



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

**AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS DO
CONCRETO INCORPORADO COM RESÍDUO DE MÁRMORE EM PÓ**

RAFAEL VIEIRA DA SILVA

Orientadora: PhD. Ana Maria Gonçalves Duarte Mendonça.

Campina Grande-PB, Dezembro de 2017

**AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS DO
CONCRETO INCORPORADO COM RESÍDUO DE MÁRMORE EM PÓ**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Campina Grande-PB, Dezembro de 2017.

FOLHA DE APROVAÇÃO

Aluno: Rafael Vieira da Silva

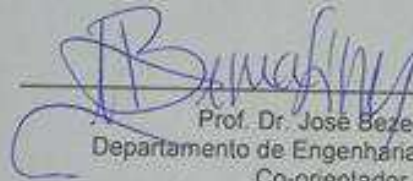
Título: AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS DO
CONCRETO INCORPORADO COM RESÍDUO DE MÁRMORE EM PÓ

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

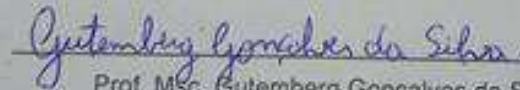
BANCA EXAMINADORA



Prof.ª PhD. Ana Maria Gonçalves Duarte Mendonça
Departamento de Engenharia Civil – UFCG
Orientadora



Prof. Dr. José Bezerra da Silva
Departamento de Engenharia Civil – UFCG
Co-orientador



Prof. Msc. Gutemberg Gonçalves da Silva
Departamento de Engenharia Civil - UFCG
Examinador Interno



Prof.ª Dr.ª Carina Silvani
Departamento de Engenharia Civil - UFCG
Examinador Externo

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

RAFAEL VIEIRA DA SILVA

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.

Orientadora: Dr^a Ana Maria Gonçalves Duarte Mendonça

CAMPINA GRANDE – PB

DEZEMBRO/2017

AGRADECIMENTOS

A Deus que sempre me guiou e iluminou o caminho para seguir em frente.

A Minha Família, que nos momentos de minha ausência dedicados ao estudo superior, sempre fizeram entender que o futuro, é feito a partir da constante dedicação no presente.

Em especial ao meu pai, que apesar de todas as dificuldades me fortaleceu e que para mim foi muito importante.

Aos meus amigos e amigas, minha segunda família, que fortaleceram os laços da igualdade, num ambiente fraterno e respeitoso. Aos técnicos do laboratório de estrutura da UFCG. Em especial agradeço a minha orientadora Dr^a Ana Maria Gonçalves Duarte Mendonça, por me proporcionar oportunidade de enriquecimento acadêmico.

“Voltei-me e vi debaixo do sol que não é dos ligeiros a carreira, nem dos valentes, a peleja, nem tampouco dos sábios, o pão, nem ainda dos prudentes, a riqueza, nem dos inteligentes o favor, mas que o tempo e a sorte pertencem a todos.”
Eclesiastes 9.11

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Pasta.....	19
Figura 2 – Argamassa.....	20
Figura 3 – Concreto simples.....	20
Figura 4 – Processo de formação e hidratação do cimento Portland.....	21
Figura 5 – Processo de fabricação do cimento.	23
Figura 6 – Venda acumulada.....	24
Figura 7 – Representação esquemática dos principais tipos de cimento.....	26
Figura 8 – Diversidade dos agregados.....	27
Figura 9 – Principais fatores que influenciam na trabalhabilidade do concreto.....	30
Figura 10 – Curva de Gauss para a resistência do concreto à compressão.....	34
Figura 11 - Ensaio de tração por compressão diametral.....	35
Figura 12 - Distribuição de tensão no corpo de prova.....	35
Figura 13 - Fluxograma das etapas da pesquisa.....	41
Figura 14 – Abatimento do tronco de cone.....	44
Figura 15 – Material na betoneira após a pesagem.....	45
Figura 16 – Massa de concreto.....	45
Figura 17 – Conformação dos corpos de prova.	46
Figura 18 – Desmolde dos corpos de prova.	46
Figura 19 – Corpos de prova no tanque para início do processo de cura.....	47
Figura 20 - Difratograma de raios-X do resíduo de mármore em pó.....	49
Figura 21 - Análise termodiferencial e termogravimétrica do resíduo de mármore em pó.....	50
Figura 22 – Resistência a compressão simples do concreto em estudo.....	51
Figura 23 – Resistência à tração por compressão diametral.....	53
Figura 24 – Resultados obtidos para a absorção.....	54
Figura 25 – Corpo de prova para o ensaio de compressão simples.	67
Figura 26 – Corpo de prova após a realização do ensaio de compressão.	67
Figura 27 – Corpo de prova para o ensaio de tração por compressão diametral.....	68
Figura 28 – Corpo de prova após a realização do ensaio de compressão.....	68

LISTA DE TABELA

Tabela 1 – Principais compostos do cimento Portland.....	17
Tabela 2 – Conjunto de peneiras das séries normal e intermediária.....	29
Tabela 3 – Composição química em porcentagem de massa do mármore.....	37
Tabela 4 – Quantitativo de material para 36 corpos de prova.....	44
Tabela 5 - Caracterização química por fluorescência de raios-X do resíduo de mármore.....	48
Tabela 6 - Composição granulométrica do resíduo de mármore em pó.....	50
Tabela 7 – Resistência dos corpos de prova com 10% de aditivo.	64
Tabela 8 – Resistência dos corpos de prova com 20% de aditivo.....	65
Tabela 9 – Ensaio de absorção para os corpos de prova de referência.....	65
Tabela 10 – Ensaio de absorção para os corpos de prova com 10% de aditivo.	66
Tabela 11 – Ensaio de absorção para os corpos de prova com 20% de aditivo.....	66

LISTA DE SIMBOLOS, SIGLAS E ABREVIATURAS

ABCP – Associação Brasileira de Cimento Portland

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ASTM - American Society for Testing Material

CP I - Cimento Portland Comum

CP II - Cimento Portland Composto

CP III - Cimento Portland de Alto-Forno

CP IV - Cimento Portland Pozolânico

CP V – ARI - Cimento Portland de Alta Resistência Inicial

RS - Cimento Portland Resistente a Sulfatos

BC - Cimento Portland de Baixo Calor de Hidratação

CPB - Cimento Portland Branco

FIHP - Federación Iberoamericana de Hormigón Premesclado

ISRM - Internatuinal Society for Rock Mechanics

CFEM – Compensação Financeira pela Exploração de Recursos Minerais

SETEC – Secretaria de educação profissional e tecnológica

SNIC - Sindicato Nacional da Indústria do Cimento

RESUMO

As atividades da indústria de rochas ornamentais geram enormes quantidades de resíduos sólidos, que impactam negativamente o meio ambiente. O concreto é obtido por meio da mistura adequada de cimento, agregado fino e agregado graúdo e água. Em algumas situações são incorporados produtos químicos ou outros componentes, como microsíllica, polímeros etc. O presente trabalho tem como objetivo avaliar as propriedades físicas e mecânicas do concreto incorporado com resíduo de mármore em pó, gerado durante o beneficiamento das placas de mármore. Foram realizados ensaios de caracterização física, química e mineralógica, a saber: fluorescência de raios-X, difração de raios-X, análise termo diferencial, análise termo gravimétrica para o resíduo de mármore. Após a caracterização dos materiais, foi realizado o estudo da dosagem a partir da metodologia da ABCP – Associação Brasileira de Cimento Portland. Estabelecendo-se as proporções dos materiais e o traço do concreto 1:2,44:1,87 com o fator água/cimento de 0,54, foram moldados corpos de prova nas dimensões de 10cm x 20cm com substituição parcial do agregado miúdo por resíduo de mármore nos percentuais de 10% e 20%, e foram avaliadas as propriedades mecânicas, resistência a compressão e a tração. Observou-se a substituição do agregado miúdo convencional (área quartzosa) por resíduo de mármore ocasionou uma redução de resistência da ordem de 40,33% e 36,9% respectivamente para os teores de 10% e 20%.

Palavras-chave: resistência, material alternativo, propriedades.

ABSTRACT

The activities of the ornamental stone industry generate enormous amounts of solid waste, which negatively impacts the environment. Concrete is obtained by appropriate mixing of cement, fine aggregate and aggregate and water. In some situations, chemicals or other components, such as microsilica, polymers, etc., are incorporated. The present work has as objective to evaluate the physical and mechanical properties of the concrete incorporated with marble dust, generated during the processing of the marble slabs. Physical, chemical and mineralogical characterization tests were carried out, namely: X-ray fluorescence, X-ray diffraction, thermo-differential analysis, thermal gravimetric analysis for the marble residue. After the characterization of the materials, the dosage study was carried out using ABCP - Brazilian Portland Cement Association methodology. By establishing the proportions of the materials and the trace of the concrete 1: 2.44: 1.87 with the water / cement factor of 0.54, 10 cm x 20 cm specimens were molded with partial replacement of the small aggregate by marble dust in the percentages of 10% and 20%, and the mechanical properties, compressive and tensile strength. It was observed that the replacement of the conventional small aggregate (quartz sand) with marble dust caused a reduction of resistance of 40.33% and 36.9%, respectively, for the contents of 10% and 20%.

Keywords: resistance, alternative material, properties.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	14
2. OBJETIVOS	16
2.1. Objetivo Geral	16
2.2. Objetivos Específicos	16
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	17
3.1. Concreto: Conceito e Classificação	17
3.2. Principais componentes utilizados na produção do concreto	21
3.2.1. Aglomerante hidráulico	21
3.4. Tipos de cimento no Brasil	24
3.5. Agregados	27
3.5.1. Tipos de agregados	28
3.5.2. Composição granulométrica dos agregados	29
3.6. Propriedades do concreto fresco	29
3.6.1. Consistência e trabalhabilidade	29
3.6.2. Exsudação	31
3.6.3. Adensamento	32
3.7. Propriedades do concreto endurecido	32
3.7.1. Peso específico	32
3.7.2. Resistência do Concreto	32
3.7.3. Deformações	33
3.8. Propriedades mecânicas do concreto	33
3.8.1. Resistência a compressão	33
3.8.2. Ensaio de tração na compressão diametral (Brazilian test)	34
3.9. Uso de resíduos em concreto	35
3.10. Produção de rochas ornamentais no Brasil	36
3.11. Produção de Mármore	37
3.12. Geração de resíduo durante o beneficiamento	38
3.12.1. Utilização do Resíduo de Mármore	38
4 MATERIAIS E METODOLOGIA	40
4.1. Materiais	40
4.2. Metodologia	41
4.2.1. Seleção dos materiais	41
4.2.2. Caracterização do resíduo de mármore	41

4.2.3	Estudo da dosagem dos materiais e moldagem dos corpos de prova.....	42
4.2.4	Determinação das propriedades físicas e mecânicas do concreto incorporado com resíduo de marmore.....	43
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	48
5.1.	Caracterização Química.....	48
5.2.	Caracterização Mecânica.....	51
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	55
7	SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS	56
	REFERÊNCIAS	57
	ANEXOS	64

1. INTRODUÇÃO

Com avanço do setor da construção civil no Brasil cresce o uso das matérias-primas, o que leva o setor a procurar novos materiais e novas tecnologias para suprir a demanda do mercado. Esse crescimento em 2010 representou aproximadamente 15,5% do PIB brasileiro, e apesar de toda a sua importância, esta parte da economia é muito retrógrado, com baixos índices de produtividade e gerador de cerca de 25% de resíduos.

O pó de mármore e o pó de granito são uns dos materiais descartados pela indústria e que já apresentam estudos realizados nesta área e mostram que estes resíduos de atividades do seu beneficiamento podem ser utilizados na construção civil como substituição ou incorporação, reduzindo impactos ambientais decorridos da produção, bem como a destinação do descarte deste material. (SANGALLI *et al.* 2013).

O desenvolvimento sustentável, modelo de produção adotado largamente no mundo atualmente, vêm ganhando força na área da construção civil, tanto para preservar o meio ambiente como para a redução de custo final de projetos com a reutilização de muito do que costumava ir para o lixo, incluindo entulhos de construção triturados. Estes rejeitos tendem a ser parte integrante de argamassas ou peças de concreto com baixa responsabilidade, devido ao ser grau de pureza e confiabilidade abaixo do padrão. Essa filosofia de sustentabilidade é baseada na conservação ambiental onde o aproveitamento selecionado dos resíduos fazem parte de um ecossistema para controlar o nível de resíduos e determinar o nível de comprometimento da geração atual para com o futuro (BRANDÃO, 2013).

As questões ambientais recebem por parte de toda a sociedade uma significativa atenção e, de certa forma, tornam-se uma preocupação em termos de preservação dos recursos naturais e redução dos impactos ambientais proporcionados pelo desenvolvimento humano e pelo emprego das novas tecnologias. Desta forma, a reciclagem ou reutilização de materiais poluentes vem contribuindo para atender aos anseios da sociedade na busca de um desenvolvimento sustentável (GALVÃO *et al.* 2008).

