



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
CENTRO MULTIDISCIPLINAR DE PAU DOS FERROS
BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

ISIS DOS SANTOS COSTA

**ESTUDO DE VIABILIDADE PARA UTILIZAÇÃO DE CONCRETO, COM
INCORPORAÇÃO DA MUCILAGEM DE PALMA FORRAGEIRA, EM
MUROS DE ARRIMO POR GRAVIDADE**

PAU DOS FERROS
JANEIRO DE 2020

ISIS DOS SANTOS COSTA

**ESTUDO DE VIABILIDADE PARA UTILIZAÇÃO DE CONCRETO, COM
INCORPORAÇÃO DA MUCILAGEM DE PALMA FORRAGEIRA, EM
MUROS DE ARRIMO POR GRAVIDADE**

Monografia apresentada à Banca Examinadora do Curso de Engenharia Civil, da Universidade Federal Rural do Semi-Árido em cumprimento às exigências legais como requisito parcial à obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. José Henrique Maciel de Queiroz (UFERSA – Centro Multidisciplinar de Pau dos Ferros)

PAU DOS FERROS

JANEIRO DE 2020

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
CENTRO MULTIDISCIPLINAR DE PAU DOS FERROS

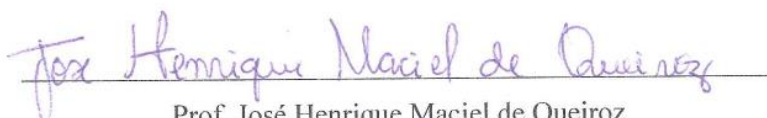
**ESTUDO DE VIABILIDADE PARA UTILIZAÇÃO DE CONCRETO,
COM INCORPORAÇÃO DA MUCILAGEM DE PALMA FORRAGEIRA,
EM MUROS DE ARRIMO POR GRAVIDADE**

ISIS DOS SANTOS COSTA

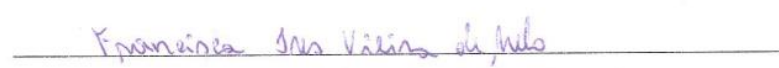
Monografia apresentada à Banca
Examinadora do Curso Engenharia Civil,
da Universidade Federal Rural do Semi-
Árido em cumprimento às exigências
legais como requisito parcial à obtenção
do grau de Bacharel em Engenharia Civil.

Aprovado em: 24 de janeiro de 2020

Banca Examinadora:


Prof. José Henrique Maciel de Queiroz
(Presidente – UFERSA)


Prof. Dr. Matheus Fernandes de Araújo Silva
(Membro examinador – UFERSA)


Prof.ª Esp. Francisca Ires Vieira de Melo
(Membro examinador – UFERSA)

Pau dos Ferros, 24 de janeiro de 2020.

© Todos os direitos estão reservados à Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996, e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tornar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Biblioteca Centro multidisciplinar de Pau dos Ferros (BCPDF)
Setor de Informação e Referência (SIR)

C837e	Costa, Isis dos Santos. ESTUDO DE VIABILIDADE PARA UTILIZAÇÃO DE CONCRETO, COM INCORPORAÇÃO DA MUCILAGEM DE PALMA FORRAGEIRA, EM MUROS DE ARRIMO POR GRAVIDADE / Isis dos Santos Costa. - 2020. 93 f. : il. Orientador: José Henrique Maciel de Queiroz . Monografia (graduação) - Universidade Federal Rural do Semi-árido, Curso de Engenharia Civil, 2020. 1. Concreto. 2. Qualidade. 3. Aditivos. 4. Cacto. 5. Mucilagem . I. Queiroz , José Henrique Maciel de, orient. II. Título.
-------	---

Bibliotecário: Eugênio Pacelli Ferreira da Costa

CRB-15/658

DEDICATÓRIA

*Este trabalho é dedicado aos meus pais
Audilene dos Santos Costa e Rubiel de Souza Costa
pela compreensão e esforço em tornar meu sonho realidade,
e fazer deste, o sonho deles também. Pelo, amor, incentivo,
conselhos e especialmente pela força que sempre me
deram, quando somente a minha não era suficiente.
Por sempre confiar e acreditar na minha capacidade.*

AGRADECIMENTOS

Primeiro a Deus, que me abençoou grandiosamente durante a minha caminhada acadêmica, me proporcionando condições necessárias para alcançar esse sonho, não me desamparando em momento algum.

A minha família, meus pais, Audilene dos Santos Costa e Rubiel de Souza Costa, e minha irmã, Ilana Maria dos Santos Costa, por terem sido o meu alicerce, e mesmo longe na maioria do tempo, demonstrarem amor, cuidado e atenção. Obrigada por toda força, compreensão e proteção.

Ao meu namorado, Leohandson Santos da Silva, por estar comigo nos melhores e piores momentos, me motivando e apoiando quando foi necessário, colaborando sempre que precisei, a todo momento com muito amor.

Aos meus amigos, nos quais dividi muitos momentos ao decorrer dessa trajetória, e que se tornaram parte da minha história, uma segunda família. Juntos, superamos muitas dificuldades encontradas durante o curso.

Ao meu orientador, José Henrique Maciel de Queiroz, pela dedicação no desenvolvimento desse trabalho, por todo o seu tempo cedido a mim, para que os objetivos fossem atingidos conforme pressupomos.

A mim mesma, por ter superado as adversidades surgidas não só na elaboração desse trabalho, mas durante todo o período da graduação. Hoje sei, que superei meus próprios limites e aprendi ser alguém melhor sob diversos aspectos.

Por fim, a UFERSA, instituição que me acolheu tão calorosamente, e que me forneceu subsídios e oportunidades imprescindíveis para minha formação acadêmica e para o desenvolvimento dessa pesquisa. E aos membros da minha banca examinadora, pelo empenho e contribuição em prol do aprimoramento deste trabalho.

RESUMO

As características, propriedades e qualidade do concreto estão relacionadas com as proporções e padrões dos materiais que o compõe. Dessa maneira, muito tem se avançado na busca por insumos, na cadeia produtiva da construção civil, que possam aprimorar o seu desempenho. Os aditivos químicos, são largamente conhecidos pela sua eficiência de melhoria na qualidade do concreto em seus estados fresco e endurecido, porém, tratam-se de produtos onerosos, não acessíveis a todos. Sendo assim, buscou-se neste trabalho, estudar os efeitos da adição da mucilagem do cacto popularmente conhecido como Palma Forrageira, atuando como um aditivo em pó, em concretos, para verificação de viabilidade técnica de uso deste em estruturas de contenção do tipo muro de arrimo por gravidade, em virtude das limitações de sua aplicação, como por exemplo a necessidade de um grande volume de material construtivo, partindo-se do pressuposto que essa adição poderia produzir resultados semelhante a certos aditivos industrializados. Utilizou-se então, uma metodologia experimental, onde foram moldados dezesseis corpos-de-prova cilíndricos de dimensões 10 x 20 cm, dos quais quatro deles foram produzidos isentos da mucilagem, e os outros doze com adição da mucilagem em diferentes proporções (0,5%; 1%; e 1,5%) da massa de material cimentício utilizado para suas confecções. Com os corpos de prova moldados, estes foram submetidos a cura úmida por 28 dias, em seguida foram realizados ensaios para a determinação da resistência à compressão, peso específico e absorção de água por capilaridade. Os concretos aditivados apresentaram desempenho mais satisfatório do que o concreto isento da adição do pó do cacto Palma Forrageira, com relação ao ensaio de resistência a compressão axial, apresentando um ganho de resistência quando comparado ao concreto de referência de aproximadamente 9 %. Os resultados para o ensaio de absorção foram inconclusivos, em virtude de um comportamento atípico, o que inviabilizou notar a eficiência do aditivo nessas circunstâncias. Os pesos específicos dos concretos se mantiveram próximos, tanto para os concretos aditivados quanto para os isentos de adições. Dessa maneira, verificou-se que o aditivo do cacto é viável para aumentar a resistência a compressão do concreto.

Palavras-chave: Concreto. Qualidade. Aditivos. Cacto. Mucilagem.

ABSTRACT

The characteristics, properties and quality of the concrete are related to the proportions and standards of the materials that compose it. This way, much has been done in the search for inputs in the civil construction production chain that can improve its performance. Chemical additives are widely known for their efficiency in improving the quality of concrete in its fresh and hardened states, however, they are expensive products, not accessible to everyone. Therefore, it was sought in this work, to study the effects of adding the mucilage of the cactus popularly known as Palma Forrageira, acting as a powder additive, in concrete, to verify the technical viability of its use in retaining structures of the type of gravity strength wall, due to the limitations of its application, for example the need for a large volume of construction material, assuming that this addition could produce results similar to certain industrialized additives. An experimental methodology was then used, in which sixteen cylindrical specimens of dimensions 10 x 20 cm were molded, of which four were produced free of mucilage, and the other twelve with the addition of mucilage in different proportions (0,5%; 1%; and 1.5%) of the mass of cementitious material used for their production. With the molded specimens, they were subjected to wet curing for 28 days, then tests were performed to determine the resistance to compression, specific weight and water absorption by capillarity. The concrete with additives showed a more satisfactory performance than the concrete without the addition of the powder of the Palma Forrageira cactus, in relation to the axial compression resistance test, presenting a gain of resistance when compared to the reference concrete of approximately 9%. The results for the absorption test were inconclusive, due to an atypical behavior, which made it impossible to notice the efficiency of the additive in these circumstances. The specific weights of the concretes remained close, both for the additive concretes and for those exempt from additions. Thus, it was found that the cactus additive is viable to increase the compressive strength of concrete.

Keywords: Concrete. Quality. Additions. Cactus. Mucilage.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Classificação do concreto em relação a utilização da armadura.....	28
Figura 2: Propriedades do concreto.....	31
Figura 3: Terminologia dos componentes de um muro de arrimo	36
Figura 4: Principais tipos de muros de contenção.....	36
Figura 5: Elementos de drenagem em um muro de arrimo	37
Figura 6: Elementos drenantes em muro de arrimo por gravidade	37
Figura 7: Perfis para muros de arrimo por gravidade.....	38
Figura 8: Diversidade de cactaceae no Brasil	39
Figura 9: Espécies de cactos dominantes no Nordeste brasileiro: (a)Mandacuru; (b) Palma; (c) Facheiro	39
Figura 10: Pirâmides de Teotihuacán, no México	41
Figura 11: Fases para o desenvolvimento do trabalho	43
Figura 12: Cimento utilizado na pesquisa	47
Figura 13: Localização do município de São José do Sabugí-PB, através do software QGIS.....	48
Figura 14: Rio no Sítio Carnaubinha - Localidade de onde foi retirada a areia para confecção do concreto	48
Figura 15: Localização do município de Pau dos Ferros-RN, através do software QGIS	49
Figura 16: Cacto do gênero Opuntia em São José do Sabugí-PB	50
Figura 17: (a) Amostra da areia, (b) amostra em estufa, (c) amostra seca.....	51
Figura 18: Procedimento: (a) Pesagem da amostra, (b) água no frasco de Chapman, (c) leitura final do volume de água deslocado.....	52
Figura 19: Procedimento para obtenção da massa unitária da areia - (a) massa do recipiente, (b) massa do conjunto.....	52
Figura 20: Agregado graúdo - (a) amostra, (b) amostra lavada, (c) amostra seca	54
Figura 21: Massa específica da brita - (a) amostra sendo secada superficialmente, (b) massa saturada de superfície seca, (c) massa saturada de superfície seca submersa	54
Figura 22: Procedimento para a massa unitária compactada da brita - (a) 1/3 do volume, (b) golpes com haste de socamento, (c) pesagem da amostra compactada.....	55
Figura 23: Raquetes de palma forrageira utilizadas no processo de mucilagem	56
Figura 24: Raquete do cacto sendo cortada.....	57
Figura 25: Pedacos cortados do cacto inseridos na Estufa.....	57

