF e do concreto com resíduos de mármore nos teores de 5% - C5%RM e com 10% - C10%RM.



De acordo com os resultados obtidos, observa-se que a utilização do resíduo de mármore em substituição ao agregado graúdo não contribui para alterações significativas quanto à absorção de água do concreto. Os resultados obtidos são praticamente semelhantes aos valores verificados para o concreto de referência.

De acordo com Silva (2016), a absorção do concreto sofre interferência de diversos fatores, como exemplo, impurezas dos agregados, quantidade de água presente no traço, composição do cimento utilizado, bem como alterações humanas como o tratamento dado com os corpos de prova endurecidos, além das condições de realização de todo o ensaio.

Segundo Rodrigues (2015), valores de absorção estabelecidos entre 4% e 5% servem de indicação de concretos com permeabilidades mínimas, sendo materiais que se utilizados com função estrutural provavelmente apresentarão falhas devido exsudação. Porém os resultados obtidos na pesquisa apresentam absorções maiores que 6% para todos os corpos de prova, o que indica que poderiam ocasionar patologias no concreto decorrentes de um maior índice de vazios presentes.

O fato do concreto com maior quantidade de resíduo possuir uma maior absorção em relação aos demais é decorrente também das características físicas do mármore, por ele ser um material mais poroso que a brita. Contudo, somente com o ensaio de absorção não é possível ter parâmetro ideal para classificar o concreto em estudo, sendo recomendado a realização de estudos sobre a microestrutura do concreto com o objetivo de entender com exatidão o processo analisado.

5.0 CONSIDERAÇÕES FINAIS E SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS

5.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS

De acordo com os objetivos propostos neste estudo e com os resultados obtidos, pode considerar que:

A substituição do agregado graúdo com adição de 10% de resíduo de mármore apresentou resultados mais elevados para a resistência a compressão simples do concreto, enquadrando-o dentro da faixa de valores aceitáveis na literatura e acima da resistência estimada na pesquisa;

Para o ensaio de absorção de água observou-se que houve uma pequena variação entre os resultados obtidos entre o concreto de referência e os concretos com adição de 5% e 10% de resíduo de mármore, no entanto os resultados obtidos foram praticamente semelhantes ao verificados para o concreto de referência;

A utilização do resíduo em componentes da construção civil, contribuirá para minimizar o descarte no meio ambiente, agregará valor ao resíduo e contribuir para a redução da extração de matérias-primas convencionais utilizadas na produção de concretos.

5.2 SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS

- Avaliar a microestrutura do concreto em estudo;
- Realizar ensaios para determinação da durabilidade a ação da chuva e do sol e ao ataque por sulfatos;
- Analisar a viabilidade de utilizar estes resíduos em concreto para a produção de pisos intertravados.

REFERÊNCIAS

ABIROCHAS (Associação Brasileira da Indústria de Rochas Ornamentais). **O setor de rochas ornamentais e de revestimento**. Informe 005/2009. São Paulo, 2009.

ALENCAR, Carlos Rubens Araújo, INSTITUTO EUVALDO LOVI. **Manual de caracterização, aplicação, uso e manutenção das principais rochas comerciais no Espírito Santo: Rochas Ornamentais**. Espírito Santo, 2013. 242p.

ALHADAS, M. F. S. **Estudo da influência do agregado graúdo de diferentes origens mineralógicas nas propriedades mecânicas do concreto**. 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

ANDOLFATO, R. P. **Controle Tecnológico Básico do Concreto**. 2002. 29p. Núcleo de Ensino e Pesquisa da Alvenaria Estrutural. UNESP, São Paulo, 2002. Disponível em: <<http://www.nepae.feis.unesp.br/Apostilas/Controle%20tecnologico%20basico%20do%20concreto.pdf>>. Acessado em 18 de setembro de 2012.

ANGULO, Sérgio Cirelli. **Caracterização de agregados de resíduos de construção e demolição reciclados e a influência de suas características no comportamento de concretos**. Tese (Doutorado em Engenharia) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, p. 144. 2005.

ARAÚJO, R.C.L.; RODRIGUES, E.H.V.; FREITAS, E.G.A. **Materiais de construção**. Edur, Rio de Janeiro (2000).

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE ROCHAS ORNAMENTAIS - ABIROCHAS. **Rochas Ornamentais no Século XXI**. Disponível em: <<http://www.abirochas.com.br/br/index.html>>. Acessado em maio, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, **NBR 5739: Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos**, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6502: Rochas e Solos - Terminologia**. Rio de Janeiro, 1995.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, **NBR 7223: Determinação da Consistência pelo abatimento do tronco de cone**, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7810: Agregado em estado compactado seco – Determinação da massa unitária**, 1983.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8953: Concreto para fins estruturais – classificação pela massa específica, por grupo de resistência e consistência**, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9778: Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água por imersão - Índice de vazios e massa específica**, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14931: Execução de estruturas de concreto – Procedimento**, 2004.