Também podemos utilizar alguns tipos de resíduos incorporado ao concreto com o fim de melhorar suas propriedades física, mecânica e química.

Como exemplo podemos citar o uso de Politereftalato de Etileno micronizado (PET) na confecção do concreto, com o fim de determinar sua durabilidade (MENDONÇA, 2016).

Outro exemplo bastante eficaz é uso do próprio resíduo de concreto utilizado na pré-fabricação como agregado graúdo para a produção de novos concretos (GONÇALVES, 2011).

Este trabalho tem como objetivo a avaliação das propriedades físicas e mecânicas do concreto incorporado com resíduo de mármore em pó.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo Geral

Este projeto tem como objetivo avaliar o comportamento do concreto incorporado com resíduo de mármore em pó.

2.2. Objetivos Específicos

- Determinar as propriedades físicas do concreto incorporado com resíduo de mármore em pó através da absorção nos teores de 10 e 20%;
- Determinar as propriedades mecânicas do concreto incorporado com resíduo de mármore em pó através da compressão e tração nos teores de 10 e 20%.
- Verificar o uso de mármore em pó incorporado ao concreto, visando a redução do descarte deste material no meio ambiente.

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1. Concreto: Conceito e Classificação

O concreto é material construtivo amplamente disseminado. Podemos encontrá-lo em nossas casas de alvenaria, em rodovias, em pontes, nos edifícios mais altos do mundo, em torres de resfriamento, em usinas hidrelétricas e nucleares, em obras de saneamento, até em plataformas de extração petrolífera móveis. Estima-se que anualmente são consumidas 11 bilhões de toneladas de concreto, o que dá, segundo a Federación Iberoamericana de Hormigón Premesclado (FIHP), aproximadamente, um consumo médio de 1,9 tonelada de concreto por habitante por ano, valor inferior apenas ao consumo de água. No Brasil, o concreto que sai de centrais dosadoras gira em torno de 30 milhões de metros cúbicos (PEDROSO 2009).

O concreto é um material composto por água, cimento e agregados. Como o cimento é um material caro, o principal objetivo da utilização do agregado de maior dimensão (gráúdo) é reduzir custos sem que haja prejuízo à qualidade do material (VALERA, 2012).

A matéria-prima utilizada para a produção do cimento Portland consiste principalmente em calcário, sílica, alumina e óxido de ferro. Esses compostos se combinam no forno e formam uma série de produtos mais complexos e, apesar de um pequeno resíduo de cal não combinada devido ao tempo insuficiente para a reação, é alcançado um estado de equilíbrio químico (NEVILLE & BROOKS, 2010). A Tabela 1 apresenta os principais compostos do cimento Portland.

Tabela 1 – Principais compostos do cimento Portland

Principais compostos do cimento Portland		
Nome do composto	Composição em óxidos	Abreviatura
Silicato tricálcico	$3CaO.SiO_2$	C ₃ S
Silicato dicálcico	$2CaO.SiO_2$	C ₂ S
Aluminato tricálcico	$3CaO.Al_2O_3$	C ₃ A
Ferroaluminato tetracálcico	$4CaO.Al_2O_3.Fe_2O_3$	C ₄ AF

FONTE: (NEVILLE & BROOKS, 2010).

O concreto pode ser produzido com vários tipos de cimento – conferindo características específicas ao concreto – e também conter pozolanas, como cinza volante, escória de alto-forno, sílica ativa, adições minerais, agregados de concreto reciclado, aditivos, polímeros e fibras (NEVILLE & BROOKS, 2010).

O concreto é um material de construção proveniente da mistura, em proporção adequada, de: aglomerantes, agregados e água. Também é frequente o emprego de aditivos e adições (PINHEIRO, 2010).

Segundo Pedroso (2009) com relação ao concreto, em função de suas massas específicas, obtidas pelas diferentes dosagens da mistura – também chamadas de traços – temos três classes básicas de classificação:

- a) Concreto de densidade normal:** massa específica no intervalo de 2000 a 2800kg/m³ (comumente encontrado em obras em geral).
- b) Concreto leve:** densidade abaixo do intervalo estabelecido para o concreto normal, obtida com o uso de agregados com menor massa específica.
- c) Concreto pesado:** massa específica acima do intervalo estabelecido para o concreto normal, devido ao uso de agregados de alta densidade (usado em blindagem contra radiação)

Os concretos podem também ser classificados em relação à sua resistência à compressão aos 28 dias, conforme a ABNT NBR 8953 (2015):

- a) Concreto de baixa resistência:** menos de 20MPa (não adequado à finalidade estrutural, segundo a NBR 6118)
- b) Concreto de resistência normal:** de 20 a 50MPa
- c) Concreto de alta resistência:** mais de 50Mpa

De acordo com Pinheiro (2010) temos as definições de aglomerantes, aditivos, adições, agregados, pasta, argamassa e concreto simples:

- **Aglomerantes:** Os aglomerantes unem os fragmentos de outros materiais. No concreto, em geral se emprega cimento Portland, que por ser um aglomerante hidráulico, reage com a água e endurece com o tempo.

- **Aditivos:** Os aditivos são produtos que, adicionados em pequena quantidade aos concretos de cimento Portland, modificam algumas propriedades, no sentido de melhorar esses concretos para determinadas condições. Os principais tipos de aditivos são: plastificantes (P), retardadores de pega (R), aceleradores de pega (A), plastificantes retardadores (PR), plastificantes aceleradores (PA), incorporadores de ar (IAR), superplastificantes (SP), superplastificantes retardadores (SPR) e superplastificantes aceleradores (SPA).

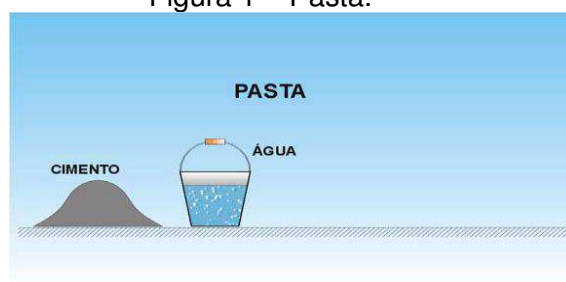
- **Adições:** As adições constituem materiais que, em dosagens adequadas, podem ser incorporados aos concretos ou inseridos nos cimentos ainda na fábrica, o que resulta na diversidade de cimentos comerciais. Com a alteração da composição dos cimentos pela incorporação de adições, é comum eles passarem a ser denominados aglomerantes. Os exemplos mais comuns de adições são: escória de alto forno, cinza volante, sílica ativa de ferro-silício e metacaulinita.

- **Agregados:** Os agregados são partículas minerais que aumentam o volume da mistura, reduzindo seu custo, além de contribuir para a estabilidade volumétrica do produto final. Dependendo das dimensões características, dividem-se em dois grupos:

- Agregados miúdos: $0,075\text{mm} < x < 4,8\text{mm}$. Exemplo: areias.
- Agregados graúdos: $x > 4,8\text{mm}$. Exemplo: pedras.

- **Pasta:** A pasta (Figura 1) resulta das reações químicas do cimento com a água. Quando há água em excesso, denomina-se nata.

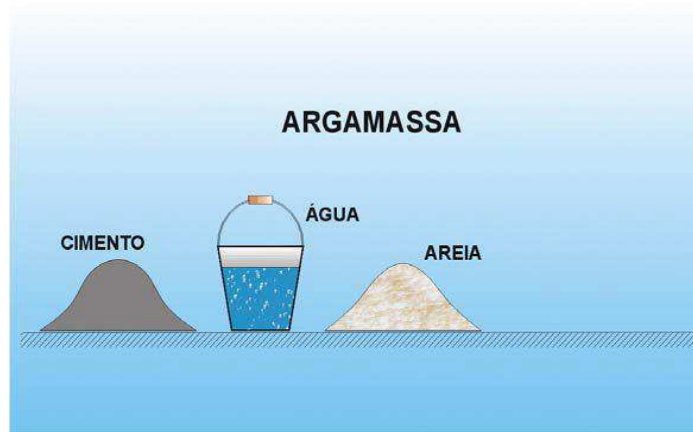
Figura 1 – Pasta.



Fonte: PINHEIRO (2010).

- **Argamassa:** A argamassa (Figura 2) provém da mistura de cimento, água e agregado miúdo, ou seja, pasta com agregado miúdo.

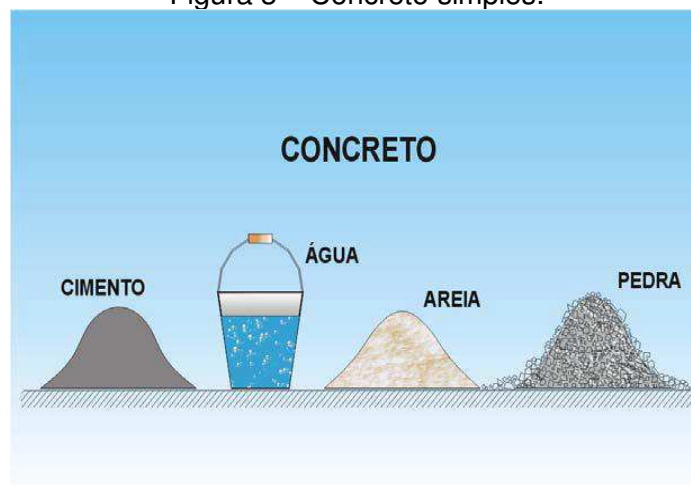
Figura 2 – Argamassa.



Fonte: PINHEIRO (2010).

- **Concreto simples:** A Figura 3 abaixo representa o concreto simples que é formado por cimento, água, agregado miúdo e agregado graúdo, ou seja, argamassa e agregado graúdo.

Figura 3 – Concreto simples.



Fonte: PINHEIRO (2010).

3.2. Principais componentes utilizados na produção do concreto

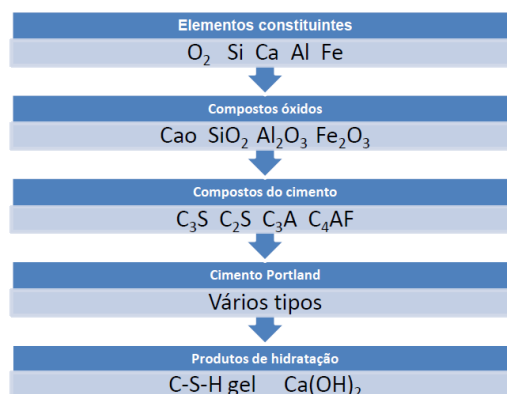
3.2.1. Aglomerante hidráulico

O cimento Portland é um material pulverulento, constituído de silicatos e aluminatos de cálcio, praticamente sem cal livre que ao serem misturados com a água, hidratam-se, formando uma massa gelatinosa, finamente cristalina (PINHEIRO, 2010) . Esta massa, após contínuo processo de cristalização, endurece, oferecendo então elevada resistência mecânica (PETRUCCI, 1998).

Para Mehta & Monteiro (1994), o cimento é um material finamente pulverizado, que sozinho não é aglomerante, mas desenvolve propriedades ligantes, como resultado da hidratação (isto é, de reações químicas entre os minerais do cimento e água). Um cimento é chamado hidráulico quando os produtos de hidratação são estáveis em meio aquoso. O cimento hidráulico mais utilizado para fazer o concreto é o cimento Portland, que consiste essencialmente de silicatos de cálcio hidráulicos. Os silicatos de cálcio hidratados, formados pela hidratação do cimento Portland, são os principais responsáveis por sua característica adesiva e são estáveis em meios aquosos.

Da mesma forma que várias outras reações químicas, a hidratação dos compostos do cimento é exotérmica. A quantidade de calor liberada (em joules) por grama de cimento anidro até a hidratação completa a uma dada temperatura é definida como o calor de hidratação (NEVILLE & BROOKS, 2010). A Figura 4 ilustra a representação esquemática do processo de formação e hidratação do cimento Portland.

Figura 4 – Processo de formação e hidratação do cimento Portland.



Fonte: Adaptado (NEVILLE & BROOKS, 2010).

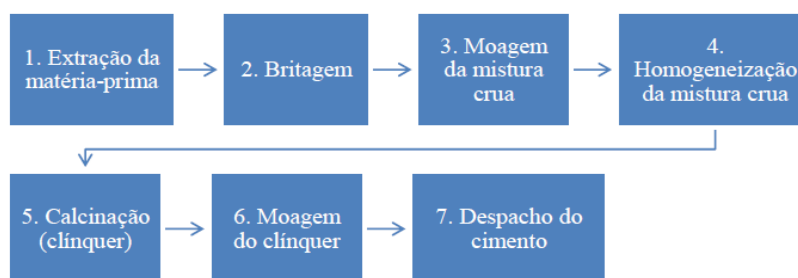
O processo de fabricação do concreto é complexo – tanto quanto fascinante – começa na pedreira, onde os blocos de rocha são fragmentados, a partir daí vai para a fábrica onde é moído, tornando-se um pó fino de calcário, e misturado com cálcio, silício, alumínio e ferro. Esse material é denominado farinha e está pronto para ir ao forno de calcinação, formando um componente marmorizado chamado clínquer. O produto obtido ao final de todos esses processos é denominado de Cimento Portland (BATISTA, 2016).