Figura 26: Cacto Opuntia Ficus Indica desidratado: (a) e (b) na Estufa durante o processo de desidratação, (c) fora da Estufa após 48 horas, totalmente desidratado	57
Figura 27: MOFI - (a) triturando o cacto no liquidificador, (b) volume total do cacto triturado, (c) peneiramento da MOFI e (d) MOFI finalizado	58
Figura 28: Mistura prévia dos materiais secos (cimento, areia e MOFI)	60
Figura 29: Corpos de prova moldados	61
Figura 30: Corpos de prova em cura úmida	61
Figura 31: Ensaio de absorção de água por capilaridade - (a) suporte utilizado, (b) realização do ensaio	63
Figura 32: Ensaio de compressão axial do concreto	64
Figura 33: Curva granulométrica da areia	67
Figura 34: Curva granulométrica da brita	71
Figura 35: Peso específico dos concretos em função do tipo	73
Figura 36: Absorção média de água por capilaridade em função do tempo para cada tipo de concreto	74
Figura 37: Comportamento do ensaio de absorção média de água por capilaridade em função do tempo para cada tipo de concreto	75
Figura 38: Resistência média a compressão dos concretos	77

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Designação normalizada, sigla e classe do cimento Portland	26
Tabela 2: Classificação do concreto quanto a sua massa específica	29
Tabela 3: Classificação do concreto com base em seu peso específico	29
Tabela 4: Classe de resistências dos concretos estruturais	30
Tabela 5: Características físicas do cimento.....	46
Tabela 6: Limites de distribuição granulométrica do agregado miúdo	51
Tabela 7: Medidas do recipiente utilizado no ensaio	52
Tabela 8: Limites de distribuição granulométrica do agregado miúdo	54
Tabela 9: Dimensões do recipiente utilizado no ensaio	55
Tabela 10: Traço, nomenclatura dos concretos e quantidade de aditivo incorporado.....	59
Tabela 11: Quantidade de materiais utilizados em cada concreto.....	59
Tabela 12: Massa dos corpos de prova.....	62
Tabela 13: Massas dos CP's em 3h, 6h, 24h, 48h e 72 da realização do ensaio de absorção de água por capilaridade.....	63
Tabela 14: Resultados do ensaio de massa específica da areia	65
Tabela 15: Resultados do ensaio de massa unitária da areia	66
Tabela 16: Resultados do ensaio de granulometria da areia.....	67
Tabela 17: Resultados da caracterização física da areia.....	68
Tabela 18: Resultados do ensaio de massa específica da brita.....	70
Tabela 19: Resultados do ensaio de massa unitária compactada	70
Tabela 20: Resultado do ensaio de granulometria da brita	71
Tabela 21: Resultados da caracterização física da brita	72
Tabela 22: Peso específico dos concretos	72
Tabela 23: Valores da absorção média da água por capilaridade.....	74
Tabela 24: Resultados de resistência a compressão dos concretos	77

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Tipos de concreto fornecido atualmente pelas centrais de concretos	30
Quadro 2: Designação normalizada dos aditivos	34
Quadro 3: Classificação Taxonômica da Palma Forrageira	40
Quadro 4: Caracterização física da areia.....	50
Quadro 5: Caracterização física da brita	53

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

IBI	- Instituto Brasileiro de Impermeabilização
ABCP	- Associação Brasileira de Cimento Portland
ABNT	- Associação Brasileira de Normas Técnicas
NBR	- Norma Brasileira Regulamentadora
ARI	- Alta Resistência Inicial
RS	- Resistente a Sulfatos
BC	- Baixo Calor de hidratação
CP I	- Cimento Portland comum
CP II	- Cimento Portland Composto
CP III	- Cimento Portland de alto forno
CP IV	- Cimento Portland pozolânico
CP V	- Cimento Portland de alta resistência inicial
CP B	- Cimento Portland Branco
ACI	- American Concrete Institute
C	- Concreto normal
CL	- Concreto Leve
CD	- Concreto Denso ou pesado
ASTM	- American Society for Testing and Materials
DER	- Departamento de Estradas de Rodagem
ICMBio	- Instituto Chico Mendes
OFI	- Opuntia Ficus-Indica
MAPA	- Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
MOFI	- Mucilagem do cacto Opuntia Ficus-Indica
CAERN	- Companhia de água e Esgotos do Rio Grande do Norte
UFERSA	- Universidade Federal Rural do Semi-Árido
CMPF	- Centro Multidisciplinar de Pau dos Ferros
QGIS	- Quantum Gis
IBGE	- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
B1	- Brita tipo 1
REF	- Referência
CP's	- Corpos de Prova
a/c	- Relação Água Cimento
MF	- Módulo de Finura

LISTA DE SÍMBOLOS

%	-	Por cento
MPa	-	Megapascal
C_3A	-	Aluminato de Cálcio
mm	-	Milímetros
kg/m^3	-	Quilograma por metro cúbico
tf/m^3	-	Tonelada força por metro cúbico
f_{ck}	-	Resistência característica a compressão
g/cm^3	-	Grama por centímetro cúbico
g	-	Grama
cm^3	-	Centímetro cúbico
$^{\circ}C$	-	Grau Celsius
kg	-	Quilograma
μm	-	Micrometros
ml	-	Mililitro
cm	-	Centímetros
m_{sat}	-	Massa saturada
H	-	Horas
KN	-	KiloNewton
V	-	Volt
W	-	Watt
μ	-	Mi
kg/dm^3	-	Quilograma por decímetro cúbico
γ	-	Gama
M_{ra}	-	Massa do conjunto recipiente mais amostra
M_r	-	Massa do recipiente
V_r	-	Volume do recipiente
M_s	-	Massa da amostra saturada de superfície seca
M_a	-	Massa da amostra saturada de superfície seca submersa
μ_{sss}	-	Massa específica do agregado seco
μ_{ap}	-	Massa específica aparente do agregado graúdo
$\gamma_{compactada}$	-	Massa unitária compactada do agregado graúdo
g/cm^2	-	Grama por centímetro quadrado
S_d	-	Desvio padrão
f_{cm}	-	Resistência de dosagem
l/m^3	-	Litro por metro cúbico
C_a	-	Consumo de água
C_c	-	Consumo de cimento
C_b	-	Consumo de brita
Vol_b	-	Volume de brita
δ_b	-	Massa unitária compactada da brita
c_m	-	Consumo de areia

γ_{areia}	-	Massa específica real da areia
v_m	-	Volume da areia
$\gamma_{cimento}$	-	Massa específica do cimento
γ_{brita}	-	Massa específica da brita
$\gamma_{água}$	-	Peso específico da água
vol_{cp}	-	Volume do corpo de prova

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	18
1.1 ESTRUTURA DO TRABALHO.....	21
2 OBJETIVOS.....	23
2.1 GERAL	23
2.2 ESPECÍFICOS	23
3 REFERENCIAL TEÓRICO	24
3.1 CONCRETO	24
3.1.1 Classificação	27
3.1.2 Propriedades	31
3.1.3 Aditivos	32
3.2 ESTRUTURAS DE CONTENÇÃO	34
3.2.1 Muro de arrimo.....	35
3.2.2 Muro de arrimo por gravidade.....	37
3.3 CACTÁCEAS.....	38
3.3.1 Palma forrageira.....	40
3.3.2 Uso na construção civil.....	41
4 METODOLOGIA	43
5 MATERIAIS E MÉTODOS.....	46
5.1 MATERIAIS	46
5.1.1 Cimento Portland.....	46
5.1.2 Areia.....	47
5.1.3 Brita	48
5.1.4 Água	49
5.1.5 Aditivo.....	49
5.2 MÉTODOS	50
5.2.1 Caracterização física do agregado miúdo.....	50
5.2.2 Caracterização física do agregado graúdo	53
5.2.3 Mucilagem do cacto Opuntia Ficus-Indica.....	56
5.2.4 Preparação dos concretos.....	58
5.2.5 Moldagem e cura dos corpos de prova.....	60
5.2.6 Ensaio no concreto	62
5.2.6.1 Peso específico	62
5.2.6.2 Absorção de água por capilaridade.....	62
5.2.6.3 Resistência à compressão axial	64
6 RESULTADOS E DISCUSSÃO	65
6.1 CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DO AGRAGADO MIÚDO	65
6.2 CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DO AGRAGADO GRAÚDO	68

6.3 PESO ESPECÍFICO DOS CONCRETOS.....	72
6.4 ABSORÇÃO DE ÁGUA POR CAPILARIDADE NOS CONCRETOS	73
6.5 RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO AXIAL DOS CONCRETOS	76
7.0 CONSIDERAÇÕES FINAIS	79
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	82
APÊNDICE A.....	88

1 INTRODUÇÃO

Estruturas de contenção de solos compõem uma significativa área da engenharia geotécnica, uma vez que são responsáveis por garantir a segurança de obras da engenharia civil, como a construção de casas, prédios, estradas, pontes, entre outras. Consequentemente, asseguram também as pessoas e a preservação do meio ambiente. Dessa forma, as estruturas de contenção devem garantir o equilíbrio de massas de solo (MATERA e ROMANEL, 2014).

Essas estruturas são quase sempre necessárias em obras de fundações, especialmente aquelas em que houve movimentação de terra. Sua utilização é constante em construções com criação de subsolos para estacionamento em residenciais, obras em que existiu cortes ou aterros e criação de plataformas. As contenções do terreno estão presentes em projetos de estradas, de pontes, de estabilização de encostas, de canalizações, de saneamento, de metrô, entre outros (VARELA, S.A.).

As estruturas de contenção são classificadas em rígidas e flexíveis. As rígidas são estruturas corridas verticais ou quase verticais, podendo serem construídas em alvenaria (tijolos ou pedras), concreto (simples ou armado) ou ainda de elementos especiais. As flexíveis, de acordo com o *Eurocode 7* (2004), são estruturas relativamente pouco espessas, que apresentam elevada resistência à flexão, dando o peso próprio da parede uma contribuição insignificante para a estabilidade da estrutura.

Os tipos mais comuns destas estruturas são: muro de gravidade, cortina de prancha, cortina de prancha embutida, cortina de prancha ancorada, parede de embasamento, parede de estribo de ponte, parede de solo reforçado e muro de tirantes ancorados (MATERA e ROMANEL, 2014).

Os muros de gravidade, estrutura que será analisada neste trabalho, são assim chamados, pois, sua “estabilidade deve-se ao seu peso próprio, talvez auxiliado pela resistência passiva desenvolvida na frente da parte anterior da base ou do pé (chamado em inglês de *toe*, ou ponta) do muro” (KNAPPET e CRAIG, 2016, p. 316).

Estes muros geralmente são feitos de concreto, material de construção muito comum, que segundo Neville e Brooks (2013, p. 2) trata-se de:

Qualquer produto ou massa produzido a partir de um meio cimentante. Geralmente esse meio é produto da reação entre cimento hidráulico e água, mas atualmente mesmo essa definição pode cobrir uma larga gama de produtos. O concreto pode ser produzido com vários tipos de cimento e também conter pozolanas, como cinza volantes, escória de alto-forno, sílica

ativa, adições minerais, agregados de concreto reciclado, aditivos e polímeros.

As propriedades e as características do concreto irão depender das proporções e qualidade dos materiais que o compõe. O principal componente do concreto é o cimento, que por ser quimicamente mais ativo, tem a finalidade de unir os agregados e contribui para atingir a resistência final desejada (CABRAL e AZEVEDO, 2016).

Nesse sentido, de acordo com Cabral e Azevedo (2016), existiu necessidade de melhorar algumas características do concreto, quando a demanda por mais qualidade e desempenho na estruturação de grandes obras passou a existir, ou seja, como a resistência, leveza, flexibilidade, custos, entre outras. Esse fato culminou no desenvolvimento de aditivos e incentivou a busca por outros tipos de materiais que, quando adicionados ao concreto, possam aprimorar seu desempenho.

Os aditivos geralmente são produtos químicos, adicionados à massa da composição do concreto, imediatamente antes ou durante a mistura, com a finalidade de melhorar as suas características em seu estado fresco e endurecido. Eles atuam nas propriedades reológicas do concreto e alteram as reações de hidratação do cimento. A utilização de aditivos proporciona uma melhoria na trabalhabilidade, modifica a viscosidade, atuam na retenção de água, aceleram ou retardam o tempo de pega, controlam o desenvolvimento de resistências mecânicas, diminuem a fissuração térmica, atenuam as consequências do ataque por sulfatos, entre outras propriedades (IBI, 2018).