BARROS FILHO, R. M. **Rochas: Mármore e Granitos**. Basalto e Gabro. Belo Horizonte: Faculdade INAP, 2005.

BARROS, Pedro Gustavo dos Santos. **Avaliação das propriedades de durabilidade do concreto auto-adensável obtido com resíduo de corte de mármore e granito**. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade Federal de Alagoas. Maceió, p. 15. 2008.

BAUER, L. A. F. **Materiais de construção**. Volume 1. 5. ed. Revisada. Rio de Janeiro: LTC, 2012. 488 p.

BIDONE, Francisco Ricardo Andrade. **Disposição continental de sedimentos de dragagem em solos tropicais: avaliação do risco ecológico de metais baseada em bioensaios com organismos aquáticos e edáficos**. In: Revista Engenharia Sanitária e Ambiental. Abr/Jun-2015.

BINICI, Hanifi; KAPLAN, Hasan; YILMAZ, Salih. **Influence of marble and limestone dusts as additives on some mechanical properties of concrete**. In: Scientific Research and Essay. V. 2, n. 9, p. 372-379. Turquia, 2007.

BRAGA, Florindo dos Santos; BUZZI, Daniella Cardoso; COUTO, Maria Cláudia Lima; LANGE, Liséte Celina. **Caracterização ambiental de lamas de beneficiamento de rochas ornamentais**. In: Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 15, n. 3, p.237-244, 2010.

CARVALHO, Roberto Chust; FILHO, Jason R.F. **Cálculo e detalhamento de estruturas usuais de concreto armado: segundo a NBR 6118:2014**. 4. Ed. São Carlos: EdUFSCar, 2016. 415 p.

CHIODI FILHO, Cid e RODRIGUES. E. P. **Guia de Aplicação de Rochas em Revestimentos**. Projeto Bula. São Paulo: Abirochas, 2009.

CRESPO, A. A. **Estatística fácil**. 18ª ed. São Paulo: EDITORA SARAIVA, 2002, 224P.

CUPERTINO, A. L. L., CASTRO, A., INÁCIO, J. J., ANDRADE, M. A. S. **Avaliação de fatores de ensaios que interferem na resistência à compressão e na resistência à tração simples do concreto**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 49º., 2007a, Bento Gonçalves – RJ. Anais. São Paulo: Instituto Brasileiro do Concreto, 2007a. CD-ROM.

DAL MOLIN, D.C.C. **Adições Minerais para Concreto Estrutural**. In: Concreto: Ensino, Pesquisa e Realizações. São Paulo: IBRACON, 2005. p. 345-379.

FREJ, T. A.; ALENCAR, L. H. **Fatores de sucesso no gerenciamento de múltiplos projetos na construção civil em Recife**. Revista Produção, Recife, v. 20, n.3, p. 322-334, jul. / set. 2010.

GIDRÃO, S. S.; SANTOS, A. C. **Ensaio à compressão do concreto – Dispersão de resultados laboratoriais**. Disponível em: <<http://www.civil.uminho.pt/revista/artigos/n51/pag.63-77.pdf>> Acesso em: 06 de dezembro de 2018).

GONCALVES, J. R., ALMEIDA, I.R., SHEHATA, L. C. D., “**Influência do Tipo de Agregado Graúdo nas Propriedades do Concreto de Alta Resistência**”, Anais, 36ª Reibrac – Instituto Brasileiro do Concreto, Porto Alegre-RS, Setembro 1994, pp.339-352.

GUIA básico de utilização do cimento Portland. **Associação Brasileira de Cimento Portland**, São Paulo, p. 10. 2002

GUERRA, J. S.; GUSMÃO, A. D.; SUKAR, S. F.; SIQUEIRA, M. S.; Fortaleza, 2008. **Avaliação da Gestão de Resíduos de Construção de Edifícios na Cidade de Recife**. In: XII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído – ENTAC.

GUERRA, Ruy Serafim de Teixeira. **Afinal slump test para que**. Disponível em: <http://www.clubedoconcreto.com.br/2013/08/afinal-slump-test-para-que.html> Acesso em: 06 de dezembro de 2018.

IZQUIERDO, Indara Soto. **Utilização de pós residuais e fibras de sisal em blocos de concreto**. Tese (Doutorado). Universidade de São Paulo. São Carlos, SP, 2015.

JOHN, Vanderlei Moacyr; AGOPYAN, Vahan. **Reciclagem de Resíduos da Construção**. In: Seminário de Reciclagem de Resíduos Sólidos Domésticos. São Paulo: SP. 2000.