De acordo com Batista (2016) a logística do processo faz com que as fábricas fiquem próximas das jazidas do calcário, pois cerca de 50% do peso do calcário se perde no processo da queima, então se a empresa diminuir as distancias diminuirá à massa perdida transportada. O processo de fabricação consiste basicamente de calcário e argila como matéria-prima, seguindo as etapas:

- Mistura do calcário e da argila em um processo mecânico, em uma máquina chamada de moinha de bolas, dá-se o nome dessa mistura de “cru”;
- Em seguida o “cru” segue para homogeneização nos chamados “cilos de farinha”, onde sai a farinha crua, com a composição adequada para ir ao forno;
- Após esse processo, a “farinha” será submetida à altas temperaturas – temperatura de clinquerização – cerca de 1500°C, dando origem ao “clínquer”, a base da formação do cimento;
- Por fim, ocorre o processo da moagem do clínquer, a adição do gesso e outros aditivos, seguindo para o setor de distribuição.

A Figura 5 ilustra a representação esquemática do processo de fabricação do cimento.

Figura 5 – Processo de fabricação do cimento.



Fonte: Adaptado (BATISTA, 2016).

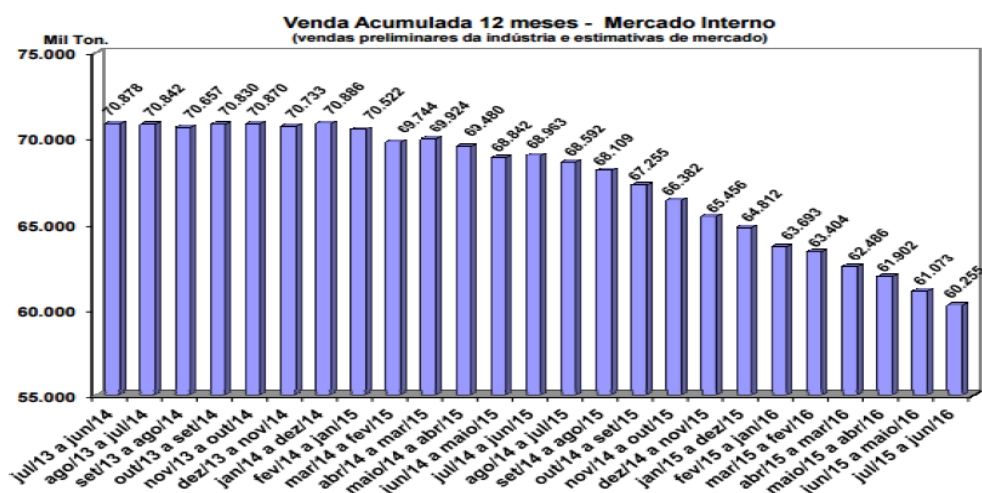
3.3. Mercado Brasileiro na produção de cimento

Segundo dados do SNIC (Sindicato Nacional da Indústria do Cimento) no Brasil existe atualmente cerca de 20 grupos cimenteiros, nacionais e estrangeiros, distribuídos em 95 fábricas, espalhadas por todas as regiões brasileiras. A capacidade de produção instalada anunciada do país é de 82 milhões de toneladas/ano, porém, estima-se que esses dados já tenham ultrapassado os 96 milhões de toneladas/ano, devendo chegar aos 100 milhões de toneladas até o final de 2017.

Dados preliminares da indústria e estimativas de mercado incidam que as vendas internas de cimento em junho de 2016 somaram 4,7 milhões de toneladas, com queda de 14,7% em relação a junho de 2015. As vendas acumuladas no 1º semestre de 2016 alcançaram 28 milhões de toneladas. Na comparação com idêntico período de 2015 caíram 14%. As vendas acumuladas nos últimos doze meses (jul/15 a jun/16) atingiram 60,2 milhões de toneladas, com queda de 12,6% sobre igual período anterior (jun/14 a jun/15) (BATISTA, 2016).

O cenário da crise política e econômica do país pode ser um dos fatores que levaram a queda das vendas, já que a venda de cimento no Brasil está diretamente ligada ao setor da construção civil e desenvolvimento do país (LUZ *et. al.*, 2012). Os resultados divulgados estão ilustrados no gráfico da Figura 6.

Figura 6 – Venda acumulada.



Fonte: Disponível em <<http://www.snic.org.br/resultados-pre-dinamico.asp>>

3.4. Tipos de cimento no Brasil

De acordo com Pedrosa (2009) no Brasil, o mercado da construção civil dispõe de 8 opções de cimentos:

- a) *Cimento Portland Comum (CP I)*: É o cimento Portland sem quaisquer adições, exceto gesso, usado para controlar a pega (o tempo necessário para o endurecimento parcial do composto). É recomendado para o uso em construções de concreto em geral, quando não são exigidas propriedades especiais do cimento. É normalizado pela ABNT NBR 5732.
- b) *Cimento Portland Composto (CP II)*: Tem adições de escória, pozolana ou fíler em pequenas proporções. Sua composição segue a norma ABNT NBR 11578. Devido ao desempenho equivalente ao CP I, o cimento composto atende plenamente às necessidades da maioria das aplicações usuais, apresentando, em muitos casos, vantagens adicionais.
- c) *Cimento Portland de Alto-Forno (CP III)*: Normalizado pela ABNT NBR 5735, este cimento pode conter escória de alto-forno variando de 35 a

70% de sua massa. Por apresentar maior impermeabilidade e durabilidade, baixo calor de hidratação e alta resistência à expansão e a sulfatos (reações álcali-agregado), este cimento é vantajoso em obras de concreto-massa, tais como a construção de barragens.

- d)** *Cimento Portland Pozolânico (CP IV)*: Possui pozolana em quantidade que varia de 15 a 50% de sua massa. É normalizado pela ABNT NBR 5736. Recomendado para obras expostas à ação de água corrente e para ambientes agressivos por suas propriedades de baixa permeabilidade, alta durabilidade, alta resistência à compressão e idades avançadas.

- e)** *Cimento Portland de Alta Resistência Inicial (CP V – ARI)*: Por atingir altas resistências já nos primeiros dias de aplicação, este cimento é usado por fábricas de blocos para alvenaria, blocos para pavimentação, de tubos, lajes, meio-fio, mourões, postos e de elementos arquitetônicos pré-moldados, que necessitam de um cimento de elevada resistência inicial para a rápida desforma. O desenvolvimento dessa propriedade é obtido pela utilização de uma dosagem específica de calcário e argila na produção de clínquer e pela moagem mais fina do cimento, normalizados pela ABNT NBR 5733.

- f)** *Cimento Portland Resistente a Sulfatos (RS)*: Normalizado pela ABNT NBR 5737 e recomendado para obras em ambientes agressivos, tais como: redes de esgotos e obras em regiões litorâneas, subterrâneas e marítimas. Os cinco tipos de cimento expostos anteriormente podem ser resistentes a sulfatos, caso observarem os parâmetros para essa propriedade.

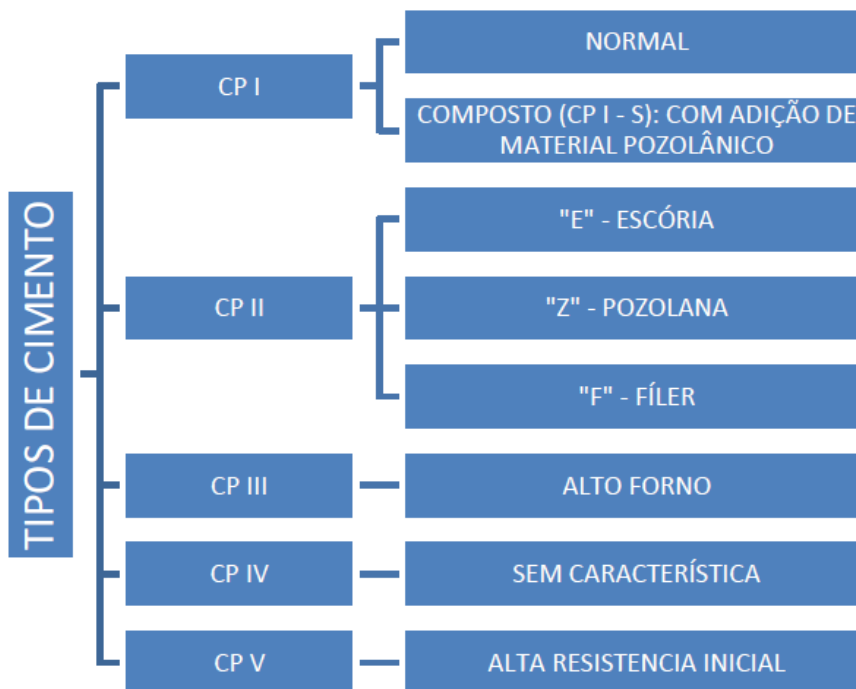
- g)** *Cimento Portland de Baixo Calor de Hidratação (BC)*: Da mesma forma, é considerado cimento de baixo calor de hidratação os tipos anteriores que demonstrem uma dissipação mais prolongada do calor gerado durante a hidratação do cimento. Definido pela ABNT NBR 13116, é

recomendado para grandes concretagens onde é indispensável o controle de fissuras de origem térmica, como em obras hidráulicas.

- h) Cimento Portland Branco (CPB):** É o cimento de coloração diferenciada da coloração natural cinza. Sua obtenção ocorre a partir de matérias-primas com baixos teores de óxido de ferro e manganês e em condições mais severas de resfriamento. Ao cimento branco assim obtido, pode-se adicionar pigmentos coloridos para cimentos de diferentes cores. Segundo a NBR 12989, este cimento deve ter índice de brancura maior do que 78%. É um cimento adequado aos projetos arquitetônicos de concreto aparente e para composição de argamassas para rejunte de azulejos e outras aplicações não-estruturais.

A Figura 7 ilustra a representação esquemática dos principais tipos de cimento encontrados comumente nas casas de materiais de construção.

Figura 7 – Representação esquemática dos principais tipos de cimento.



Fonte: Adaptado (BATISTA, 2016).

3.5. Agregados

A norma que estabelece as diretrizes no que diz respeito aos agregados é a ABNT NBR 7211:2009 – Agregados para concreto – Especificação. Segundo a mesma norma, os agregados especificados podem ser de origem natural, já encontrados fragmentados ou resultantes da britagem de rochas, não sendo aplicada a agregados por processos industriais, como subprodutos. Exceto para agregados para a representação de um novo concreto.

O estudo e a caracterização em ensaios laboratoriais, dos agregados, é de suma importância para sua utilização no setor da construção civil. Segundo Petrucci (1998), nota-se que os agregados exercem um papel importante nos concretos e argamassas tanto do ponto de vista econômico, quanto técnico, além de exercerem influência sobre determinadas características, como: elevar a resistência contra o desgaste e retração do concreto, além de aumentar a resistência mecânica superior à da pasta de aglomerante.

Luz (2012) cita que ocorreu, em 2004, o colapso do edifício Areia Branca, na Praia de Piedade, região metropolitana do Recife. Uma das primeiras constatações é que se tratava de um fenômeno denominado reação álcali-agregado, pouco estudado no meio científico (CICHINELLI, 2010). Nesse contexto torna-se extremamente necessário a análise dos agregados utilizados na fabricação do concreto. Alguns tipos de agregados estão representados na Figura 8.

Figura 8 – Diversidade dos agregados.



Fonte: Disponível em <<http://www.maqtran.com>>

3.5.1. Tipos de agregados

Petrucci (1998) propõe que os agregados podem ser classificados do ponto de vista de sua origem, podendo ser dividido em naturais e artificiais. Para o autor citado os agregados são usualmente classificados como naturais, artificiais e ainda com relação a massa específica:

- Natural – aqueles encontrados na natureza em forma de agregados como, por exemplo, a areia, pedregulho e o seixo rolado.
- Artificiais – aqueles que necessitam de um trabalho de afeiçoamento pela ação do homem para se tornar útil na função de agregado.
- Massa específica aparente – aquela que subdivide os agregados em leves, normais e pesados.

A ASTM (American Society for Testing Material) e a ISRM (Internatuinal Society for Rock Mechanics) sugerem a classificação baseada em análises petrográficas das rochas, também levando em consideração os parâmetros físicos e mecânicos.