No entanto, da mesma forma que o cimento, o aditivo possui um custo elevado por ser um produto industrializado. Chandra et al. (1998), apud, Costa (2014), onde a mesma enfatiza que antigamente a durabilidade de estruturas foi melhorada com a utilização de materiais orgânicos, os chamados polímeros naturais, facilmente encontrados localmente e que, por isso, não se tornavam caros.

Dessa forma, a família de cactáceas, espécie de plantas encontradas principalmente em locais áridos e semiáridos, surge como um possível material a ser adicionado no concreto para melhoria de suas propriedades. Estudos atuais já demonstram sua viabilidade na utilização de argamassas, portanto, desperta um interesse de analisar sua contribuição também para outros materiais de construção, como o concreto.

Inserida na família de cactáceas, a palma forrageira é rica em água e detém de baixa concentração de matéria seca. Quando processada fornece uma mucilagem bastante espessa capaz de tornar-se um veículo de dispersão de materiais pulverulentos. Essa característica da mucilagem da palma é conhecidamente utilizada na pintura com cal (caiação) e na estabilização

de construções com terra (OLIVEIRA, 2018).

A mucilagem (sumo) do cacto *Opuntia ficus* demonstra propriedades de aditivos, uma vez que reduz o consumo e modifica a taxa de absorção de água, como também melhora a resistência mecânica. A mucilagem do cacto é um gel encontrado abaixo da superfície externa do cacto. Essa mucilagem contém polissacarídeos de pentoses, hexoses e açúcares livres, além de proteínas (OLIVEIRA, 2018).

Existem pesquisas acadêmicas desenvolvidas no país que apontam que atualmente a adição de outros materiais ao concreto pode ser uma opção viável, tanto economicamente, quanto no que diz respeito a melhoria da qualidade do concreto, das suas propriedades e características. O estudo da adição de alguns materiais naturais ao concreto, torna-se necessário, uma vez que se pode chegar a dispensa da utilização de aditivos químicos, e mesmo assim obter um concreto mais durável que o convencional.

Dessa maneira, encontrar novos insumos para compor a cadeia produtiva da construção civil tem o propósito de gerar um progresso econômico integrado as necessidades do setor construtivo do país. Assim, estudar a introdução da mucilagem da palma forrageira, que funcionará como um aditivo, em concretos, para confecção de muros de arrimo por gravidade é uma possibilidade de contribuir para o desenvolvimento de tecnologias alternativas para o setor construtivo. Analisar a viabilidade desse material como aditivo para o concreto, a partir de um processo acessível, que se baseia na extração da mucilagem do cacto, foi o que incentivou essa pesquisa.

No contexto do aproveitamento da mucilagem extraída da palma forrageira para elaboração de concretos as informações ainda são escassas, o que justifica o interesse de se realizar esta pesquisa. Além disso, pelo fato de estudos semelhantes já terem sido realizados para elaboração de argamassas, é concebido uma gama de dúvidas, incertezas e especulações sobre as melhorias que a mucilagem do cacto pode vir a promover no concreto.

Dadas as características necessárias para concretos a serem utilizados em estruturas de contenção do tipo muro de arrimo por gravidade, como boas resistências mecânicas, utilização ou não de dispositivos de drenagem a depender das propriedades do concreto, alto peso específico já que sua estabilidade se dá pelo seu peso próprio, torna-se relevante analisar a viabilidade do concreto com adição da mucilagem da palma forrageira para ser utilizado neste tipo de estrutura. Nesta conjuntura, esse trabalho visa estudar o efeito nas propriedades do concreto, quando se introduz neste, a mucilagem do cacto palma forrageira.

1.1 ESTRUTURA DO TRABALHO

O trabalho se encontra dividido em sete capítulos, mais referências bibliográficas e um anexo. O primeiro capítulo se trata deste, a introdução, na qual expõe os principais pontos abordados no trabalho, bem como justificativa e problematização do conteúdo, assim como este subtópico que compreende a estruturação utilizada no desenvolvimento da pesquisa.

O segundo capítulo traz os objetivos do trabalho, em duas seções distintas. A primeira que apresenta o objetivo geral, e a segunda que informa os objetivos específicos. O terceiro capítulo deste trabalho, se trata do referencial teórico. Nele, são evidenciados conceitos de diversos autores de livros, artigos, teses e dissertações, bem como órgãos governamentais, no que diz respeito aos assuntos que subsidiaram este trabalho, organizados em subseções, sendo estas: O concreto, enfatizando sua classificação, propriedades e uso de aditivos; as estruturas de contenção, evidenciando o muro de arrimo, especificamente o muro de arrimo por gravidade; e as cactáceas, destacando o tipo Palma Forrageira e o seu uso na construção civil.

O quarto capítulo trata da metodologia utilizada para elaboração deste trabalho. Nesta seção são destacados os métodos científicos empregues, os autores e Normas que foram imprescindíveis no desenvolvimento do trabalho, também são mencionados nesta seção.

A seção materiais e métodos, se trata do quinto capítulo. No subtópico materiais, são abordados os tipos de cimento Portland, agregados miúdo e graúdo, água e aditivo que foram empregues na confecção dos concretos aqui estudados. O subtópico métodos, vem explicar como se deu os procedimentos necessários para elaborar a caracterização física dos agregados miúdo e graúdo (necessárias para obtenção do traço a ser usado na elaboração dos concretos), a mucilagem do cacto *Opuntia Ficus Indica*, a preparação dos corpos de prova, assim como sua moldagem e cura, e por fim, os ensaios nos quais os concretos foram submetidos: peso específico, absorção de água por capilaridade e resistência à compressão axial.

O sexto capítulo, trata dos resultados e discussão, este expõe todos os resultados alcançados com a pesquisa, composto por breves discussões dos mesmos, com vistas a concretização dos objetivos esperados. São pautados a caracterização física dos agregados, comparando com os valores usais encontrados nas literaturas vigentes. Peso específico, absorção de água e resistência a compressão axial dos concretos confeccionados.

O capítulo sete, considerações finais, retrata uma visão geral dos resultados obtidos com a elaboração deste trabalho, enfatizando a viabilidade da técnica empregado na confecção dos concretos estudados nessa pesquisa, pautando os principais pontos observados no decorrer deste

estudo.

Por fim, são elencadas as referências bibliográficas que serviram de base para criação do trabalho, bem como o Apêndice A, que apresenta os cálculos efetuados, de acordo com o método da Associação Brasileira de Cimento Portland – ABCP, para fornecimento do traço utilizado para confecção dos concretos estudados.

2 OBJETIVOS

A seguir são expostos os objetivos que se deseja atingir com a produção do trabalho aqui sugerido a ser pesquisado, de modo geral e específico.

2.1 GERAL

Essa pesquisa tem como objetivo geral estudar os efeitos da adição da mucilagem do cacto popularmente conhecido como Palma Forrageira, em concretos, para verificação de viabilidade deste em estruturas de contenção do tipo muro de arrimo por gravidade.

2.2 ESPECÍFICOS

- Extrair a mucilagem do cacto Palma Forrageira em forma de pó para ser incorporado ao concreto;
- Caracterizar por análise física o agregado miúdo (areia) e o agregado graúdo (brita) a ser utilizado na produção do concreto;
- Produzir dezesseis corpos-de-prova, cilíndricos de dimensões 10 por 20 cm, dos quais doze serão elaborados de concreto com a adição da mucilagem da Palma forrageira, e os outros quatro serão produzidos de concreto sem adição da mucilagem;
- Verificar o peso específico dos concretos obtidos, com adição da mucilagem do cacto Palma Forrageira, e sem adição da mucilagem;
- Realizar ensaio não destrutivo nos corpos-de-prova (absorção por capilaridade), para verificar a absorção do concreto com e sem adição da mucilagem do cacto;
- Realizar ensaio destrutivo no corpo-de-prova, para verificar a resistência a compressão do concreto sem e com adição da mucilagem da Palma Forrageira;
- Comparar os resultados obtidos para um traço de concreto com a adição da mucilagem da palma, com os obtidos para outro isento da adição de mucilagem do cacto.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

Serão apresentados nessa seção os aportes teóricos retirados de bases literárias que serviram de suporte para a elaboração deste trabalho. Os conceitos aqui mencionados são de grande relevância para o entendimento do que será realizado nessa pesquisa. Serão pautadas concepções a respeito do concreto como material de construção, mais especificamente, questões voltadas para sua classificação, propriedades e utilização de aditivos em sua composição.

Retratou-se também neste tópico, informações sobre as estruturas de contenção, seus tipos, materiais construtivos, focando nos muros de arrimo, em especial do tipo por gravidade, objeto de estudo desta pesquisa. Além de exibir conceitos relativos as plantas cactáceas, suas características de forma geral, particularmente o cacto popularmente conhecido como Palma Forrageira, de onde será extraído o aditivo a ser confeccionado nesse trabalho, assim como, a utilização deste no setor da construção civil.

3.1 CONCRETO

O uso do concreto é datado desde a antiguidade, diferente do que temos hoje, mas com características análogas. No Império Romano, o concreto já era conhecido e utilizado, porém, os assírios e babilônicos foram os pioneiros das construções empregando a argila como aglomerante, o que não permitiu uma evolução nas construções, em virtude de sua fraca resistência. Foram os egípcios que obtiveram, com argamassa de cal e gesso, uma ligação mais rígida, como garantem suas pirâmides e templos antigos. Os romanos criaram a *pozzolana*, aglomerante muito durável, e o escocês Josef Aspdin, em 1824, criou um cimento bem semelhante ao atual chamado de *Portland*. Somente em 1845, foi produzido o cimento do mesmo tipo que o moderno *Portland* (JÚNIOR, S. A).

De acordo com a Norma Brasileira ABNT NBR 12655 (2015, p. 3) intitulada: Concreto de cimento Portland — Preparo, controle, recebimento e aceitação — Procedimento, a definição de concreto é dada por:

Material formado pela mistura homogênea de cimento, agregado miúdo e graúdo e água, com ou sem a incorporação de componentes minoritários (aditivos químicos, pigmentos, metacaulim, sílica ativa e outros materiais pozolânicos), que desenvolve suas propriedades pelo endurecimento da pasta de cimento (cimento e água).

O concreto pode se apresentar de duas formas a depender do estado em que o mesmo se encontra: concreto fresco ou endurecido. Segundo a NBR 12655 (2015, p. 3), o primeiro é o “concreto que está completamente misturado e que ainda se encontra em estado plástico, capaz de ser adensado por um método escolhido”, ao passo que o segundo se trata do “concreto que se encontra no estado sólido e que desenvolveu resistência mecânica”.

Após a mistura dos materiais constituintes do concreto, este deve apresentar plasticidade suficiente para os procedimentos de manuseio, transporte e lançamento, ganhando resistência e coesão ao longo do tempo, em decorrência das reações entre a água e aglomerante. Pode ser adicionado aditivos ao concreto, com finalidade de modificar suas características físicas e químicas (ALMEIDA, 2002).

O concreto é composto por uma pasta formada pela junção do cimento e a água, que preenche os espaços vazios entre os agregados (considerados inertes), ela se trata de um material ligante que une as partículas dos agregados em uma massa sólida. A propriedade ligante é possível em virtude das reações químicas entre o cimento e a água, para que tal reação ocorra é necessária uma pequena quantidade de água, no entanto é utilizada uma maior quantidade para se garantir trabalhabilidade no concreto e o uso de quantidades maiores de agregado (ANDOLFATO, 2002).

Andolfato (2002) defende que é necessária uma correta proporção entre cimento e água, pois a adição de água diminui a resistência da pasta. Os agregados constituem cerca de 60% a 80% do concreto, tendo em vista que são menos onerosos que a pasta de cimento, seu uso torna o concreto mais econômico.