JUNIOR, Enio Ribeiro. **Propriedades dos materiais constituintes do concreto**. Disponível em: <https://www.ipog.edu.br/revista-especialize-online/edicao-n10-2015/> Acesso em: 06 de dezembro de 2018

LOPES, J. L. **Estudo do Potencial de Utilização do Resíduo de Beneficiamento de Mármore e Granito (RBMG), como Fíler, na Produção de Concretos**. Goiânia: Programa de Pós-Graduação em Engenharia do Meio Ambiente da UFG, 2006.

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

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concrete: microstructure, properties, and materials**. New York: McGRAW-HILL, 2006.

MEHTA, P.K.; MONTEIRO, P.J.M. **Concreto – Microestrutura, Propriedades e Materiais**. São Paulo, Instituto Brasileiro do Concreto (IBRACON), 3a ed., 2008, 674p.

MEHTA, P. Kumar; MONTEIRO, Paulo J.M. **Concreto: Estrutura, propriedades e materiais**. São Paulo: Pini, 2014. 573 p.

MENDES, S. E. S. **Estudo experimental de concreto de alto desempenho utilizando agregados graúdos disponíveis na região metropolitana de Curitiba**. 2002. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

MENEZES, R.R., FERREIRA, H.S., NEVES, G.A., et al., "Use of Granite Sawing Wastes in the Production of Ceramic Bricks and Tiles", Journal of the European Ceramic Society, v. 25, pp. 1149-1158, 2005.

MIRANDA, R. A. C. **Estudo da Aplicação de Resíduo de Beneficiamento de Mármore e Granito em Tijolos de Solo-Cimento**. Goiânia: Dissertação de mestrado, Escola de Engenharia Civil – Universidade Federal de Goiás, 2012.

MONTANARI, N.; GONÇALVES, E. P.; São José dos Campos, 2016. **Estudo do agregado miúdo: Caracterização e efeitos da granulometria na produção do concreto**. In: XXII Encontro Latino Americano de Iniciação Científica.

MOURA, W. A., **Utilização de escória de cobre como adição e como agregado miúdo para concreto**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre/RS. 2000. p.192. Tese (Doutorado).

MOURA, W. A.; LEITE, M. B.; BASTOS, A, J, O. **Avaliação do uso de serragem de pedra Cariri (RSPC) para produção de concretos convencionais**. In: Revista Ambiente Construído, Porto Alegre, v.13, n. 1, p. 7-24, jan./mar. 2013.

M.P. Babisk, F.W.H. Vidal, W.S. Ribeiro, M.C. Aguiar, M.C.B.Gadioli, C.M.F. Vieira, Holos. **Residue of quartzite - alternative raw material for use in structural ceramics**. (2012)

NEVILLE, A. M. **Propriedades do Concreto**. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2016. 888 p.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do concreto**. 2ª ed. São Paulo: PINI, 1997.

PEITER, C.C. et al. **Rochas Ornamentais no século XXI: bases de desenvolvimento sustentado das exportações brasileiras**. Rio de Janeiro: CETEM/Abirochas. 150p, 2001.

QUALIDADE. Revista impressa Rochas de qualidade, ed 177. **Artigo do editorial: Escoar é preciso...** p. 7. São Paulo: EMC Editores associados ltda., 2004.

QUEIROZ, F. C. **Aproveitamento de Resíduos Pétreos de Marmorarias do Município de São Paulo como Agregado para Concreto de Cimento Portland**. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo – IPT, 2005.

RAUPP-PEREIRA, F., HOTZA, D., SEGADÃES, A.M., et al., **"Ceramic Formulations Prepared with Industrial Wastes and Natural sub-products"**, *Ceramics International*, v. 32, n. 2, pp 173-179, 2006.

RAMACHANDRAN, V. S.; BEAUDOIN, J. J. (Ed.) **Handbook of analytical techniques in concrete Science and technology**. New Jersey: Noyes. 2001. 964p.

REIS, A.S., **Estudo do aproveitamento do resíduo de beneficiamento de rochas ornamentais na fabricação de ladrilho hidráulico piso tátil**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-graduação em engenharia civil, Centro Tecnológico da Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2008.

RODRIGUES, A.; ROJO, C. A.; BERTOLINI, G. R. F. **Formulação de estratégias competitivas por meio de análise de cenários na construção civil**. Revista Produção, Cascavel, v.23, n. 2, p. 269-282, abr. / jun. 2013.

RODRIGUES, Edmilson Correia. **Concreto fresco e as suas propriedades**. 2017. Disponível em: <<https://www.webartigos.com/artigos/concreto-fresco-e-as-suas-propriedades/81326>> Acesso em: 06 de dezembro de 2018

RODRIGUES, M. A. **Utilização dos resíduos de cortes de placas de mármore e granitos como adição na fabricação de concreto autoadensável**. 2015. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade do Amazonas, Manaus.