Segundo Bertulino *et al.*, 2012, entende-se que ocorre uma grande variedade dos tipos de agregados no Brasil, sendo muitas vezes adotados materiais regionais na construção civil, isso decorre das características geológicas do território brasileiro, possuindo uma grande variedade de rochas. Luz (2012) cita alguns exemplos dos tipos de rocha encontrados no território brasileiro, onde segue:

- Granito e Gnaisse: são encontrados na maioria dos estados brasileiros;
- Basalto: regiões do sul e sudeste (bacia do Paraná);
- Calcário e Dolomitos: Minas Gerais, Goiás, Bahia e norte fluminense;
- Lateritas: região Amazônica e Minas Gerais;
- Areia/cascalho: maioria dos estados.

3.5.2. Composição granulométrica dos agregados

Segundo a ABNT NBR 7211:2009 segue que:

- Agregado miúdo: agregado cujos grãos passam pela peneira com abertura de malha de 4,75 mm e ficam retidos na peneira com abertura de malha de 150 μm ;
- Agregado graúdo: agregado cujos grãos passam pela peneira com abertura de malha de 75 mm e ficam retidos na peneira com abertura de malha de 4,75 mm.

A Tabela 2 apresenta o conjunto de peneiras das séries normal e intermediária (abertura nominal).

Tabela 2 – Conjunto de peneiras das séries normal e intermediária.

Série normal	Série intermediária
75 mm	-
-	63 mm
-	50 mm
37,5 mm	-
-	31,5 mm
-	25 mm
19 mm	-
-	12,5 mm
9,5 mm	-
-	6,3 mm
4,75 mm	-
2,36 mm	-
1,18 mm	-
600 μm	-
300 μm	-
150 μm	-

Fonte: ABNT NBR 7211:2009.

3.6. Propriedades do concreto fresco

3.6.1. Consistência e trabalhabilidade

A consistência traduz as propriedades intrínsecas da mistura fresca relacionada com a mobilidade da massa e a coesão entre os elementos

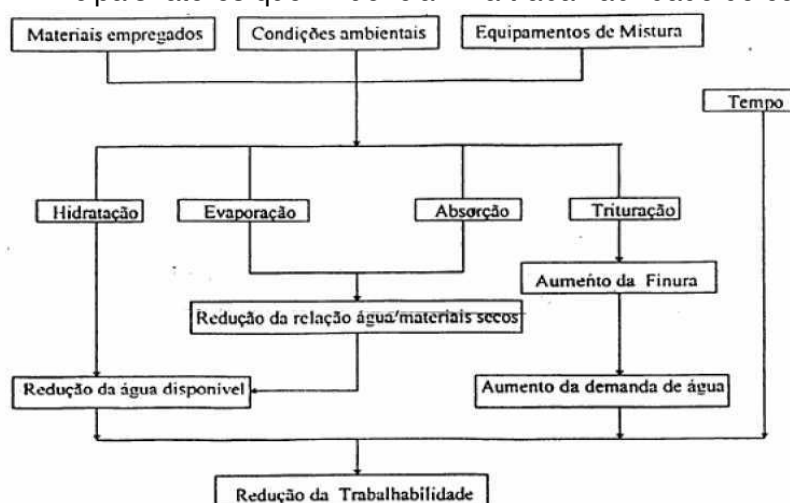
componentes, tendo em vista a uniformidade e a compacidade do concreto. As operações de transporte, lançamento e adensamento do concreto devem permitir a obtenção de uma massa homogênea e sem vazios. A trabalhabilidade não é apenas uma característica inerente ao próprio concreto, mas envolve também as considerações relativas à natureza da obra e aos métodos de execução adotados. (ALMEIDA, 2002).

Neville & Brooks (2010) sugerem que a trabalhabilidade é governada pelas proporções volumétricas de partículas de diferentes dimensões, de modo que, quando agregados de massas específicas diferentes são utilizados, como agregados leves, as proporções das misturas devem ser calculadas com base no volume absoluto de cada fração de dimensão.

Para uma relação água/cimento constante, a trabalhabilidade aumenta conforme a relação agregado/cimento diminui devido à quantidade de água em relação à superfície total de sólidos ser aumentada. As proporções volumétricas são quem controlam a trabalhabilidade do concreto, devendo-se atentar para o fato que para o mesmo fator água/cimento aumenta-se a trabalhabilidade do concreto, ao passo que se diminui o fator agregado/cimento (BATISTA, 2016).

Segundo Giannusso (1995) apud Boggio (2000) alguns fatores influenciam na trabalhabilidade do concreto, sendo os principais ilustrados na Figura 9.

Figura 9 – Principais fatores que influenciam na trabalhabilidade do concreto.



Fonte: Giannusso (1995) apud Boggio (2000).

Esta propriedade segundo Prudêncio (1999) *apud* Assunção (2002), está relacionada ao teor de argamassa (cimento:areia) que preenche os vazios e envolvem os grãos do agregado graúdo, agindo neste caso, como um agente lubrificante.

Para Mehta & Monteiro (1994) entende-se que pelo fato de existir vários fatores que estão ligados a trabalhabilidade, existe vários ensaios para quantificar essa propriedade, entre eles:

- Ensaio de abatimento do tronco de cone;
- Ensaio Vebe;
- Ensaio de fator de compactação.

Pode-se ainda, através da exposição dos autores, levar em consideração alguns fatores que afetam a trabalhabilidade e o seu controle, como por exemplo:

- Consumo de água;
- Consumo de cimento;
- Característica dos agregados;
- Aditivos.

3.6.2. Exsudação

A exsudação é uma forma de segregação na qual parte da água mistura da mistura tende a migrar para a superfície do concreto recém lançado. 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 (NEVILLE & BROOKS, 2010).

A água, ao subir à superfície, pode carregar partículas finas de cimento, formando uma pasta, que impede a ligação de novas camadas de material e deve ser removida cuidadosamente. A exsudação pode ser controlada pelo proporcionamento adequado de um concreto trabalhável, evitando-se o emprego de água além do necessário. Às vezes corrige-se a exsudação

adicionando-se grãos relativamente finos, que compensam as deficiências dos agregados. (ALMEIDA, 2002).

3.6.3. Adensamento

O adensamento do concreto é uma das etapas mais importantes na produção das estruturas e interfere sensivelmente nas características e propriedades finais delas. De maneira geral, o adensamento, para obras de médio e grande porte, é feito por meio da aplicação de energia mecânica no concreto/Consiste basicamente, em um primeiro momento, na separação dos diversos compostos para, depois, misturá-los adequadamente, evitando a formação de bolhas de ar, vazios e segregação de materiais. O adensamento deve fazer com que o concreto preencha todos os recantos das fôrmas. (CARVALHO, 2014).

3.7. Propriedades do concreto endurecido

3.7.1. Peso específico

O peso específico do concreto endurecido depende de muitos fatores, principalmente da natureza dos agregados, da sua granulométrica e do método de compactação empregado será tanto maior quanto maior for o peso específico dos agregados usados e tanto maior quanto mais quantidade de agregado gráudo contiver. A variação do peso específico, contudo, é pequena, podendo-se tomar para o concreto simples um valor de 2,3 tf/m³ e para o concreto armado de 2,5 tf/m³. (ALMEIDA, 2002).

3.7.2. Resistência do Concreto

Segundo Neville & Brooks (2010) nota-se que corriqueiramente a resistência do concreto é destacada como sendo a propriedade mais importante, embora, em determinados momentos na prática, outras características, como durabilidade, impermeabilidade e estabilidade de volume

podem ser de fato mais importantes, ao passo que vai depender dos tipos de solicitações a que será submetido o material.

Para Petrucci (1998), entende-se que o concreto é um material com boa resistência a esforços de compressão, porém não possui o mesmo desempenho quando é submetido a esforços de tração. A resistência à tração do concreto é da ordem da décima parte da sua resistência à compressão, sendo que os principais fatores que afetam a resistência são:

- Relação água/cimento;
- Idade;
- Forma e graduação dos agregados;
- Tipo de cimento;
- Forma e dimensão dos corpos de prova;
- Velocidade de aplicação da carga de ensaio;
- Duração da carga.

3.7.3. Deformações

Segundo Almeida (2002) as deformações do concreto podem ser de duas naturezas:

- Deformações causadas por variação das condições ambientes: causa retração e deformações provocadas por variações de umidade e temperatura ambiente;
- Deformações causadas pela ação de cargas externas: deformação imediata, deformação lenta, deformação lenta recuperável e fluência.

3.8. Propriedades mecânicas do concreto

3.8.1. Resistência a compressão

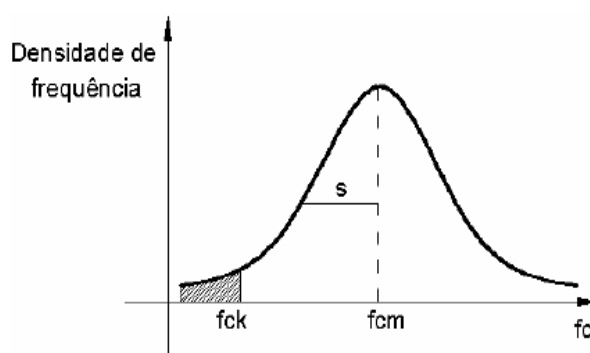
A resistência a compressão simples, denominada f_c , é a característica mecânica mais importante.

Para estimá-la em um lote de concreto, são moldados e preparados corpos de prova segundo a NBR 5738 – Moldagem e cura de corpos-de-prova

cilíndricos ou prismáticos de concreto, os quais são ensaiados de acordo com a NBR 5739 – Concreto – Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos.

Após ensaio de um número muito grande de corpos de prova, pode ser feito um gráfico com os valores obtidos de f_c *versus* a quantidade de corpos de prova relativos a determinado valor de f_c , também denominada densidade de frequência. A curva encontrada denomina-se Curva Estatística de Gauss ou Curva de Distribuição Normal para a resistência do concreto à compressão (Figura 10) (PINHEIRO, 2010).

Figura 10 – Curva de Gauss para a resistência do concreto à compressão.



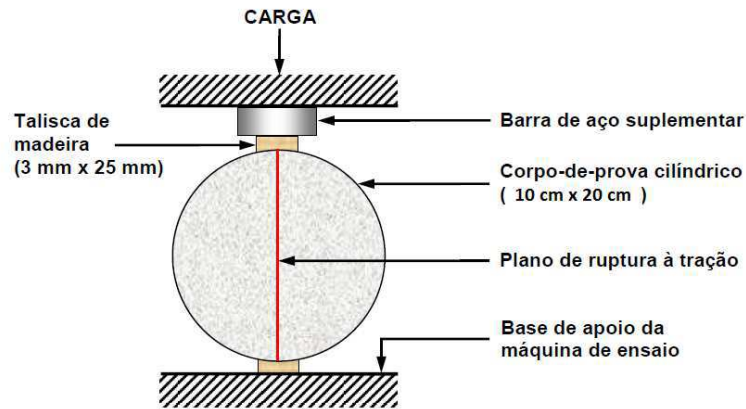
Fonte: PINHEIRO (2010).

3.8.2. Ensaio de tração na compressão diametral (Brazilian test)

É o ensaio mais utilizado, por ser mais simples de ser executado e utilizar o mesmo corpo de prova cilíndrico do ensaio de compressão. Também é conhecido internacionalmente como Ensaio Brasileiro, pois foi desenvolvido por Lobo Carneiro, em 1943 (PINHEIRO, 2010).

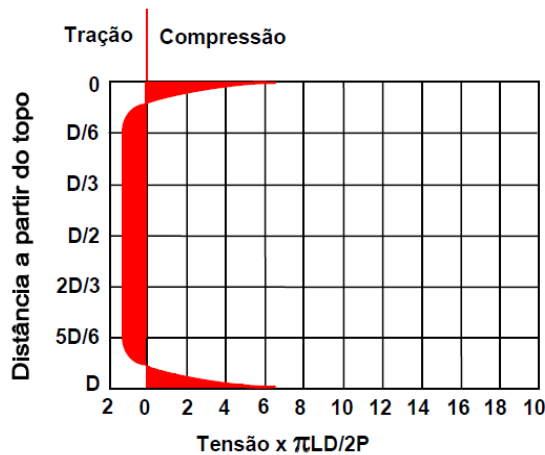
Para a sua realização, o corpo de prova cilíndrico é colocado com o eixo horizontal entre os pratos da máquina de ensaio, e o contato entre o corpo de prova e os pratos deve ocorrer somente ao longo de duas geratrizes, onde são colocadas tiras padronizadas de madeira, diametralmente opostas (Figura 11), sendo aplicada uma força até a ruptura do concreto por fendilhamento, devido à tração indireta, distribuindo dessa forma a tensão no corpo de prova (Figura 12) (PINHEIRO, 2010).

Figura 11 - Ensaio de tração por compressão diametral.



Fonte: Adaptado de Mehta & Monteiro (2008)

Figura 12 - Distribuição de tensão no corpo de prova.