Material constituinte do concreto mais importante, o cimento, de acordo com a definição presente na Norma Brasileira ABNT NBR 16697:2018 – Cimento Portland: Requisitos, é um “ligante hidráulico obtido pela moagem de clínquer Portland, ao qual se adiciona, durante a fabricação, a quantidade necessária de uma ou mais formas de sulfato de cálcio e adições minerais”.

Existem diversos tipos de cimento de cimento Portland, que variam a depender de suas propriedades e adições especiais. Eles são designados por suas respectivas siglas, seguidas de sua classe de resistência mínimas à compressão aos 28 dias de idade (25 MPa, 32 MPa, 40 MPa ou Alta Resistência Inicial- ARI), acrescida dos sufixos RS (Resistente a sulfatos) e BC (Baixo Calor de hidratação) quando aplicáveis. A Tabela 1 expõe em detalhes os tipos de cimento.

Tabela 1: Designação normalizada, sigla e classe do cimento Portland

Designação normalizada (tipo)	Subtipo	Sigla	Classe de resistência (Mpa)	Sufixo
Cimento Portland comum	Sem adição	CP I	25, 32 ou 40	RS ou BC
	Com adição	CP I-S		
Cimento Portland compost	Com escória granulada de alto forno	CP II-E		
	Com material carbonático	CP II-F		
	Com material pozzolânico	CP II-Z		
Cimento Portland de alto forno		CP III	ARI	
Cimento Portland pozzolânico		CP IV		
Cimento Portland de alta resistência inicial		CPV	25, 32 ou 40	
Cimento Portland branco	Estrutural	CPB		
	Não estrutural	CPB		

Fonte: Adaptado, ABNT NBR 16697:2018.

O cimento Portland comum (Tipo I) é o mais utilizado em construções de concreto, indicado para locais onde não haja exposição a sulfatos no solo ou água subterrânea. O cimento Portland composto (Tipo II) é recomendado para ser usado em estruturas nas quais um moderado calor de hidratação é desejado, ou onde é previsto um ataque moderado por sulfatos. O cimento Portland de alto forno (Tipo III) são comumente empregues em obras de concreto-massa, em virtude ao baixo calor de hidratação, obras em contato com água do mar, devido à maior resistência a sulfatos, em razão ao baixo teor de C_3A (NEVILLE e BROOKS, 2013).

A utilização do cimento Portland pozzolânico (Tipo IV) é indicada para confecção de concretos compactado com rolo, em concretos com requisitos de baixo calor de hidratação e concretos com exigências de boa resistência química. O cimento Portland de alta resistência inicial (Tipo V) é utilizado principalmente nos casos em que é necessário remover rapidamente as fôrmas para serem reutilizadas ou onde uma determinada resistência mínima, é necessária ser atingida rapidamente, para continuidade da obra. Este cimento não deve ser utilizado em obras de concreto massa ou em elementos estruturais de grande porte devido sua maior velocidade de liberação de calor de hidratação, para construções em baixas temperaturas o uso desse cimento é uma alternativa satisfatória (NEVILLE e BROOKS, 2013).

Os cimentos brancos (CP B) são muito utilizados quando é necessário obter um concreto de cor branca, em países tropicais principalmente, o acabamento em tons pastéis é algumas vezes necessário para fins arquitetônicos. Esse cimento é menos sujeito a manchas, devido ao seu alto teor de álcalis solúveis (NEVILLE e BROOKS, 2013).

Outro material constituinte do concreto são os agregados, materiais geralmente inertes, ou seja, que não reagem com o cimento, e tem a finalidade de reduzir a retração, aumentar a resistência e reduzir os custos do concreto (JÚNIOR, S. A).

Quanto ao seu tamanho, de acordo com a Norma Brasileira ABNT NBR 7211:1983 – Agregado para concreto, os agregados são classificados em miúdo ou graúdo. Fica classificado como agregado miúdo a “areia de origem natural ou resultante do britamento de rochas estáveis, ou mistura de ambas, cujos grãos passam pela peneira ABNT 4,8 mm e ficam retidos na peneira ABNT 0,075 mm”. Já o agregado graúdo é definido pela mesma como sendo qualquer “pedregulho ou a brita proveniente de rochas estáveis, ou mistura de ambos, cujos grãos passam por uma peneira de malha quadrada com abertura nominal de 152 mm e ficam retidos na peneira ABNT 4,8 mm”.

Os agregados se classificam também quanto a sua procedência, podendo ser naturais ou artificiais. Segundo La Serna e Rezende (2013) os naturais são aqueles encontrados na natureza de maneira particulada, como a areia, cascalho ou pedregulho, já os artificiais são aqueles preparados por processos industriais, é o caso das pedras britadas, areias artificiais, escórias de alto-forno, argilas expandidas e outros.

Por fim, a água também se faz presente na composição do concreto. As águas de origem natural são quase todas apropriadas para serem utilizadas no amassamento do concreto. Entende-se por fator água/cimento, o teor de água do concreto fresco, ou seja, a relação entre o peso da água e do cimento utilizados no traço do concreto. Geralmente essa relação tem valores girando entre 0,3 a 0,6. Vale ressaltar que quanto menor o teor de água no concreto, maior será sua resistência e menor sua trabalhabilidade (ALMEIDA, 2002).

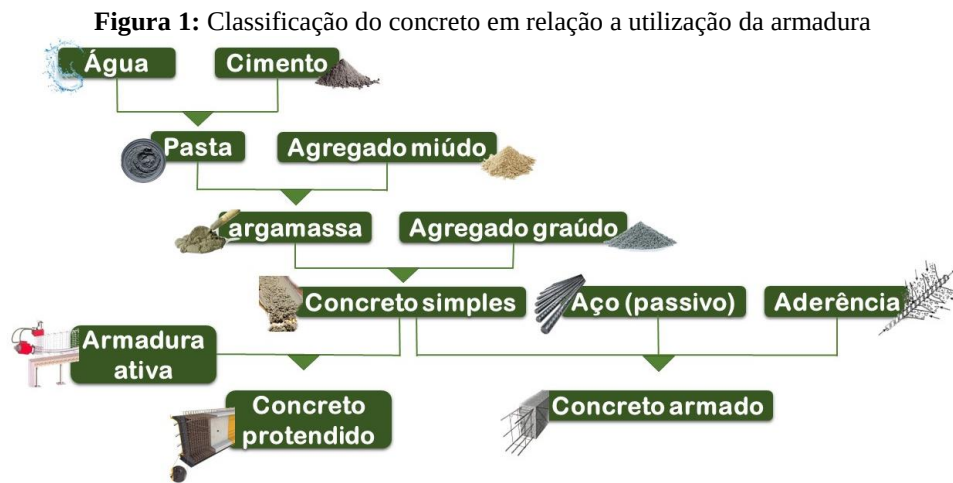
3.1.1 Classificação

O concreto é classificado de diferentes maneiras, em relação a utilização ou não de armaduras, segundo seus diversos campos de aplicação, com relação ao seu peso específico, conforme sua resistência à compressão e de acordo com o fornecimento das centrais de concreto.

Em relação ao uso da armadura o concreto se classifica em simples, armado e protendido, Pinheiro et. Al (2004), conduz algumas definições destes. Enfatiza que o concreto simples é aquele formado pela combinação de cimento, água, agregado miúdo e agregado graúdo. O concreto armado é a associação do concreto simples e armaduras passivas (ou

frouxas), assim denominadas por não possuírem tensões iniciais. O concreto e as barras de aço resistem solidariamente aos esforços solicitantes. Essa solidariedade é garantida pela aderência entre ambos. Já o concreto protendido também se trata de uma junção entre concreto simples e armaduras, porém neste, pelo menos uma parte da armadura utilizada é ativa (tem tensões aplicadas previamente).

A Figura 1 ilustra um fluxograma simplificado do que foi mencionado no parágrafo anterior, no que diz respeito a classificação do concreto em relação as formas de uso das armaduras.



Fonte: Elaborado pela autora, 2019.

Outra classificação existente para o concreto é com relação ao seu campo de aplicação. Nessas circunstâncias, pode ser dito estrutural ou concreto massa. Entende-se por concreto massa todo volume de concreto com dimensões grandes, o suficiente para se tomar medidas a superar o alto calor de hidratação do cimento. Obras com a necessidade de utilizar grandes volumes de concreto massa na sua confecção tornam-se preocupantes, pois, estão mais sujeitas ao surgimento de patologias, tais como trincas e fissuras (AMERICAN CONCRETE INSTITUTE – 207, 2005).

O concreto estrutural por sua vez, é estabelecido como sendo um “termo que se refere ao espectro completo das aplicações do concreto como material estrutural” (NBR 6118, 2014, p. 3). Podem ser caracterizados três elementos distintos de concreto estrutural: elementos de concreto simples estrutural, elementos de concreto armado e elementos de concreto protendido, conforme já mencionados.

Em relação ao seu peso específico, o concreto pode ser do tipo normal (C), concreto leve (CL) e concreto pesado ou denso (CD). A Tabela 2 apresenta os intervalos de valores das massas específicas secas para classificação do concreto em tipo C, CL ou CD.

Tabela 2: Classificação do concreto quanto a sua massa específica

Classificação do concreto	Massa específica [kg/m^3]
Normal (C)	Entre 2000 e 2800
Leve (CL)	Inferior a 2000
Pesado ou denso (CD)	Superior a 2800

Fonte: Adaptado, ABNT NBR 8953:2015.

Ambrozewicz (2012), fornece uma classificação mais detalhada do concreto com base em seu peso específico, a Tabela 3 demonstra tal classificação.

Tabela 3: Classificação do concreto com base em seu peso específico

Classificação do concreto	Massa específica [tf/m^3]
Concreto leve para isolamento térmico	0,7 a 1,6
Concreto leve	1,8
Concreto simples	2,0
Concreto comprimido	2,2
Concreto socado	2,3
Concreto vibrado	2,3
Concreto armado	2,4
Concreto pesado	3,0 a 5,0

Fonte: ADAPATADO. AMBROZEWICZ, 2012.

A Norma Brasileira ABNT NBR 8953:2015- Concretos para fins estruturais: classificação pela massa específica, por grupos de resistência e consistência, pauta que a depender da sua classe de resistência os concretos são classificados em dois grupos (I e II). A resistência característica a compressão (f_{ck}) é determinada a partir do ensaio em corpos de provas modelados conforme especificações técnicas da Norma Brasileira ABNT NBR 5738 e rompidos de acordo com a NBR 5739.

A Tabela 4 expõe as classificações do concreto de acordo com suas resistências característica a compressão. Destaca-se que os concretos de f_{ck} inferior a 20 MPa são considerados não estruturais.

Tabela 4: Classe de resistências dos concretos estruturais

Classe de resistência (grupo I)	Resistência característica a compressão (MPa)	Classe de resistência (grupo II)	Resistência característica a 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: ADAPTADO, ABNT NBR 8953:2015.

Atualmente, as centrais de concreto desenvolvem diversos tipos de concretos para comercialização, Ambrozewicz (2012) explana dezessete tipos de concretos fornecidos pelas centrais. O Quadro 1 expõe simplificadaamente cada tipo destes.