SANTOS, R. A.; LIRA, B. B.; RIBEIRO, A. C. M. **ARGAMASSA COM SUBSTITUIÇÃO DE AGREGADO NATURAL POR RESÍDUO DE BRITAGEM DE GRANITO**. Revista Holos, v. 5, Ano 28, nov./2012.

SEBRAE - Serviço Brasileiro de Apoio à Micro e Pequena Empresa. **Boletim: Construção Civil: Marmorarias**. Vitória: 2014.

SILVA, V. A.; FERNANDES, A. L. T. **Cenário do gerenciamento dos resíduos da construção e demolição (RCD) em Uberaba-MG**. Revista Sociedade & Natureza, ano 24, n. 2, p. 333-344, mai. / ago. 2012.

SILVA, J. B.; **Avaliação do desempenho de blocos de concreto estrutural dosados com politereftalato etileno (PET) micronizado**. Tese (Doutorado) Universidade Federal de Campina Grande - Campina Grande, 2016. 135

SILVEIRA, L. L. Y. et al. Beneficiamento de rochas ornamentais. In: Vidal, F. W. H. et al. **Tecnologia de Rochas Ornamentais: Pesquisa, Lavra e Beneficiamento**. Rio de Janeiro: CETEM/MCTI. 2014. cap. 7, p. 327-398.

SRIVASTAVA, Vikas. GAUTAM, S. P. AGARWAL, V. C. MEHTA, P. K. **Glass Wastes as Coarse Aggregate in Concrete.** In: Journal Environmental. Nanotechnology. Volume 3, No. 1 pp. 67-71. 2014.

**Anexo – ESTUDO DAS PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS DO CONCRETO
INCORPORADO COM RESÍDUOS DE MÁRMORE**

Características da produção do concreto

Concreto	Dia da moldagem	Início da produção (horas)	Dia do desmolde	Início do desmolde (horas)	Quantidade de corpos de prova	Abatimento (cm)
CREF	06/11/2018	14:00	07/11/2018	14:00	16	4,6
C5%RM	07/11/2018	13:00	08/11/2018	13:00	16	5,7
C10%RM	08/11/2018	13:00	09/11/2018	13:00	16	4,0

FONTE: Dados da pesquisa (2018)

RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO SIMPLES

Resistência à compressão dos corpos de prova

Concreto	CREF			C5%RM			C10%RM		
	Idade	CP1 (MPa)	CP2 (MPa)	Média (MPa)	CP1 (MPa)	CP2 (MPa)	Média (MPa)	CP1 (MPa)	CP2 (MPa)
7 dias	18,74	16,24	17,49	16,24	15,61	15,93	16,86	16,24	16,55
14 dias	20,61	14,99	17,80	17,49	16,24	16,87	19,98	19,98	19,98
21 dias	21,24	18,86	20,05	23,36	21,10	22,23	22,23	18,74	20,49
28 dias	22,48	21,23	21,86	22,90	22,80	22,85	23,73	23,11	23,42

FONTE: Dados da pesquisa (2018)

Desvio padrão e coeficiente de variação dos corpos de prova

Concreto	CREF			C5%RM			C10%RM		
	Idade	Média (MPa)	Desvio padrão	CV (%)	Média (MPa)	Desvio padrão	CV (%)	Média (MPa)	Desvio padrão
7 dias	17,49	1,11	6,34	15,93	0,28	1,75	16,55	0,27	1,66
14 dias	17,80	2,49	14,00	16,87	0,55	3,28	19,98	0,00	0,00
21 dias	20,05	1,05	5,26	22,23	1,00	4,51	20,49	1,55	7,55
28 dias	21,86	0,55	2,53	22,85	0,04	0,19	23,42	0,27	1,17

FONTE: Dados da pesquisa (2018)

ENSAIO DE ABSORÇÃO DE ÁGUA

Ensaio de absorção por imersão									
Concreto	CREF			C5%RM			C10%RM		
Idade	CP1 (%)	CP2 (%)	Média (%)	CP1 (%)	CP2 (%)	Média (%)	CP1 (%)	CP2 (%)	Média (%)
7 dias	6,10	7,55	6,83	6,16	6,56	6,36	6,94	6,87	6,91
14 dias	7,34	7,25	7,30	6,74	7,39	7,07	7,63	7,39	7,51
21 dias	7,00	7,28	7,14	7,07	6,58	6,83	7,60	7,36	7,48
28 dias	7,39	7,45	7,42	7,55	6,77	7,16	7,76	7,62	7,69

FONTE: Dados da pesquisa (2018)