Fonte: Adaptado Mehta & Monteiro (2008)

3.9. Uso de resíduos em concreto

Na busca pela preservação ambiental, a reciclagem de resíduos tem se mostrado como uma alternativa eficaz na redução dos impactos causados pelo consumo desordenado de matéria-prima e pela disposição inadequada de resíduos. A utilização desses resíduos em concreto tem sido uma solução sustentável devido ao fato do concreto ser um dos produtos mais consumido no mundo todo (GALVÃO, 2010).

Como exemplos de destinação final apropriada a variados tipos de rejeitos adicionados no concreto podem ser citados: Ismail e Al-Hashmil (2008) verificaram o concreto com adição de plásticos reciclados; Khaloo *et al.* (2008) observaram que a adição de partículas de borracha de pneu proporcionou ao

concreto resultante maior ductilidade nos ensaios de compressão se comparado ao concreto sem adição; Guerra *et al.* (2009) estudou as propriedades do concreto com adição de rejeitos cerâmicos; Ângulo *et al.* (2009) caracterizaram como agregados para concreto, materiais reciclados da construção e demolição. Estudos também foram realizados com elastômeros, como é o caso da borracha de estireno-butadieno reciclada de pneus (FREITAS *et al.*, 2009).

Batista (2016) avaliou a resistência à compressão do concreto com adição de resíduo oleoso de petróleo, em substituição parcial do cimento nos teores de 5 e 10%. Pode-se verificar que a substituição do cimento por resíduo oleoso de petróleo ocasionou a redução da resistência do concreto para todos os teores de substituição.

3.10 Produção de rochas ornamentais no Brasil

De acordo com Filho, *et al.* (2009), as rochas ornamentais e de revestimento, também designadas pedras naturais, rochas lapídeas, rochas dimensionais e materiais de cantaria, compreendem os materiais geológicos naturais que podem ser extraídos em blocos ou placas, cortados em formas variadas e beneficiados por meio de esquadrejamento, polimento, lustro, etc. Seus principais campos de aplicação incluem peças isolada, esculturas, tampos e pés de mesa, balcões, lápides e arte funerária em geral, quanto edificações, destacando-se neste caso os revestimentos internos e externos de paredes, pisos, pilares, colunas, soleiras, dentre outros. Do ponto de vista comercial, são basicamente subdivididas em granitos e mármore: como granitos enquadram-se genericamente as rochas silicáticas, enquanto os mármore englobam as rochas carbonáticas. Alguns outros tipos litológicos, como os quartzitos, serpentinitos, travertinos e ardósias, também são muito importantes setorialmente.

A partir de estudos realizados pelo Instituto Metas, em 2002, para o então Ministério da Ciência e Tecnologia – MCT (atual MCTI – Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação), evidenciou-se a existência de 18 aglomerações produtivas relacionadas com o setor de rochas ornamentais e de

revestimento no Brasil, envolvendo atividades de lavra em 10 estados e 80 municípios da Federação. Mais amplamente, foram registrados 370 municípios com recolhimento da CFEM – Compensação Financeira pela Exploração de Recursos Minerais, para extração de rochas ornamentais (FILHO *et al.* 2014).

A produção brasileira de materiais rochosos naturais, para ornamentação e revestimento, foi estimada em 9,3 milhões de toneladas em 2012. Essa produção inclui granitos, pegmatitos e várias outras rochas silicáticas, além de mármore, travertinos, ardósias, quartzitos maciços e foliados, basaltos e gabros, serpentinitos, pedra-sabão e pedra-talco, calcários, metaconglomerados polimíticos e oligomíticos, cherts, arenitos, xistos diversos etc. Assume-se a existência de 1.400 frentes ativas de lavra, sempre a céu aberto e em maciço ou matacões, responsáveis por cerca de 1.200 variedades comerciais de rochas colocadas nos mercados interno e externo (FILHO *et al.* 2014).

3.11 Produção de Mármore

Tais rochas afloram como resultado de processos erosivos na crosta terrestre. São caracterizados pela presença de minerais carbonáticos com graus variados de recristalização metamórfica (ALMEIDA, 2014).

A Tabela 3 mostra a composição química em porcentagem de massa do mármore obtida por Felipe-Sesé *et al.* (2011) e Arrivabene *et al.* (2008) comprovando a composição carbonática do mármore.

Tabela 3 – Composição química em porcentagem de massa do mármore.

Composição	Felipe-Sesé <i>et al.</i> (2011)	Arrivabene <i>et al.</i> (2008)
CaO	55.3±0,01	38,00 a 49,80
MgO	1,25±0,01	3,60 a 13.60
SiO₂	0,93±0,01	0,20
Al₂O₃	0,36±0,01	0,06
Outros	0,16	1,54
Perda ao Fogo	42,0±0,01	44,60

3.12 Geração de resíduo durante o beneficiamento

A extração e o beneficiamento de rochas são as principais funções do setor de mineração e beneficiamento de rochas ornamentais no Brasil (MANHÃES & HOLANDA, 2008).

A extração consiste na retirada de pedras brutas das pedreiras e o beneficiamento é o processo de transformação dessas pedras em chapas polidas próprias para o consumo. Este último processo de beneficiamento se divide em dois: primário e final. O primário consiste no desdobramento em blocos dessas pedras brutas. Os blocos passam por processo de serragem por meio de teares, chapas ou talha-blocos até atingirem dimensões entre $5m^3$ e $10m^3$. As chapas produzidas sofrem polimento e são resinadas no processo conhecido como beneficiamento final (SETEC, 2007).

A produção de resíduos durante o beneficiamento de rochas ornamentais é gerada em enormes quantidades em forma de lama constituída por pó de pedra, cal, água e granalha metálica e pó de pedra com retalhos de rochas (DESTEFANI, 2009). O pó é produzido durante o processo de corte e polimento.

No Brasil, no ano de 2007, a produção de rochas ornamentais atingiu 8 milhões de toneladas, que segundo (DESTEFANI, 2009) gerou próximo de 682 mil m^3 de resíduos de rochas em volume, equivalente a 1,8 milhões de toneladas de resíduos. Os resíduos gerados são abandonados, muitas vezes, em aterros ou lagoas de decantação.

3.12.1 Utilização do Resíduo de Mármore

Com a rigidez das leis governamentais que protegem o meio ambiente, as empresas produtoras de rochas ornamentais foram obrigadas a dar um destino mais apropriado para os resíduos formados durante o processo de beneficiamento das rochas (ALMEIDA, 2014).

Muitos pesquisadores se empenharam em desenvolver novas metodologias para a reutilização dos resíduos na produção de produtos,

sempre com a preocupação de que os mesmos não perdessem suas características e também que durante a fabricação não produzam maiores gastos energéticos. Outros se empenharam em diminuir parte do consumo de matéria-prima natural e não renovável, incorporando resíduos de rocha em sua composição (ALMEIDA, 2014).

Em relação à reciclagem de resíduos industriais, a indústria cerâmica tem grande destaque por possuir um alto volume de produção, beneficiando o grande consumo de resíduos (COLLATTO & BERGMANN, 2009).

4 MATERIAIS E METODOLOGIA

4.1 Materiais

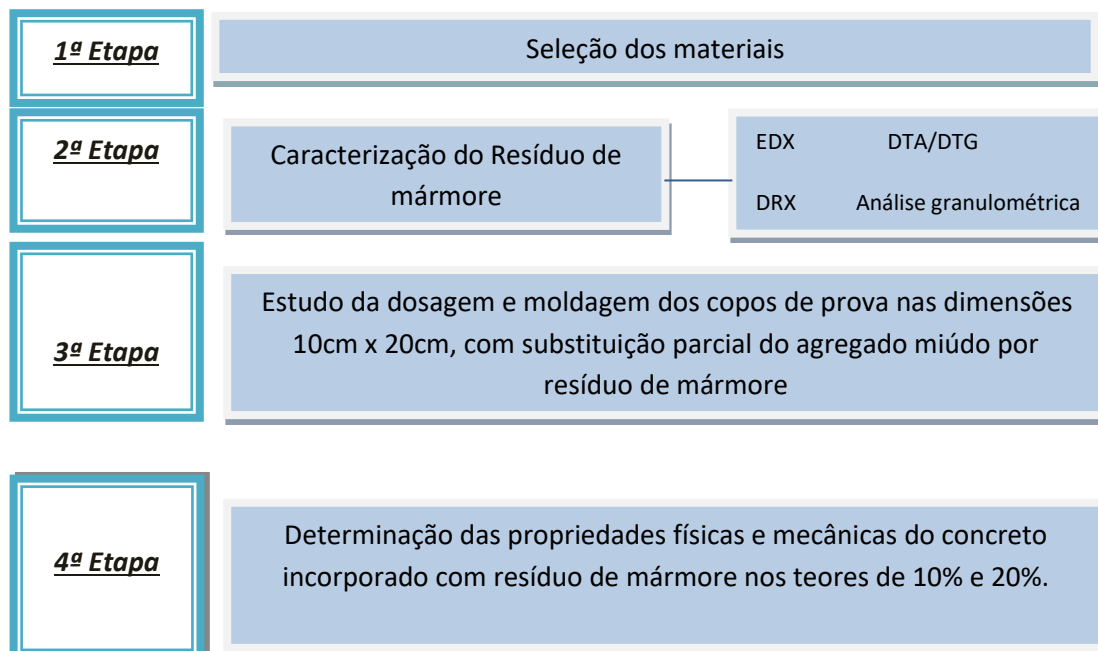
Os materiais utilizados foram:

- **Agregado graúdo**: Brita de origem granítica, apresentando diâmetro máximo padronizado para brita 0, apresentando massa específica seca de $2,63\text{g/cm}^3$, massa específica na condição de $2,64\text{ g/cm}^3$, massa específica aparente igual a $2,67\text{g/cm}^3$, finura de 6, 19 e diâmetro máximo 6,3mm.
- **Agregado miúdo**: O agregado miúdo, utilizado na pesquisa, foi do tipo natural proveniente de jazida do leito do Rio Paraíba, apresentando diâmetro máximo de 2,36mm, finura igual a 2,42%, massa específica de $2,618\text{g/cm}^3$, massa unitária solta igual a $1,429\text{g/cm}^3$, e teor de materiais pulverulentos de 0,07%.
- **Cimento Portland CPII F32**: O cimento Portland foi obtido no comercio local do município de Santa Rita-PB, apresentando massa específica igual a $2,91\text{ g/cm}^3$ e finura igual 2,84%.
- **Resíduo de mármore**: o resíduo de mármore utilizado no desenvolvimento deste projeto é proveniente da indústria GRANFUJI situada no distrito industrial de Campina Grande-PB.
- **Água**: fornecida pela Companhia de Águas e Esgotos da Paraíba (CAGEPA).

4.2 Metodologia

A Figura 13 ilustra o Fluxograma das etapas da pesquisa.

Figura 13 - Fluxograma das etapas da pesquisa.



Fonte: Dados da pesquisa (2017).

4.2.1 Seleção dos materiais

Nesta etapa serão selecionadas as matérias-primas convencionais utilizadas para a produção do concreto: cimento, agregado graúdo e agregado miúdo.

4.2.2 Caracterização do resíduo de mármore

Foram realizados ensaios de caracterização física, química e mineralógica para o resíduo de mármore, dentre eles, pode destacar:

Análise química – EDX: Este ensaio consiste em submeter à amostra a fluorescência de raios X, onde são identificados os componentes físico-químicos do material. O resíduo foi beneficiado em peneira ABNT Nº 200 (abertura de 0,074mm) e o ensaio foi realizado em equipamento EDX 720 da Shimadzu.

Difração de raios-X – DRX: Esta técnica possibilita determinar a estrutura de sólidos cristalinos, conhecer o arranjo dos átomos em retículos cristalinos ou em um único cristal de uma determinada substância. Este ensaio foi realizado em equipamento Shimadzu XDR-6000, utilizando radiação $\text{CuK}\alpha$, tensão de 40kV, corrente de 30mA, varredura de $2^\circ < 2\theta < 30^\circ$ e $\lambda 1, 54^{\text{a}}$.

Análise Térmica Diferencial (ATD) e termogravimétrica (TG): As análises térmicas do resíduo de mármore foram realizadas em equipamento BP Engenharia, Modelo RB 3000, operando a $12,5^\circ\text{C}/\text{min}$. A temperatura máxima utilizada nas análises térmicas foi de 1000°C e o padrão utilizado nos ensaios de DTA foi o óxido de alumínio (Al_2O_3) calcinado.

Análise Granulométrica por difração a laser: Neste método é combinada a relação proporcional entre a difração a laser e a concentração e o tamanho de partículas. Para realização deste ensaio a amostra foi beneficiada em peneira ABNT nº 80(0,18mm), e dispersa em 250mL de água destilada em agitador Hamilton Beach modelo N-5000 na velocidade de 17.000rpm, por 20 minutos; em seguida, a dispersão foi colocada em um equipamento CILAS modelo 1064, em modo úmido, até atingir a concentração ideal, que é de 150 unidades de difração/área de incidência.