Quadro 1: Tipos de concreto fornecido atualmente pelas centrais de concretos

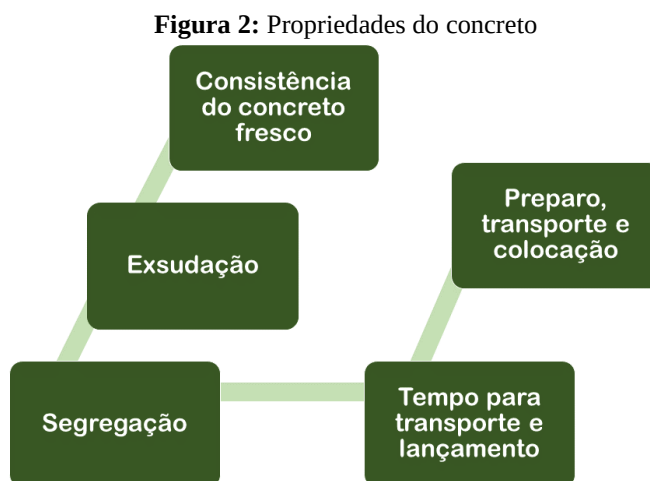
Tipo de concreto	Especificação
Convencional	Utilizado nas obras civis em quase sua totalidade, possui consistência seca com resistência variando de 10 MPa à 40 MPa.
Alto desempenho	Concreto com excelentes propriedades, são elaborados geralmente com o uso de aditivos superplastificantes e minerais. É aplicado em obras hidráulicas, especiais e de recuperação.
Bombeável	Concreto pouco segregável por efeito da sua dosagem que é apropriada para utiliza-los em bombas. Sua resistência pode variar de 10 MPa à 40 MPa. Sua aplicação varia desde qualquer obra civil a industriais e peças pré-moldadas.
Alta resistência inicial	Muito utilizados em obras com concreto protendido, é conhecido por atingir, já nos primeiros dias, uma alta resistência.
Pavimento rígido	Utilizado para construção de estradas e vias urbanas, esse concreto detém de boa resistência a tração na flexão e ao desgaste superficial.
Pesado	Largamente aplicado como contrapeso em usinas nucleares, gasodutos e hospitais, sua principal característica é sua alta densidade.
Projetado	Concreto autocompactado transportado e lançado a alta velocidade pneumaticamente.
Leve estrutural	Tem a finalidade de reduzir o peso da estrutura mantendo as características de resistência à compressão. Sua principal característica é sua baixa densidade.
Leve	Densidade ainda menor que o concreto leve estrutural, é comumente utilizado para enchimento de lajes, pisos e elementos de vedação. Os tipos mais comum são com uso de espumas, isopor e argila expandida.
Fluído	Suas características principais são suas altas plasticidades ou fluidez.
Rolado	Muito utilizado na pavimentação. Apresenta consistência seca e é aplicado manualmente por espalhamento, mecanicamente ou com rolos vibratórios.
Colorido	Concreto normal adicionado de pigmentos especiais, que conferem diferentes tonalidades ao concreto. Sua utilização se dá em pisos, calçadas e fachadas.

Resfriado com gelo	Tem certa quantidade de água substituída por gelo para atender as especificações de projeto, como a retração térmica.
Autoadensável	Concreto com elevada plasticidade, podem ter sua reologia controlada com a utilização de aditivos de última geração. Aplicados em fundações tipo hélice contínua e parede diafragma.
Com adições de fibras	São elaborados geralmente com fibras de náilon, polipropileno e aço. Estes concretos inibem os efeitos da fissuração por retração.
Impermeável	Concreto com fator água cimento limitado, dosado com cimento apropriado. É muito usado para construção de barragens, obras hidráulicas e estação de tratamento d'água e esgoto.
Sem finos	Concreto de elevada porosidade. É aplicada em drenos e enchimentos.

Fonte: AMBROZEWICZ, 2012.

3.1.2 Propriedades

A Figura 2 ilustra as propriedades do concreto em seu estado fresco. As definições de cada uma destas propriedades são mencionadas por Ambrozewicz (2012) em sua obra “Materiais de construção: normas, especificações, aplicação e ensaios de laboratório”. Nos parágrafos posteriores a Figura 2 essas definições são elencadas de forma breve.



Fonte: Elaborado pela autora, 2019.

A consistência do concreto no estado fresco trata-se de uma propriedade interligada com a situação de fluidez da mistura. Ela se altera quase que unicamente com a quantidade de água utilizada no concreto, correspondendo a menor ou maior facilidade de se deformar sobre cargas. Um concreto com adequada consistência tem sua trabalhabilidade garantida (AMBROZEWICZ, 2012).

A exsudação no concreto está relacionada com a tendência de a água de amassamento surgir na superfície do concreto recentemente lançado, originando mais poros e consequentemente um concreto menos resistente (AMBROZEWICZ, 2012).

A segregação é a tendência dos agregados graúdos que compõem o concreto se separar da argamassa, resultando em um concreto sem homogeneidade, ou com muitos vazios, diminuindo a sua resistência mecânica (AMBROZEWICZ, 2012).

O tempo para que o concreto seja transportado para posterior colocação nas fôrmas deve ser inferior a 2 horas e 30 minutos, de modo a garantir que o material não perca suas características como a plasticidade, nem sofra segregação, pois sua qualidade depende destas (AMBROZEWICZ, 2012).

O preparo do concreto, transporte e colocação no local desejado, irá depender do local onde o mesmo estará sendo produzido, caso seja usinado, durante o transporte os materiais devem ser constantemente misturados, trabalho realizado pelos próprios caminhões que o transporta. Na fase de colocação a atenção maior deverá ser na hora da vibração do concreto, pois se malfeita, a estrutura fica comprometida (AMBROZEWICZ, 2012).

3.1.3 Aditivos

A Norma Brasileira ABNT NBR 11768:2011 – Aditivos químicos para concretos de cimento Portland: requisitos, define aditivo como sendo o produto adicionado durante o processo de preparação do concreto, em quantidade não maior que 5% da massa de material cimentício contida no concreto, com o objetivo de modificar propriedades do concreto no estado fresco e/ou no estado endurecido, exceto inorgânicos para o preparo de concreto colorido.

A Norma Americana ASTM C 125 (ACI 212.3R, 1989) por sua vez, considera o aditivo como um material, além da água, agregados, cimentos hidráulicos e fibras, empregado como um constituinte do concreto ou argamassa e adicionado na betoneira imediatamente antes ou durante a mistura.

O uso de aditivos ao concreto tem se tornado bastante comum nas obras civis, para Neville (2016), a razão para esse crescente uso está na capacidade destes em conferir consideráveis vantagens ao concreto. Esses benefícios compreende a utilização do concreto em situações na qual antes haviam dificuldades consideráveis ou mesmo insuperáveis, além de que a utilização de aditivos permite o uso de uma maior variedade de componentes na mistura.

Os aditivos normalmente são classificados conforme a função que desempenha no concreto, a NBR 11768:2011 os classificam de acordo com o exposto abaixo:

1. Aditivo redutor de água (plastificante): aqueles que permitem reduzir a quantidade de água no concreto, sem modificar, no estado fresco, a sua consistência. Classificado também como o aditivo que aumenta a fluidez do concreto, modificando sua consistência, sem alterar a quantidade de água;
2. Aditivo de alta redução de água (superplastificante tipo I): Permite elevada redução de água de um concreto, sem alterar a consistência no estado fresco, ou que, não altera a quantidade de água, mas aumente consideravelmente a fluidez do concreto;
3. Aditivo de alta redução de água (superplastificante tipo II): Permite uma elevadíssima redução de água de um concreto, sem alterar a consistência no estado fresco, ou que, não altera a quantidade de água, mas aumente grandiosamente a fluidez do concreto;
4. Aditivo incorporador de ar: Permite incorporar uma quantidade controlada de pequenas bolhas de ar, durante o amassamento do concreto, nas quais permanecem no estado endurecido;
5. Aditivo acelerador de pega: Aditivo que reduz o tempo da transição do estado plástico para o estado endurecido do concreto;
6. Aditivo acelerador de resistência: Aumentam a taxa de desenvolvimento das resistências iniciais do concreto, com ou sem modificar o tempo de pega;
7. Aditivo retardador de pega: Aumenta o tempo de transição do estado plástico para o estado endurecido do concreto;
8. Aditivo redutor de água e retardador de pega (plastificante retardador): Tipo de aditivo que combina os efeitos do aditivo redutor de água (plastificante como função principal) com os efeitos de um retardador de pega (função secundária);
9. Aditivo de alta redução de água e retardador de pega (superplastificantes retardadores tipos I e II): Aditivo que combina os efeitos de um aditivo redutor de água de elevado desempenho (superplastificante como função principal) e os efeitos de um aditivo retardador de pega (função secundária);
10. Aditivo redutor de água e acelerador de pega (plastificante acelerador): Aditivo que combina os efeitos de um aditivo redutor de água (plastificante como função principal) e os efeitos de um aditivo acelerador de pega (função secundária);
11. Aditivo de alta redução de água e acelerador de pega (superplastificante aceleradores tipos I e II): Aditivo que combina os efeitos de um aditivo redutor de água

(superplastificante como função principal) e os efeitos de um aditivo acelerador de pega (função secundária).

O Quadro 2 informa as abreviaturas designadas pela ABNT NBR 11768:2011 para cada tipo de aditivo.

Quadro 2: Designação normalizada dos aditivos

Tipo de aditivo	Designação normalizada
Redutor de água (plastificante)	PR, PA, PN
Alta redução de água (superplastificante tipo I)	SP-I R, SP-II A, SP-II N
Alta redução de água (superplastificante tipo II)	SP-II R, SP-II A, SP-II N
Incorporador de ar	IA
Acelerador de pega	AP
Acelerador de resistência	AR
Retardador de pega	RP

Fonte: ADAPTADO, ABNT NBR 11768:2011.

3.2 ESTRUTURAS DE CONTENÇÃO

Entende-se por estruturas de contenção toda obra da engenharia geotécnica que são executadas com o objetivo de dar estabilidade contra a ruptura de maciços de terra ou rocha. Existe uma diversidade de estruturas de contenção, dentre as quais, são mais comuns os chamados muros de arrimo, cortinas atirantadas, gabiões, estacas pranchas, muros em forma de cortina com perfis metálicos ou painéis pré-moldados (ANDRADADE ET. AL, 2003).

A diferença entre as estruturas de contenção está no processo construtivo e na geometria do elemento, embora todas elas sejam construídas com o intuito comum, a de suportar as pressões laterais exercidas pelos solos que estão contendo. Para executar uma estrutura de contenção é necessário realizar a escolha adequada do seu tipo, em decorrência da situação na qual ela será empregue, para isso faz-se necessário uma avaliação das características físicas, e processos de instabilização perceptíveis no local, seja este um corte, aterro ou uma encosta (ANDRADADE ET. AL, 2003).

As estruturas de contenção dividem-se em dois grandes grupos: as provisórias e as permanentes. As provisórias são todas que tem caráter transitório, ou seja, quando cessada sua necessidade são removidas. Para execução das contenções provisórias geralmente são utilizados

três tipos de processos construtivos, são eles: contenção de madeira, com perfis cravados e de madeira e contenções com perfis metálicos justapostos (VARELA, S.A).

As contenções permanentes ou definitivas por vez, são determinadas por não permitirem o reaproveitamento dos materiais utilizados para sua execução, portanto, algumas técnicas construtivas só são economicamente viáveis para esse tipo de estrutura. No geral resultam em estruturas mais robustas e pesadas, são exemplos de contenções permanentes: estacas pranchas, muro de arrimo e parede diafragma.

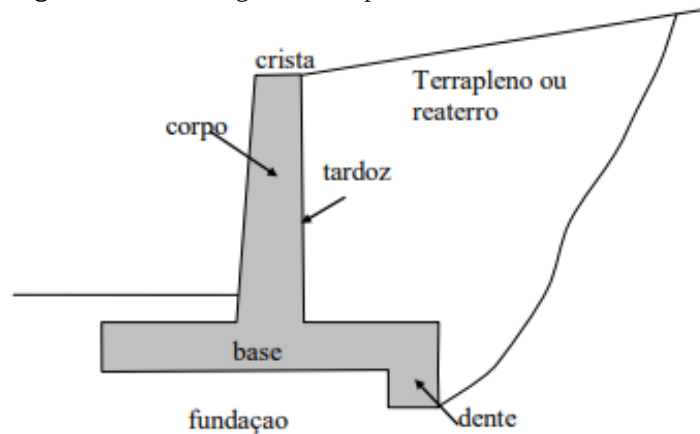
Knappett e Craig (2016), definem que a aplicação permanente ou provisória de uma estrutura de contenção de solos, faz-se necessária com frequências nos seguintes casos:

- Criar um espaço subterrâneo (instalação permanente);
- Elevar uma seção do terreno com movimento mínimo de terra (instalação permanente);
- Represar solo instável nas proximidades de uma rodovia ou ferrovia (instalação permanente).
- Criar uma escavação para instalar tubos/cabos ou reparar serviços existentes (instalação temporária).

3.2.1 Muro de arrimo

Os muros de arrimo são estruturas de contenção “corrida de parede vertical, apoiadas em uma fundação rasa ou profunda, podendo ser de vários tipos: gravidade (construídos de alvenaria, concreto, gabiões ou peneus), de flexão com ou sem contrafortes e tirantes” (ANDRADADE ET. AL, p. 37, 2003).

A Figura 3 ilustra a terminologia dos componentes que constituem um muro de arrimo, que são: crista, corpo, tardo, base e dente. Enquanto a Figura 4 demonstra os tipos mais comuns dos muros de contenção: muro de gravidade, gravidade armado, incado e ancorado.

Figura 3: Terminologia dos componentes de um muro de arrimo

Fonte: GERSCOVICH, S.A.

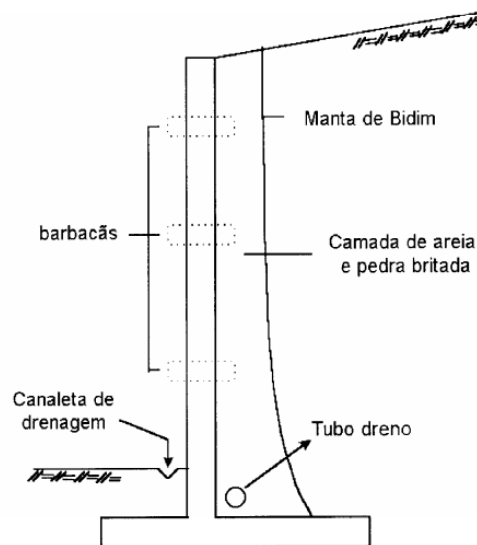
Figura 4: Principais tipos de muros de contenção

Fonte: VIVA DECORA, 2019.

De acordo com o manual do projeto de muro de arrimo, emitido pelo Departamento de Estradas de Rodagem (DER, 2005), a geometria e a constituição do muro devem ser apropriadas, capazes de suportar as solicitações críticas durante a vida útil com a segurança desejada. O sistema estrutural é constituído por paramento e fundação, podendo haver elementos de reforço do maciço. Os paramentos podem ser de concreto, concreto armado, concreto ciclópico, pedra argamassada, crib-wall, gabião, solo-cimento compactado, solo-cimento ensacado, enrocamento, alvenaria armada entre outros.

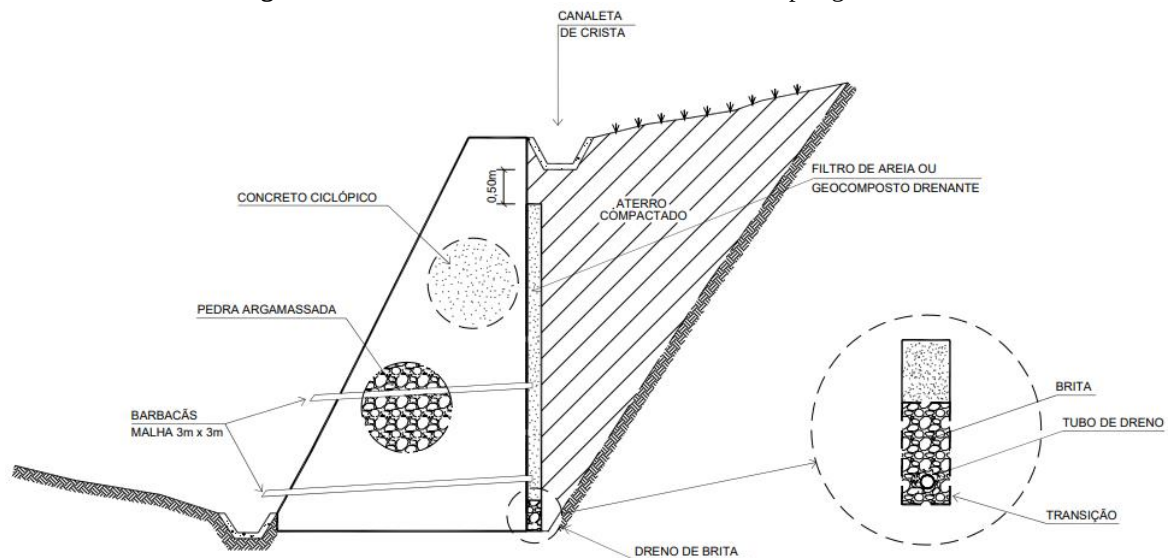
Além dos elementos já elencados, costumeiramente os muros de arrimos são compostos de elementos drenantes e filtrantes, como filtros de areia ou brita, drenos profundos, barbacãs, drenos sub-horizontais e canaletas (DER, 2005). As Figuras 5 e 6 ilustram os elementos drenantes e filtrantes em muros de arrimo.

Figura 5: Elementos de drenagem em um muro de arrimo



Fonte: DOMINGUES, 1997.

Figura 6: Elementos drenantes em muro de arrimo por gravidade



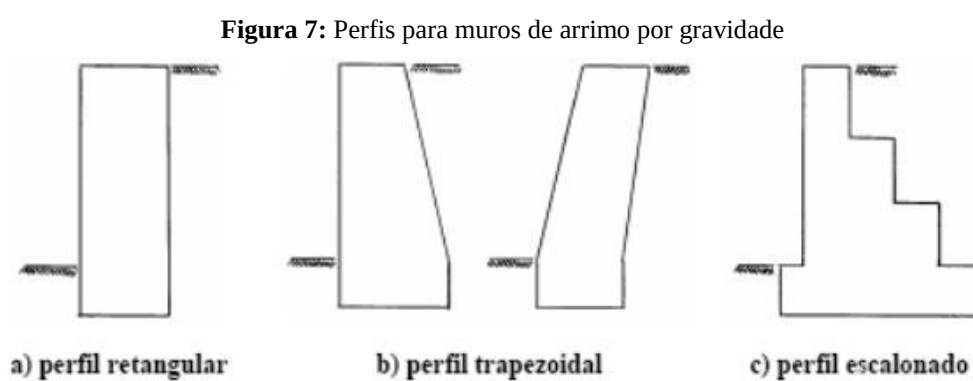
Fonte: DER, 2005.

3.2.2 Muro de arrimo por gravidade

Os muros de arrimo por gravidade são estruturas de contenção corridas que se opõem aos empuxos horizontais pela ação do seu peso próprio. Normalmente, são empregues para conter desníveis pequenos ou médios, inferiores a 5 metros. Os materiais utilizados para sua construção pode ser pedra, concreto (simples ou armado), gabiões, ou pneus usados (ANDRADADE ET. AL, 2003).

Essas obras de contenção contam com seu peso próprio e os esforços da base para manter sua estabilidade. Para sua construção é necessário um grande volume de material construtivo, e em virtude disto, sua aplicação é limitada pela capacidade de suporte do solo, geralmente sendo necessária uma capacidade mais elevada que para o restante dos tipos de muros. São muito utilizados em projetos de barragens, para conter aterros junto às estruturas hidráulicas, tais como vertedouro e tomada d'água (ARAÚJO, 2016).

Os perfis mais habituais para esse tipo de estrutura são: retangular, trapezoidal e escalonado, conforme apresenta a Figura 7.



Fonte: ARAÚJO, 2016.

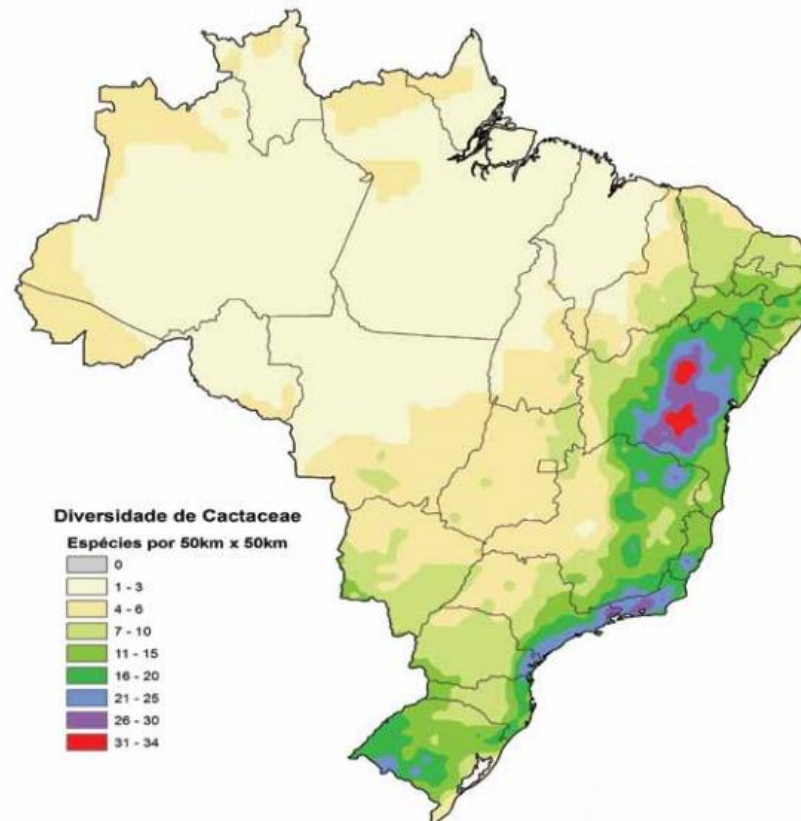
3.3 CACTÁCEAS

As mais relevantes espécies de plantas suculentas, caracterizadas por serem carnudas e ricas em água, sendo capazes de resistirem a grandes períodos de seca, são os chamados cactos, também conhecidos por cactáceas e cactaceae. A palavra cacto, do grego Kaktos, significa planta que tem espinhos. A utilização inicial de tal palavra foi dada pelos próprios gregos, em 300 anos a.C. (BALLESTER OLMOS, 1995, apud, COSTA, 2014).

Com mais de 1300 espécies, a família cactaceae, retrata a segunda em ordem de tamanho entre as plantas vasculares endêmicas das Américas. As cactaceae possuem quatro principais centros de diversidade no continente americano, dos quais o Brasil é o terceiro, atrás do México e os Estados Unidos (primeiro centro) e dos Andes (segundo centro). Em termos de importância, o centro de diversidade brasileiro situa-se no leste do país, abrangendo a região Nordeste e a maioria do Sudeste (ZAPPI, TAYLOR e LAROCCA, 2011).

A Figura 8 ilustra um mapa temático do Brasil, destacado as regiões onde são encontradas cactáceas, território conhecido como Brasil Oriental.

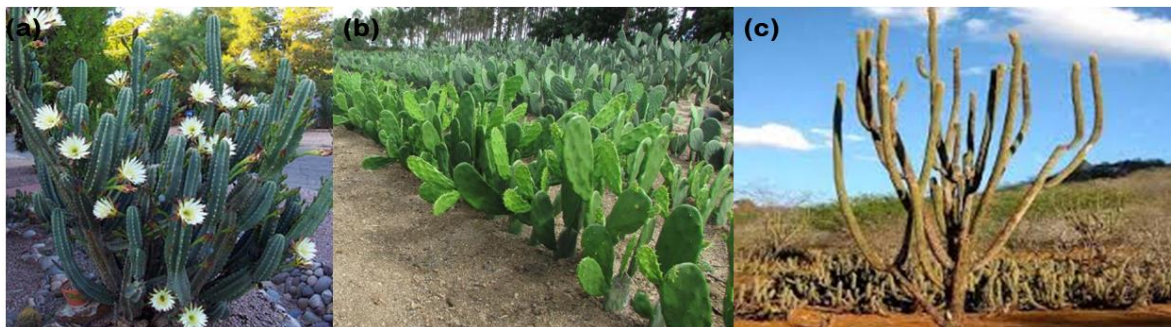
Figura 8: Diversidade de cactaceae no Brasil



Fonte: INSTITUTO CHICO MENDES – ICMBio, 2011.