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

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 e do estabelecimento do fator água/cimento, foi realizado o estudo da dosagem, determinando-se o seguinte traço: 1:2,44:1,87:0,54 , com fator água cimento (fa/c) de 0,54, abatimento do troço do cone de 40 – 60 (mm) e resistência requerida de 20MPa Em seguida, determinou os teores de substituição do agregado miúdo por resíduo de mármore e as idades de controle que foram utilizadas para determinação das propriedades físicas e mecânicas do concreto.

Moldagem dos corpos de prova

Foram moldados corpos de prova nas dimensões de 10cm x 20cm com substituição parcial do agregado miúdo por resíduo de mármore nos percentuais de 10% e 20%.

4.2.4 Determinação das propriedades físicas e mecânicas do concreto incorporado com resíduo de marmore

Determinação das propriedades físicas

Absorção por imersão em água

Neste ensaio foi determinado o aumento de massa ocorrida no concreto, decorrente da penetração de água em seus poros permeáveis, em relação à sua massa seca, sendo o procedimento descrito pela norma da ABNT NBR 9778 (ABNT 2005). Sendo a água um dos principais agentes de degradação do concreto, os concretos com menores taxas de absorção provavelmente apresentarão maior durabilidade.

Determinação das propriedades mecânicas

Resistência à compressão simples

Para a caracterização mecânica do concreto foi realizado o ensaio de resistência à compressão simples f_{ck} , de acordo com a norma ABNT NBR 7215 (ABNT, 7215), nas idades de controle de 7, 14 e 21 dias.

Resistência à tração

O ensaio de resistência a tração foi realizado nas idades de controle de 7, 14 e 21 dias de acordo com a norma ABNT NBR 12142, (ABNT, 12142)

A Tabela 4 apresenta o quantitativo de material utilizado para produção dos corpos de prova deste estudo.

Tabela 4 – Quantitativo de material utilizado para produção dos corpos de prova.

Porcentagem	Cimento	Ag. Graúdo	Ag. Miúdo	Re. Marmóre
0%	7,788 kg	46,464 kg	27,3 kg	0 kg
10%	7,788 kg	46,464 kg	24,57 kg	2,73 kg
20%	7,788 kg	46,464 kg	21,84 kg	5,46 kg

Fonte: Dados da pesquisa (2017)

A Figura 14 ilustra o ensaio de abatimento do tronco do cone.

Figura 14 – Abatimento do tronco do cone.



Fonte: Dados da pesquisa (2017)

O concreto foi preparado em betoneira, buscando a melhor homogeneização da mistura. A Figura 15, ilustra o processo.

Figura 15 – Material na betoneira após a pesagem.



Fonte: Dados da pesquisa (2017)

Em seguida, retirou-se a massa de concreto da betoneira (Figura 16) e efetuou a redistribuição uniforme para todos os corpos de prova. Utilizando-se, conforme a norma (ABNT NBR 5738, 2008), a aplicação de três camadas e em cada camada realizou-se o adensamento com 25 golpes.

Figura 16 – Massa de concreto.



Fonte: Dados da pesquisa (2017)

Após realizada a conformação dos corpos de prova (Figura 17), o desmolde (Figura 18) foi realizado no dia seguinte e colocados no tanque (Figura 19) para início do processo de cura nos intervalos de 7, 14 e 21 dias.

Figura 17 – Conformação dos corpos de prova.



Fonte: Dados da pesquisa (2017)

Figura 18 – Desmolde dos corpos de prova.



Fonte: Dados da pesquisa (2017)

Figura 19 – Corpos de prova no tanque para início do processo de cura.



Fonte: Dados da pesquisa (2017)

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1. Caracterização Química

A Tabela 5 apresenta os resultados obtidos para a caracterização química por fluorescência de raios-X do resíduo de mármore em pó.

Tabela 5 - Caracterização química por fluorescência de raios-X do resíduo de mármore.

Composição	PF	CaO	MgO	SiO ₂	K ₂ O	SO ₃	Outros
Resíduo de Mármore	34,13%	51,02	10,03	2,06	1,22	0,52	1,02

PF = PERDA AO FOGO

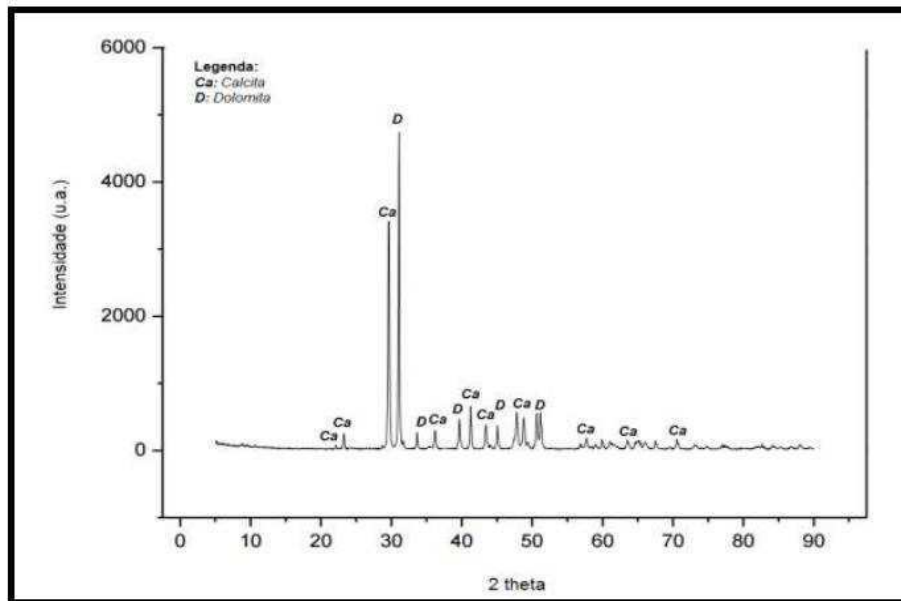
De acordo com os resultados apresentados na Tabela 5, verifica-se que o resíduo de pó de mármore apresenta em sua composição majoritária CaO (51%), MgO (10%) e SiO₂ (2%).

Verifica-se, que este resíduo apresenta composição característica de um material calcário dolomítico, exibindo teor de 10,03% de MgO, quanto pela relação MgO/CaO em torno de 0,19. Calcários dolomíticos apresentam teores de MgO entre 4,3% e 10,5% e relação MgO/CaO entre 0,08 e 0,25 (SANTOS, 1989). O resíduo apresenta também menores quantidades de dióxido de silício e óxido sulfúrico. Apresentando, ainda uma alta perda de massa na calcinação do resíduo de mármore de 34% correspondente à liberação do CO₂ dos carbonatos durante o aquecimento.

Rodrigues et al., 2011, realizou a caracterização de resíduo de mármore visando sua utilização na produção de materiais vítreos e obteve como principais componentes os óxidos de CaO (58%), MgO (31%).

A Figura 20 ilustra o difratograma de raios-X do resíduo de mármore em pó.

Figura 20 - Difratoograma de raios-X do resíduo de mármore em pó.



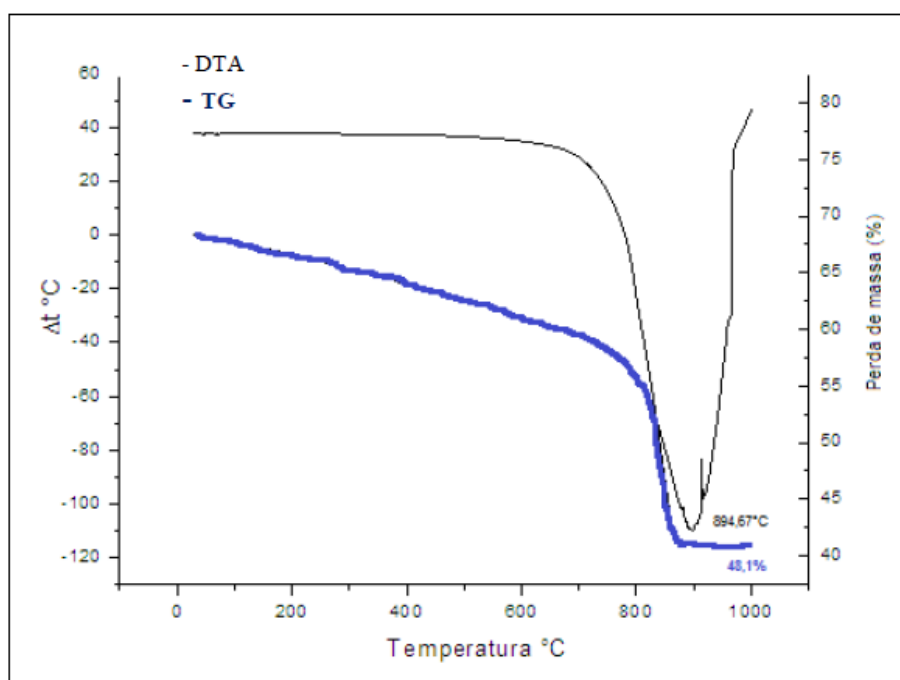
Fonte: Dados da pesquisa (2017)

De acordo com os resultados obtidos para o Difratoograma de raios-X do resíduo do mármore em pó, verifica-se a presença das fases mineralógicas: Calcita e Dolomita, principais constituintes das rochas carbonáticas.

Os resultados obtidos corroboram com valores alcançados por Almeida et al. (2015), ao caracterizar um resíduo de mármore em pó visando aplicação em materiais cerâmicos.

A Figura 21 ilustra as curvas de análise termodiferencial e termogravimétrica do resíduo de mármore em pó.

Figura 21 - Análise termodiferencial e termogravimétrica do resíduo de mármore.



Fonte: Dados da pesquisa (2017).

De acordo com os resultados ilustrados na a Figura 21, referente ao comportamento térmico do resíduo de mármore em pó, verifica-se a ocorrência de um pico endotérmico com um máximo em 894,67°C, referente a decomposição do Carbonato de Cálcio. De acordo com a curva termogravimétrica, observa-se que houve uma perda de 48,1%, equivalente a 36,31mg.

A Tabela 6 apresenta a composição granulométrica do resíduo de mármore em pó.

Tabela 6 - Composição granulométrica do resíduo de mármore em pó.

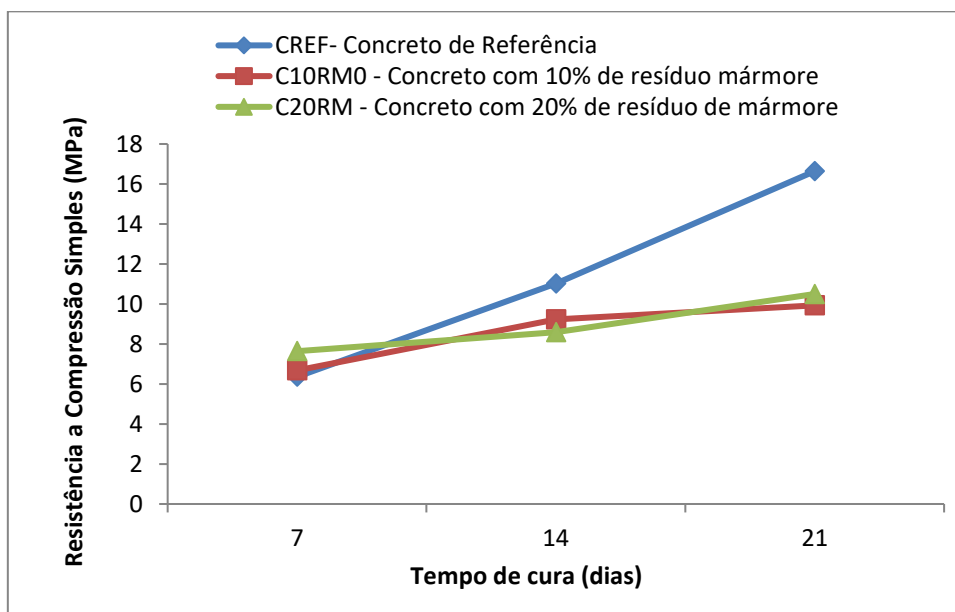
Amostra	Componentes %		
	Argila	Silte	Areia fina
Resíduo de mármore	4,6	95	0,4

Fonte: Dados da pesquisa (2017)

5.2. Caracterização Mecânica

A Figura 22 ilustra os resultados obtidos para o ensaio de determinação da resistência a compressão simples para os corpos de prova de referência, e com 10% e 20% de resíduo de mármore em pó.

Figura 22 - Resistência a compressão simples do concreto em estudo.



Fonte: Dados da pesquisa (2017).

De acordo com os resultados apresentados na Figura 22, verifica-se que a substituição do agregado miúdo convencional por resíduo de mármore, promoveu a redução da resistência a compressão simples para todas as idades de cura, quando comparada ao concreto de referência.

Observou-se aos 21 dias de cura, que a substituição do agregado miúdo convencional (área quartzosa) por resíduo de mármore ocasionou uma redução de resistência da ordem de 40,33% e 36,9% respectivamente para os teores de 10% e 20%.