No Nordeste Brasileiro ocorre a predominância de cactáceas dos gêneros *Cereus*, *Opuntia* e *Pilosocereus*, inseridos o *Cereus jamacuro*, *Opuntia ficus-indica* e Facheiro, popularmente conhecidos como Mandacaru, Palma e Facheiro, respectivamente. Os tipos de cactos predominantes no Nordeste brasileiro conforme mencionado podem ser vistos na Figura 9.

Figura 9: Espécies de cactos dominantes no Nordeste brasileiro: (a) Mandacuru; (b) Palma; (c) Facheiro



Fonte: NATUREZA BELA, 2016; MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO, 2017; CALADO, 2008.

Chamados de cladódios, os caules dos cactos são espessos e suculentos além de terem um aspecto anômalo. Possuem uma seiva, espessa em aspecto de gel, que contribui para retenção de água por proporcionar um grande volume de armazenamento de materiais alimentares. Chandra et al. (1998) mencionada por Costa (2014) aponta que esse gel é rico em proteínas e polissacarídeos, e que são nos caules dos cactos que se localiza os estômatos da planta, que se trata de estruturas similares aos poros da nossa pele, que durante o dia se mantêm fechados a fim de evitar a perda de água na forma de vapor.

3.3.1 Palma forrageira

A palma forrageira, assim conhecida no Brasil, é o cacto *Opuntia fícus-indica* (OFI), uma planta tropical ou subtropical que se desenvolve de forma selvagem nas regiões áridas e semiáridas, devido aos seus mecanismos de se adaptar a estes ambientes e de possuir elevada capacidade de biomassa, e que a proporciona crescer em condições adversas, como altas temperaturas, solos pobres em nutrientes e terrenos desidratados (SOUZA, 2019). A planta se classifica conforme especifica o Quadro 3.

Quadro 3: Classificação Taxonômica da Palma Forrageira

Reino	Plantae
Divisão	Magnoliophyta
Classe	Magnoliopsida
Ordem	Caryophyllales
Família	Cactaceae
Subfamília	Opuntioideae
Gênero	Opuntia
Espécie	Ficus-indica
Nome binomial	O. ficus-indica (L.)

Fonte: Adaptado de SOUZA, 2019.

A palma forrageira é suculenta, ramificada e arbustiva, seu tamanho varia, podendo alcançar até quatro metros de altura. Trata-se de uma planta formada por raízes e caules carnudos. O sistema radicular da OFI é superficial, possuindo uma distribuição horizontal que desenvolve características xeromórficas, permitindo sua sobrevivência a períodos prolongados de seca (MARTINS, 2011).

Popularmente conhecido como broto ou verdura, a parte aérea da planta é formada por cladódios, que possui aparência de folhas carnudas, mas na verdade tratam-se de caules

modificados articulados uns aos outros, podendo alguns, possuírem espinhos. Os brotos jovens possuem cores verde-escuro a verde-claro, tornando-se esbranquiçados ou acinzentados com o tempo, em virtude à lignificação dos mesmos (SÁENZ, 2006 apud SOUZA, 2019).

O uso da palma forrageira no Nordeste está mais vinculado a alimentação animal, sendo empregue também na medicina popular e como corante natural. Atualmente, sua utilização vindo sendo ampliada, mostrando potencial na alimentação humana, cultura agrícola, fonte de energia, nas indústrias cosméticas e para ornamentação (NUNES, 2011 apud NOVA, 2018).

O Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – MAPA (2018), enfatiza que experiências compartilhadas com outros países são representativas da capacidade para o desenvolvimento de novos negócios, associados com a palma. O MAPA, em parceria com o governo do México, destaca o potencial de utilização da palma em projetos de restauração de solo, medicina, alimentação animal, cosmética e culinária.

3.3.2 Uso na construção civil

O uso do cacto *Opuntia Fícus-Idica* em materiais de construção é uma prática antiga. Já eram conhecidos seus benefícios para o setor da construção civil há pelo menos 2000 anos. Os indícios mais antigos da utilização do OFI foram descobertos em escavações arqueológicas que remontam aos primeiros habitantes mexicanos. Nas escavações foram encontradas sementes, cascas e fibras fossilizadas, com aproximadamente sete mil anos (SAENZ et al., 2006 apud SOUZA, 2019).

Em estudos realizados para a restauração das pirâmides da cidade de Teotihuacán (Figura 10), no México, foi comprovado o uso intencional da mucilagem do cacto OFI em partes da estrutura (SOUZA, 2019).

Figura 10: Pirâmides de Teotihuacán, no México



Fonte: HISTORY, 2018.

A Mucilagem do cacto *Opuntia Ficus-Indica* (MOFI) trata-se de um composto de complexos polissacarídeos, aptos a absorção de água em grandes quantidades, dissolvendo-se e dispersando-se para formar coloides gelatinosos. Atualmente a MOFI tem diversas utilidades na construção civil, a exemplo do seu uso como aditivo para materiais cimentícios.

Estudos realizados por Martínez (2005); Ramírez et al. (2012); Leónmartínez et al. (2014), ambos citados no trabalho de Souza et al. (2018), indicam a viabilidade da MOFI como aditivo para materiais cimentícios, onde estes enfatizam a melhora de algumas propriedades, como aumento das resistências mecânicas a compressão e tração, redução da porosidade e consequente redução na absorção e permeabilidade de água, modificação da viscosidade no estado fresco, inibição da corrosão do aço de armadura, além de ser um excelente fixador de pinturas naturais.

Segundo Oliveira (2018) que cita Monteiro (2015), para pastas e argamassas, a MOFI utilizada como um aditivo, aprimorou a trabalhabilidade e a resistência desses materiais construtivos, destacando-se que a MOFI se trata de um aditivo orgânico, natural e de baixo custo.

Dessa forma, mesmo sendo utilizada há séculos, existem poucos estudos voltados a aplicação específica da MOFI como aditivo natural em materiais cimentícios. Avaliações sistemáticas e efetivas que mensure as ações deste aditivo em estruturas variadas da construção civil tornam-se significativas. A literatura atual mostra que a composição química do cacto varia em função das condições de plantio, sazonalidade, clima, idade da planta e outros fatores. Assim sendo, torna-se importante conhecer e analisar os compostos mais ativos da MOFI quando utilizada como aditivo, permitindo então uma ampliação da literatura atualmente disponível (SOUZA, 2019).

4 METODOLOGIA

Essa pesquisa foi baseada no método experimental, uma vez que Gil (2002, p. 48) enfatiza que a pesquisa experimental:

Consiste essencialmente em determinar um objeto de estudo, selecionar as variáveis capazes de influenciá-lo e definir as formas de controle e de observação dos efeitos que a variável produz no objeto. Trata-se, portanto, de uma pesquisa em que o pesquisador é um agente ativo, e não um observador passivo.

Desta maneira, o objeto de estudo neste trabalho foi o concreto, tendo como variável o cacto popularmente conhecido como palma forrageira, onde esse estudo teve a finalidade de observar os efeitos que a variável (MOFI) produziu no objeto (concreto).

Os materiais utilizados para realização dos experimentos laboratoriais foram adquiridos em lojas de materiais de construção (no caso do cimento e brita), na Companhia de Água e Esgotos do Rio Grande do Norte – CAERN, (para obtenção da água que foi utilizada para o amassamento do concreto) e na zona rural do município de São José do Sabugí, interior do estado da Paraíba, localidade de onde foram retirados os cactos para gerar o MOFI e a areia utilizada na confecção dos corpos de prova de concreto. Todos esses materiais encontram-se detalhados na seção Materiais deste trabalho.

A elaboração do aditivo à base do cacto *Opuntia-ficus-indica*, bem como a fabricação dos concretos necessários para esse estudo, além dos ensaios elencados no tópico Objetivos foram realizados no laboratório do curso de Engenharia Civil da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), Campus Multidisciplinar de Pau dos Ferros-RN (CMPF).

Para realização deste trabalho, se fez necessário seguir três fases de estudo distintas, respectivamente como discriminados na Figura 11.

Figura 11: Fases para o desenvolvimento do trabalho



Fonte: Elaborado pela autora, 2019.

No primeiro momento realizou-se uma pesquisa e revisão bibliográfica, que serviu para dar embasamento teórico para as demais partes do trabalho, representado sob a forma do

referencial teórico. Esse momento é assim caracterizado pois de acordo com Gil (2002, p. 44), “a pesquisa bibliográfica é desenvolvida com base em material já elaborado, constituído principalmente de livros e artigos científicos”, retratando justamente o que foi realizado nesta fase. A pesquisa foi realizada em fontes primárias, tais como órgãos governamentais, documentos técnicos e livros, e também em fontes secundárias constituídas por artigos, revistas, dissertações, monografias e teses, subsidiadas pela investigação de caráter qualitativo, com vistas para concretização dos objetivos esperados.

Os aportes teóricos que constituíram este momento foram os de Matera e Romanel (2014), Varela (s. a), Knappet e Craig (2016), Neville e Brooks (2013), Cabral e Azevedo (2016), IBI (2018), Chandra et al. (1998) citada por Costa (2014), Oliveira, (2018), Júnior (s. a), Norma Brasileira ABNT NBR 12655:2015, Almeida (2002), Andolfato (2002), Norma Brasileira ABNT NBR 16697:2018, Norma Brasileira ABNT NBR 7211:1983, La Serna e Rezende (2013), Pinheiro et. Al (2004), American Concrete Institute (2005), Norma Brasileira NBR 6118:2014, Norma Brasileira ABNT NBR 8953:2015, Ambrozewicz (2012), Norma Brasileira ABNT NBR 11768:2011, Norma Americana ASTM C 125 (ACI 212.3R, 1989), Neville (2016), Andrade et. Al. (2003), Gerscovich (s.a), Viva Decora (2019), Departamento de Estradas de Rodagem (2005), Araújo (2016).

Além de Ballester Olmos (1995) mencionado por Costa (2014), Zappi, Taylor e Larocca (2011), Instituto Chico Mendes (2011), Natureza Bela (2016), Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (2017), Calado (2008), Chandra et al. (1998) mencionada por Costa (2014), Souza (2019), Martins (2011), Sáenz (2006) citado por Souza (2019), Nunes (2011) mencionado por Nova (2018), Martínez (2005); Ramírez et al. (2012); Leónmartínez et al. (2014), ambos citados no trabalho de Souza et al. (2018), e Oliveira (2018) que cita Monteiro (2015).

Avançado o referencial teórico, foi realizada a fase de experimentos contidos neste trabalho. Inicialmente, neste segundo momento, partiu-se para a seleção dos materiais que foram utilizados para produção do aditivo, a base da mucilagem do cacto palma forrageira, e para o concreto, conforme especificados na seção Materiais neste trabalho. Os agregados miúdos e grãos foram submetidos aos ensaios de massa específica, massa unitária e granulometria, para sua caracterização física, bem como obtenção do traço a ser utilizado para confecção dos concretos, com e sem adição da MOFI, esses procedimentos podem ser consultados em detalhes na seção Métodos desta pesquisa.

O aditivo do cacto em pó foi produzido e armazenado para posterior utilização. Dessa maneira, posteriormente foi dado início a produção do concreto sem e com adição da MOFI,

respectivamente. Foram moldados dezesseis corpos-de-prova cilíndricos de dimensões 10 x 20 cm, dos quais quatro deles foram produzidos isentos da MOFI (os quatro com o mesmo traço), e os outros doze com adição da MOFI em diferentes proporções, 0,5%; 1%; e 1,5% (quatro corpos-de-prova para cada proporção), respectivamente, da massa de material cimentício utilizado para suas confecções, respeitando assim o limite máximo de aditivo a ser utilizado em concretos conforme mencionado no item 2.1.3 desta pesquisa.

Produzidos os corpos de prova de concreto, realizou-se a cura ao ar por um período de 24 horas para os corpos de prova isentos da MOFI, e 48 horas para os corpos de prova com adição da MOFI, seguida da desmoldagem e consecutiva cura úmida dos corpos-de-prova. Atingidos os 28 dias após a moldagem, e em cura úmida, os corpos-de-prova foram postos a temperatura ambiente para a obtenção da constância de suas massas.