Pedroso et al (2017) em seu estudo sobre concretos utilizando resíduo de corte de mármore e granito (RCMG) como substituição parcial do cimento Portland observou que, quanto maior a quantidade de adição do RCMG maior foi a resistência à compressão axial simples dos concretos. Esse aumento na resistência não foi muito considerável, porém pode-se afirmar que há um

grande ganho ambiental, visto que há uma diminuição nas emissões de CO₂ ao meio ambiente quando se substitui parte do cimento Portland por um resíduo industrial.

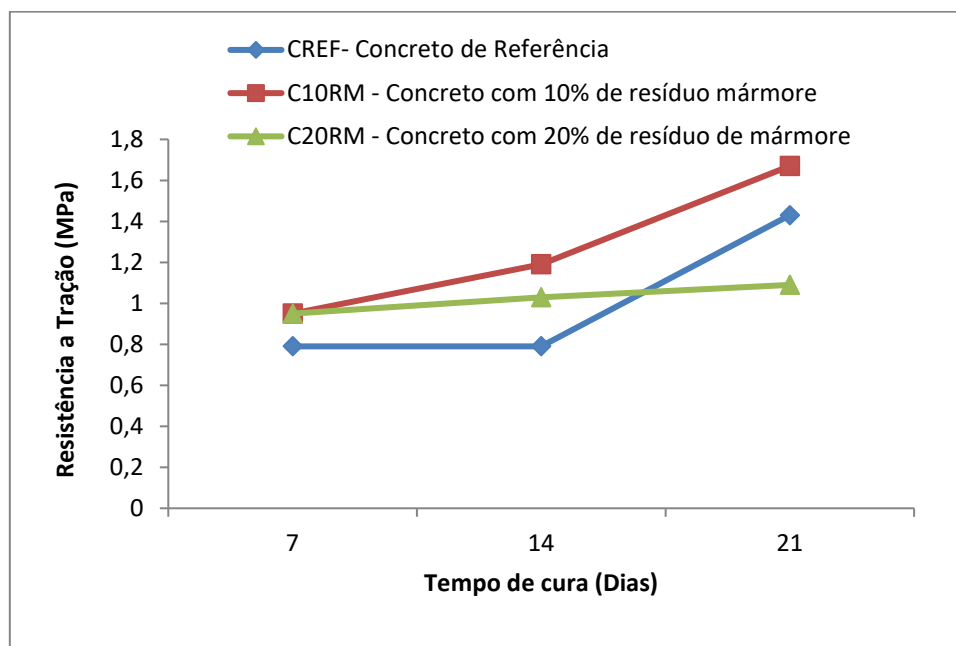
Jabotá (2015) estudou a resistência do concreto com substituição do cimento por resíduo de rocha ornamental, e, de acordo com os resultados obtidos, verificou que a substituição do cimento por resíduo de granito proporcionou a redução da resistência do concreto quando comparado aos resultados obtidos para o concreto de referência. Observou-se que os maiores percentuais de redução da resistência foram verificados para o teor de 15% de resíduo de granito em substituição ao cimento, evidenciando que quanto maior o teor de substituição menor será a resistência do concreto. Assim, pode-se inferir que houve falta de interação química entre o resíduo de granito e a pasta de cimento, ocasionando a redução da resistência mecânica do concreto. Para o teor de substituição de 10% verificou-se uma pequena redução da resistência, obtendo-se resultados de resistência muito próximos aos obtidos para o concreto de referência.

Moura et al (200), realizaram um estudo da utilização do resíduo de corte de mármore em argamassas, sendo incorporados teores de 5% e 10% de substituição do agregado miúdo. As produções das argamassas foram produzidas de com a NBR 7215/1996. Foram utilizadas as idades de 7 e 28 dias para rompimento do corpo de prova. Na argamassa não foi utilizado cal, foi utilizado o cimento Portland CP I – 32 S e o agregado miúdo trata-se de um solo areno-siltoso, o traço utilizado foi de 1:6.

De acordo com a norma da ABNT NBR 6118/2014, aos 21 dias de cura o concreto deve apresentar resistência de 96% em relação à resistência requerida no projeto, assim os resultados obtidos neste estudo não satisfazem aos parâmetros normativos.

A Figura 23 ilustra os resultados obtidos para o ensaio de resistência a tração por compressão diametral para os corpos de prova de referência e com 10% e 20% de resíduo de mármore.

Figura 23 - Resistência à tração por compressão diametral.



Fonte: Dados da pesquisa (2017)

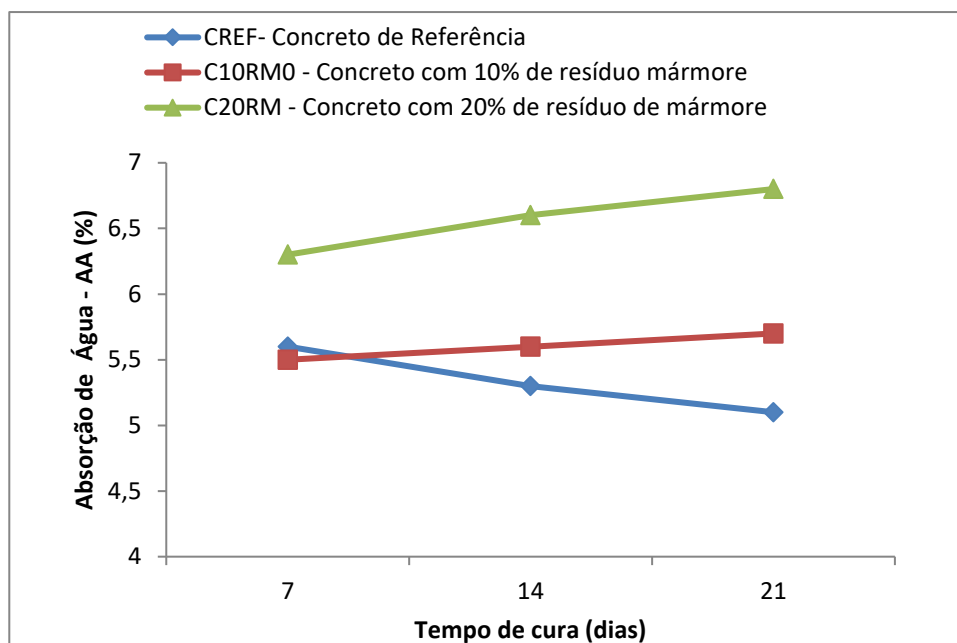
Conforme resultados obtidos, verifica-se o resíduo de mármore promoveu variações na resistência à tração por compressão diametral do concreto em estudo, no entanto os valores obtidos indicam que o teor de substituição de 10% promoveu a melhoria desta propriedade.

De acordo com Nóbrega (2015), O resíduo de corte de mármore e granito possui grande potencial para adição a matrizes cimentícias, pois apresenta grande estabilidade e resistência à abrasão. Sua composição química indica compatibilidade com as matrizes cimentícias, e sua forma granular com elevada finura o torna um material com bom potencial para utilização como adição mineral em concretos e argamassas.

Pedroso *et al.*,(2017) verificou que a resistência à compressão simples para o concreto de traço piloto foi de 31,4MPa, quando houve substituição de 10% do cimento Portland pelo RCMG a resistência foi de 31,8MPa, para 15% de substituição 32,1MPa e para 20% de substituição 32,7MPa. Pode-se observar que não houve grande ganho de resistência, porém há um grande ganho ambiental, visto que há uma diminuição nas emissões de CO₂ ao meio ambiente quando se substitui parte do cimento Portland por um resíduo industrial.

A Figura 24 ilustra os resultados obtidos para a absorção de água dos corpos de prova de concreto utilizados neste estudo.

Figura 24 – Resultados obtidos para a absorção.



Fonte: Dados da pesquisa (2017)

De acordo com a Figura 24, observa-se que o resíduo de mármore quando em substituição ao agregado miúdo promoveu em leve aumento da absorção de água do concreto.

Concretos com maior índice de vazios estão mais propensos ao surgimento de trincas, defeitos e conseqüentemente a uma menor resistência a compressão simples.

Neto (2017) avaliou a absorção de argamassas incorporadas com resíduo de mármore e verifica-se que a incorporação do resíduo de mármore em pó proporcionou o aumento da absorção da argamassa quando comparada a argamassa de referência, obtendo para o teor de substituição de 10% de agregado miúdo por resíduo de mármore um aumento de absorção de 12,68% aos 28 dias. Para o teor de absorção de 20% de substituição, verifica-se um aumento de absorção de 13,52%.

Barros (2006) observou que a absorção e índice de vazios dos concretos com RCMG apresentou um leve aumento com o aumento de idade de cura, o que precisa ser melhor estudado visando melhorar esta propriedade.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base nos resultados obtidos, pode-se considerar que:

- O resíduo de mármore apresenta uma composição química similar a matérias-primas convencionais utilizadas na construção civil para produção de concretos e argamassas; as fases mineralógicas presentes no resíduo de mármore são Calcita e Dolomita; sua granulometria assemelha-se a do cimento e de outras matérias-primas utilizadas na construção civil. Do ponto de vista granulométrico, o resíduo de pó de mármore estudado é rico em partículas nas frações silte;
- A utilização do resíduo de mármore em concreto, visando à substituição parcial do agregado miúdo contribui significativamente para redução do descarte deste material no meio ambiente, além de agregar valor ao resíduo indesejável;
- Apesar da resistência a compressão não ter sido atendida pela norma, devido a problemas de moldagem e/ou manuseio da prensa, o resíduo de mármore apresenta características favoráveis a serem utilizados como insumo na construção civil.
- Com o uso do resíduo de pó de mármore na construção, haverá uma significativa redução do despejo inadequado deste material, que diminuirá o impacto ao meio ambiente.
- De acordo com os resultados apresentados, verifica-se a redução da resistência a compressão simples para todas as idades de cura, quando comparada ao concreto de referência.
- Conforme resultados obtidos, verifica-se o resíduo de mármore promoveu variações na resistência à tração por compressão diametral do concreto em estudo, no entanto os valores obtidos indicam que o teor de substituição de 10% promoveu a melhoria desta propriedade.
- De acordo com os resultados, observa-se que o resíduo de mármore promoveu em leve aumento da absorção de água do concreto.

7 SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS

- Modificação do teor de resíduo de pó de mármore para análise da resistência à compressão simples;
- Determinação do módulo de elasticidade do concreto com adição de resíduo pó de mármore em diferentes teores de substituição agregado miúdo.
- Avaliação da resistência à compressão do concreto aditivado com resíduo de pó de mármore em substituição parcial ao cimento;

REFERÊNCIAS

ABNT NBR 5738:2008 - Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova.

ABNT NBR 5739:2007 – Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos.

ABNT NBR 6118:2014 – Projeto de estruturas de concreto – Procedimento.

ABNT NBR 7211:2009 – Agregados para Concreto - Especificações

ABNT NBR 7215:1996 - Cimento Portland - Determinação da resistência à compressão.

ABNT NBR 8953:2015 Concreto para fins estruturais. 3ª Ed. 2015.

ANBT NBR 9778:2005 - Argamassas e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica.

ABNT NBR 12142:2010 - Concreto – Determinação da resistência à tração na flexão em corpos de prova prismáticos.

ALMEIDA, L. C.; Notas de aula da disciplina: Estruturas IV - Concreto Armado. Universidade Estadual de Campinas, 2002.

ALMEIDA, T. F.; **Reaproveitamento de resíduo de pó de mármore e chamote na produção de material cerâmico para isolamento térmica.** Dissertação de Mestrado apresentada ao Centro de Ciência e Tecnologia, da UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE FLUMINENSE DARCY RIBEIRO – UENF, 2014.

ALMEIDA, R. R. 2015. **Reaproveitamento de resíduo de pó de mármore e chamo-te na produção de material cerâmico para isolamento térmica.** Campos dos Goytacazes: Universidade Estadual do Norte Fluminense, 2014. Dissertação de Mestrado.

ANGULO, S. C.; ULSEN, C.; JOHN, V. M.; KAHN, H.; CINCOTTO, M. A. Chemical–mineralogical characterization of C&D waste recycled aggregates from São Paulo, Brazil. **Waste Management.** v. 29, p. 721-730, 2009.

ARRIVABENE, D.; ALVES, G. F. **Estudo da utilização de resíduo de mármore como dessulfurante de ferro gusa.** 2008. 78 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso Superior de Tecnologia em Processos Metalúrgicos) – Centro Federal de Educação Tecnológica do Espírito Santo, Vitória, 2008.

ASSUNÇÃO, J. W.; **Curvas de dosagem para concretos convencionais e aditivados confeccionados com materiais da região noroeste do Paraná.** Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.

BARROS, A. R. **Estudo das propriedades de durabilidade do concreto auto-adensável,** 2006. 137 f. Monografia de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Alagoas, Maceió, Alagoas, 2006.

BATISTA, W. R. R. F.; **Avaliação da Resistência à Compressão do Concreto com Adição de Resíduo Oleoso de Petróleo** – Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado a Universidade Federal de Campina Grande, 2016.

BERTULINO, L. C.; PALERMO, N.; BERTOLINO, A. V. F. A.; Geologia, capítulo 4. **Manual de Agregados para Construção Civil,** 2ª Edição. Rio de Janeiro CETEM/MCTI, 2012.

BOGGIO, A. J.; **Estudo comparativo de métodos de dosagem de concreto de Cimento Portland**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2000.

BRANDÃO, A. C. L. **Análise de características do concreto com adição de raspas de pneu e pó de mármore**. São Paulo, 2013.

CARVALHO, R. C.; Cálculo e detalhamento de estruturas usuais de concreto armado: segundo a NBR 6118:2014 / Roberto Chust Carvalho, Jasson Rodrigues de Figueiredo Filho. – 4ª Ed. – São Carlos: EdUFSCar, 368p, 2014.

CICHINELLI, G. C.; Álcali-agregado: reação perigosa. **Revista Techne**. 2010.

COLLATTO, D.; BERGMANN, C. P.; (2009) Emprego de resíduo de celulose da indústria de papel como matéria prima para fabricação de material cerâmico. **Revista Cerâmica Industrial**, v. 13, n. 3, p. 30-35.

DESTEFANI, A. Z. **Utilização do planejamento experimental na adição do resíduo do beneficiamento de rochas ornamentais para produção de blocos prensados de encaixe**. Dissertação (Mestrado). Universidade Estadual do Norte Fluminense. Campos dos Goytacazes, 2009

FELIPE-SESÉ, M., ELICHE-QUESADA, D., CORPAS-IGLESIAS, F.A., The use of solid residues derived from different industrial activities to obtain calcium silicates for use as insulating construction materials, **Ceramics International**, 2011, In press.

FILHO, C. C.; CHIODI, D. K.; **O Setor de Rochas Ornamentais no Brasil**. CENTRO DE TECNOLOGIA MINERAL – CETEM, 2014.

FILHO, C. C.; CHIODI, D. K.; **Rochas Ornamentais e de Revestimento – Desenvolvimento de Estudos Para Elaboração do Plano Duodecenal (2010-2030) de Geologia, Mineração e Transformação Mineral**. J. MENDO CONSULTORIA, 2009.

FREITAS, C.; GALVÃO, J.C. A.; PORTELLA, K. F.; JOUKOSKI, A.; GOMES FILHO, C. V.; FERREIRA, E. S. Desempenho físico-químico e mecânico de concreto de cimento Portland com borracha de estireno-butadieno reciclada de pneus. **Química Nova**. v. 32, p. 913-918, 2009.

GALVÃO, J. C. A.; PORTELLA, K. F.; JOUKOSKI, A.; LOBO, L. F. M.; Concreto com Adição de Materiais Poliméricos Reciclados. In: **50º Congresso Brasileiro do Concreto**. Anais... Salvador: Ibracon, 2008.

GALVÃO, J. C. A.; **Uso de materiais poliméricos reciclados em estruturas de concreto para superfícies hidráulicas** – Tese aprovada de Doutorado no curso de Pós-Graduação em Engenharia e Ciências dos Materiais, Setor de Tecnologia da Universidade Federal do Paraná – UFPR, 2010.

GONÇALVES, Micheli Silveira. **Análise da viabilidade técnica de utilização de resíduos de concreto oriundos da pré-fabricação como agregado graúdo para a produção de novos concretos**. Dissertação (mestrado) — Universidade do Vale do Rio dos Sinos, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, 2011.

GUERRA, I.; VIVAR, I.; LLAMAS, B.; JUAN, A.; MORAN, J. Eco-efficient concretes: The effects of using recycled ceramic material from sanitary installations on the mechanical properties of concrete. **Waste Management**. v. 29, p. 643-646, 2009.

ISMAIL Z. Z.; AL-HASHMI, E. A. Use of waste plastic in concrete mixture as aggregate replacement. **Waste Management**. v. 28, p. 2041-2047, 2008.

JATOBA, R. F.. **Estudo da Resistencia do concreto com substituição do cimento por resíduo de granito**, Trabalho de Conclusão de curso, Universidade Federal de Campina Grande, 2015.

KHALOO, A.; DEHESTANI, M.; RAHMATABADI, P. Mechanical properties of concrete containing a high volume of tire–rubber particles. **Waste Management**. v. 28, p. 2472–2482, 2008.

LUZ, A. B.; ALMEIDA, S. L. M. – Manual de Agregados para Construção civil, 2ª Edição. Rio de Janeiro: CETECM/MCTI, 2012.

MANHÃES, J. P. V. T.; HOLANDA, J. N. F. (2008) Caracterização e classificação de resíduo sólido de “pó de rocha granítica” gerado na indústria de rochas ornamentais. **Química Nova**, vol. 31, nº. 6, 1301-1304p.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M.; Concreto: estrutura, propriedades e materiais. **IBRACON**, São Paulo, 2008.

MEHTA, P. K.; Concreto: estrutura, propriedades e materiais / P. K. Mehta, Paulo J. Monteiro. Editora Pini. São Paulo, 1994.

MENDONÇA, Ana Maria Gonçalves. D.; **Determinação da durabilidade do concreto dosado com pet micronizado: ataque por ação da chuva**. ANAIS DO 58º CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO - CBC2016 – 58CBC2016, 2016.

MENDONÇA, A. M. G.D. **Expansão por Umidade (EPU) em peças cerâmicas obtidas com massas cerâmicas alternativas contendo resíduo de caulim e granito**. Tese (Doutorado em Ciências e Engenharia de Materiais), 108 fls, Universidade Federal de Campina Grande-PB, Campina Grande-PB, 2012.

MOURA, Washington A.; GONÇALVES, Jardel P.; LEITE, Roneison da Silva. **Utilização do resíduo de corte de mármore e granito em argamassas de revestimento e confecção de lajotas para piso**. 49 - 61 p. Artigo - Universidade Estadual de Feira de Santana – Dep. de Tecnologia, 2002, Feira de Santana - BA.

NEVILLE, A. M; BROOKS, J. J. Tecnologia do Concreto. 2ª Ed. São Paulo: Brookman Editora LTDA, 2010.

NETO, V. A. M. **Determinação das propriedades físicas da argamassa incorporada com resíduo de mármore em pó**, Trabalho de Conclusão de curso, Universidade Federal de Campina Grande, 2017.

NOBREGA, A. K. C. et al. Caracterização do resíduo de pó de pedra ornamental adicionado à argamassa em substituição parcial ao cimento. Blucher Chemical Engineering Proceedings, v. 1, n. 2, p. 13172-13179, 2015. ISSN 2359-1757.

PEDROSO, F. L.; **Revista CONCRETO & Construções**, Revista Oficial do IBRACON, 2009.

PEDROSO, D. E.; PEDROSO, C. L; FILHO, J. S. R.; LIMA, E. P. Concretos utilizando resíduo de corte de mármore e granito (RCMG) como substituição parcial do cimento Portland, VII Congresso Brasileiro de Engenharia de Produção, Ponta Grossa-PR, 2017.

PETRUCCI, E. G. R.; Concreto de Cimento Portland – 13ª ed. Rev./ por Vladimir Antônio Paulon. – São Paulo: Globo, 1998.

PINHEIRO, L. M.; **Fundamentos do Concreto e Projetos de Edifícios**. Universidade de São Paulo – Escola de Engenharia de São Carlos, 2010.

RODRIGUES, G.F., ALVES, J.O., TENÓRIO, J. A. S., ESPINOSA, D. C. R. **Estudo de resíduos de rochas ornamentais para a produção de materiais vítreos**. Technol. Metal. Mater. Miner., São Paulo, v. 8, n. 3, p. 203-207, jul.-set. 2011. Disponível em: <<http://tecnologiammm.com.br/files/v8n3/v8n3a10.pdf>>. Acesso em: 09. abril.2017.

SANGALLI, T.; BRITES, B. G.; NEIVOCK, M. P.; FORMAGINI S.; Confecção de concreto autoadensável com a utilização do resíduo proveniente do beneficiamento de granito e mármore. Anais do 55º Congresso Brasileiro do Concreto – IBRACON, 2013.

SANTOS, P.S.; Ciência e Tecnologia de Argilas, Ed. Edgard Blucher Ltda, São Paulo, 1989, Vol. 1.

SETEC – Secretaria de educação profissional e tecnológica. (2007) Rochas Ornamentais – **Ornamental rocks**. Ministério da Educação. Brasília – DF. 28 p

VARELA, W. D.; Estruturas de Concreto Armado. Centro Universitário Augusto Motta – UNISUAM, 2012.

ANEXOS

A Tabela 7 indica a resistência dos corpos de prova com 10% de adição de resíduo de pó de mármore.

Tabela 7 – Resistência dos corpos de prova com 10% de aditivo.

Corpo de prova N°	Data de moldagem	Peça Concretada (Concreto de referência)	Idade (Dias)	Resistência (MPa)
01	13/11/2017	Tração	7	1,115
02	13/11/2017	Tração	7	0,796
03	13/11/2017	Compressão	7	5,73
04	13/11/2017	Compressão	7	7,64
05	13/11/2017	Tração	14	1,433
06	13/11/2017	Tração	14	0,955
07	13/11/2017	Compressão	14	8,91
08	13/11/2017	Compressão	14	9,55
09	13/11/2017	Tração	21	1,752
10	13/11/2017	Tração	21	1,592
11	13/11/2017	Compressão	21	9,68
12	13/11/2017	Compressão	21	10,19

Fonte: Autor.

A Tabela 8 indica a resistência dos corpos de prova com 20% de adição de resíduos de pó de mármore.

Tabela 8 – Resistência dos corpos de prova com 20% de aditivo.

Corpo de prova N°	Data de moldagem	Peça Concretada (Concreto de referência)	Idade (Dias)	Resistência (MPa)
01	16/11/2017	Tração	7	0,955
02	16/11/2017	Tração	7	0,955
03	16/11/2017	Compressão	7	7,64
04	16/11/2017	Compressão	7	7,64
05	16/11/2017	Tração	14	0,796
06	16/11/2017	Tração	14	1,274
07	16/11/2017	Compressão	14	8,28
08	16/11/2017	Compressão	14	8,91
09	16/11/2017	Tração	21	1,159
10	16/11/2017	Tração	21	1,032
11	16/11/2017	Compressão	21	10,82
12	16/11/2017	Compressão	21	10,19

Fonte: Autor.

Tabelas de absorção

Para o concreto de referência, tem-se os seguintes valores do ensaio de absorção na Tabela 9:

Tabela 9 – Ensaio de absorção para os corpos de prova de referência.

Dias	Peso Bruto Úmido (g)	Peso Bruto Seco (g)	Diminuição do teor de água (%)
7	1245,8	1175,0	5,6
7	1184,12	1116,6	5,7
14	1813,4	1714,2	5,4
14	1336,6	1266,0	5,2
21	947,0	901,6	4,7
21	665,3	629,0	5,4

Fonte: Autor.

Para o concreto com adição de 10% de pó de mármore tem-se os seguintes valores na Tabela 10:

Tabela 10 – Ensaio de absorção para os corpos de prova com 10% de aditivo.

Dias	Peso Bruto Úmido (g)	Peso Bruto Seco (g)	Diminuição do teor de água (%)
7	1691,1	1592,5	5,83
7	1845,4	1749,3	5,21
14	797,6	748,9	6,11
14	910,1	862,9	5,19
21	634,6	601,1	5,28
21	962,3	903,9	6,07

Fonte: Autor.

Para o concreto com adição de 20% de pó de mármore tem-se os seguintes valores na Tabela 11:

Tabela 11 – Ensaio de absorção para os corpos de prova com 20% de aditivo.

Dias	Peso Bruto Úmido (g)	Peso Bruto Seco (g)	Diminuição do teor de água (%)
7	763,9	709,8	7,08
7	1038	974,6	6,11
14	773,3	717,6	7,20
14	838,7	776,9	7,37
21	1031,4	968,5	6,10
21	560,9	528,2	5,83

Fonte: Autor.

Na Figura 25 temos a preparação do corpo de prova para o ensaio de compressão simples.

Figura 25 – Corpo de prova para o ensaio de compressão simples.



Fonte: Autor.

Na Figura 26 temos o corpo de prova após a realização do ensaio de compressão.

Figura 26 – Corpo de prova após a realização do ensaio de compressão.



Fonte: Autor.

Na Figura 27 temos a preparação do corpo de prova para o ensaio de tração por compressão diametral.

Figura 27 – Corpo de prova para o ensaio de tração por compressão diametral.



Fonte: Autor.

Na Figura 28 temos o corpo de prova após a realização do ensaio de tração por compressão diametral.

Figura 28 – Corpo de prova após a realização do ensaio de compressão.



Fonte: Autor.