Logo após, com os mesmos corpos de prova que foram submetidos aos períodos acima citados para constância de suas massas, foi realizada a verificação dos pesos específicos dos concretos obtidos. Posteriormente a isso, deu-se início aos ensaios não destrutivos de absorção de água por capilaridade em cada um dos dezesseis corpos-de-prova. Por fim, foi realizado o ensaio de resistência à compressão axial. Todos os ensaios foram realizados conforme estabelece suas respectivas normas vigentes citadas ao longo de toda estrutura deste trabalho. O procedimento realizado em cada ensaio de forma detalhada, encontram-se especificados na seção Métodos.

Em seguida, compondo a terceira e última fase do procedimento metodológico para desenvolvimento desta pesquisa, procede-se para a análise dos resultados, com tabulação dos dados obtidos e auxílio do *software* Excel para geração de gráficos, a fim de tornar os resultados desta pesquisa mais intuitivos, por fim foram elaboradas as conclusões deste trabalho. Este último momento da metodologia, pode ser verificado na seção Resultados e Discussões bem como na seção Conclusão.

5 MATERIAIS E MÉTODOS

Nessa seção, serão especificados detalhadamente, cada material e procedimento empregues para realizar a confecção do aditivo da Palma Forrageira em pó, a partir da Mucilagem do cacto *Opuntia Fícus-Indica* (MOFI) e dos concretos aqui estudados.

5.1 MATERIAIS

Neste item serão apresentadas as características do cimento, agregados miúdo e graúdo, aditivo e água que foram utilizados para elaborar os concretos desta pesquisa, bem como os locais nos quais eles foram obtidos.

5.1.1 Cimento Portland

Para confecção dos corpos de prova desenvolvidos nesta pesquisa foi utilizado o cimento Portland do tipo CP IV-32-RS da empresa Apodi ®. Esse tipo de cimento foi o escolhido em virtude das suas indicações de uso, que são: para ambientes quimicamente agressivos; agregados reativos e concretagem de peças de grandes volumes, como é o caso da estrutura de contenção do tipo muro de arrimo por gravidade, foco dessa pesquisa.

Durante sua utilização o mesmo se encontrou armazenado em sua própria embalagem, adequadamente lacrada para a conservação de suas propriedades, conforme recomendado pelo fornecedor. Suas características físicas fornecidas pelo fabricante encontram-se na Tabela 5. A Figura 12 ilustra o produto mencionado.

Tabela 5: Características físicas do cimento

Massa específica [g/cm³]	Peso específico [g/cm³]
2,83	1,35

Fonte: Elaborada pela autora, 2019.

Figura 12: Cimento utilizado na pesquisa



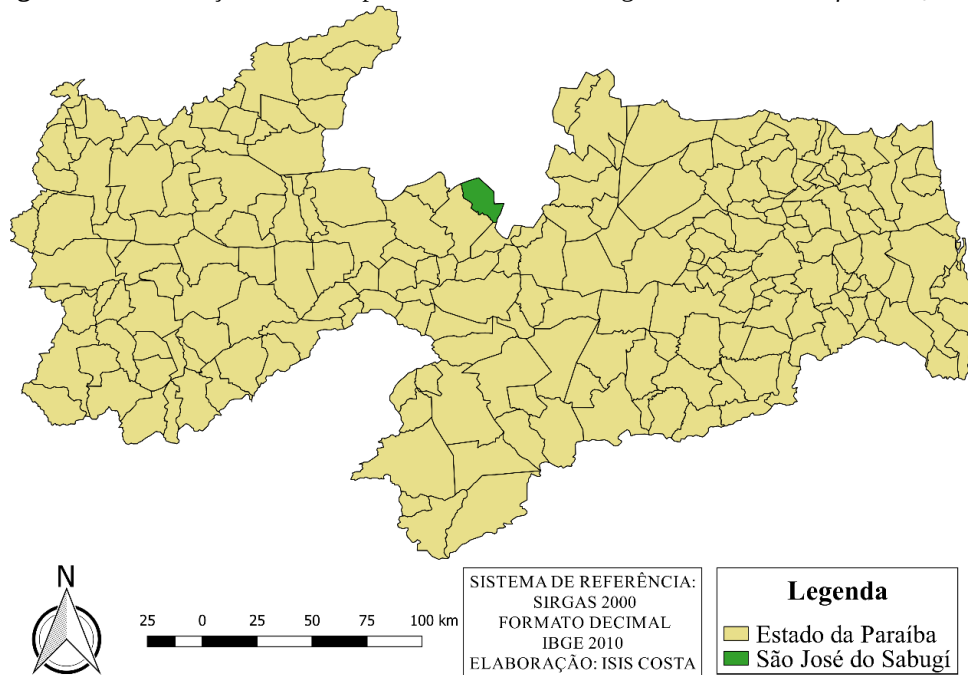
Fonte: Glocalmarketing/Apodi, 2019.

5.1.2 Areia

Utilizou-se como agregado miúdo a areia natural de rio lavada, material adquirido no sítio Carnaubinha, zona rural do município de São José do Sabugí, situado na região do Seridó Ocidental, no estado da Paraíba (Figura 13). A areia coletada e utilizada para confecção dos corpos de prova desenvolvidos neste trabalho, encontrava-se na condição de lavada, onde após coletada foi transportada, em baldes plásticos, para o laboratório da UFERSA campus Pau dos Ferros-RN. A Figura 14 ilustra a localidade do rio no sítio Carnaubinha de onde foi retirada a areia utilizada para desenvolvimento dessa pesquisa.

Antes de ser utilizada foi submetida ao peneiramento em malha 4,8 mm com a finalidade de se obter apenas a fração miúda da areia. Posterior ao peneiramento, o agregado foi armazenado até ser empregue nos ensaios laboratoriais para sua caracterização física com intuito de se obter o traço a ser usado na confecção dos concretos, e logo em seguida ser utilizado para a produção dos mesmos.

Figura 13: Localização do município de São José do Sabugí-PB, através do *software* QGIS



Fonte: Elaborada pela autora, 2019.

Figura 14: Rio no Sítio Carnaubinha - Localidade de onde foi retirada a areia para confecção do concreto



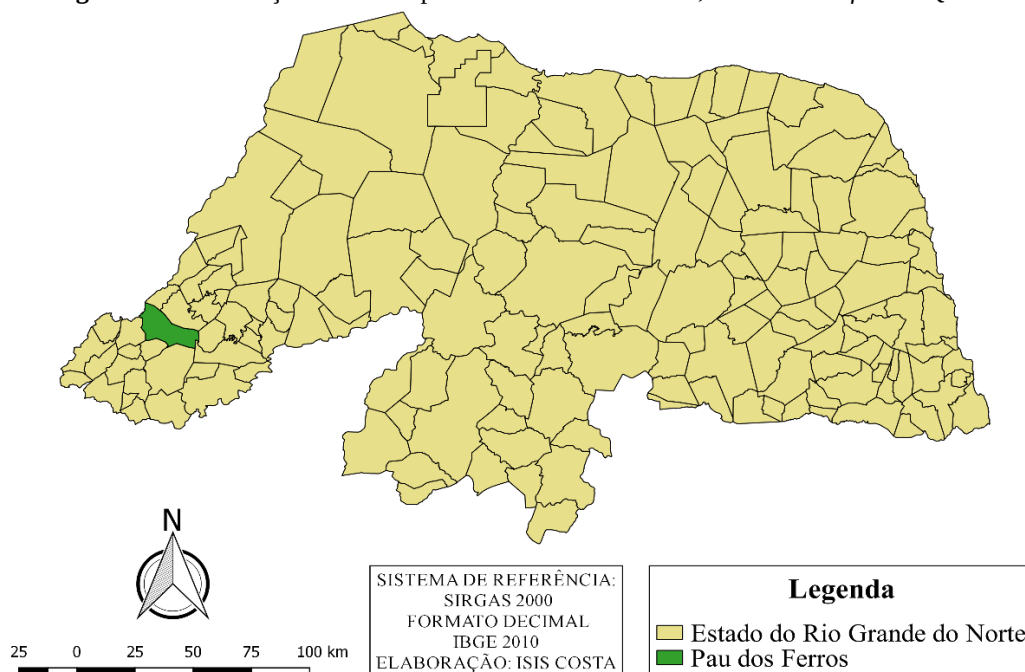
Fonte: Elaborada pela autora, 2019.

5.1.3 Brita

Utilizou-se como agregado graúdo para confecção do concreto desta pesquisa, brita de origem granítica, onde a mesma foi obtida em uma loja de material de construção no município de Pau dos Ferros, região do Alto Oeste no estado do Rio Grande do Norte (Figura 15). Segundo

informações relatadas pelo vendedor, a brita fornecida é originária da própria região, e trata-se de brita tipo 1 (b1).

Figura 15: Localização do município de Pau dos Ferros-RN, através do *software* QGIS



Fonte: Elaborada pela autora, 2019.

5.1.4 Água

A água utilizada para elaboração do concreto desta pesquisa, foi a proveniente da rede de distribuição que abastece a UFERSA campus Pau dos Ferros, a mesma se encontrava a temperatura ambiente. A referida água também foi utilizada para preencher os reservatórios nos quais os corpos de prova foram submetidos a cura úmida.

5.1.5 Aditivo

O aditivo produzido sob a forma de pó, foi gerado a partir da utilização da palma forrageira. O aditivo foi elaborado pelo procedimento de mucilagem em pó, conforme mencionado no trabalho de Costa (2014). Os cactos do gênero *Opuntia fícus indica* foram extraídos do Sítio Carnaubinha, zona rural do município de São José do Sabugí-PB (Figura 13), mesmo local de onde se extraiu a areia mencionada no item 5.1.2. A Figura 16 ilustra a localidade de onde se retirou os cactos para desenvolvimento desta pesquisa.

Figura 16: Cacto do gênero *Opuntia* em São José do Sabugí-PB



Fonte: Elaborada pela autora, 2019.

5.2 MÉTODOS

Neste item serão apresentados os métodos usados para realizar os ensaios de caracterização física dos agregados, tanto miúdo quanto graúdo, bem como os processos seguidos para produzir o aditivo do cacto Palma Forrageira em pó.

5.2.1 Caracterização física do agregado miúdo

A caracterização física da areia utilizada para confecção do concreto desta pesquisa, foi realizada mediante ensaios normalizados pela Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. Os ensaios praticados foram os de determinação da massa específica por meio do frasco de Chapman, determinação da massa unitária em estado solto e granulometria do agregado.

Fez-se necessário caracterizar de maneira física o agregado miúdo, pois os dados obtidos nos referidos ensaios foram imprescindíveis para obtenção do traço para posterior produção do concreto. Os procedimentos adotados para realizar a caracterização foram os estabelecidos em suas respectivas normas, conforme apresentada o Quadro 4.

Quadro 4: Caracterização física da areia

Característica	Norma utilizada
Massa específica	NBR 9776:1987
Massa unitária no estado solto	NBR 7251:1982
Granulometria	NBR7217:2003

Fonte: Elaborada pela autora, 2019.

Os limites de distribuição granulométrica para o agregado miúdo segundo a ABNT NBR 7211:2005 – Agregados para concreto: especificações, encontram-se dispostos na Tabela 6.

Tabela 6: Limites de distribuição granulométrica do agregado miúdo

Peneira com abertura de malha (ABNT NBR NM ISO 3310-1)	Porcentagem, em massa, retida acumulada			
	Limites inferiores		Limites superiores	
	Zona utilizável	Zona ótima	Zona ótima	Zona utilizável
9,5 mm	0	0	0	0
6,3 mm	0	0	0	7
4,75 mm	0	0	5	10
2,36 mm	0	10	20	25
1,18 mm	5	20	30	50
600 µm	15	35	55	70
300 µm	50	65	85	95
150 µm	85	90	95	100

Fonte: Adaptado, ABNT NBR 7211:2005.

Para realização do ensaio de massa específica da areia, inicialmente secou-se a amostra em Estufa a 110°C, até obtenção da constância de seu peso conforme ilustrado na Figura 17.

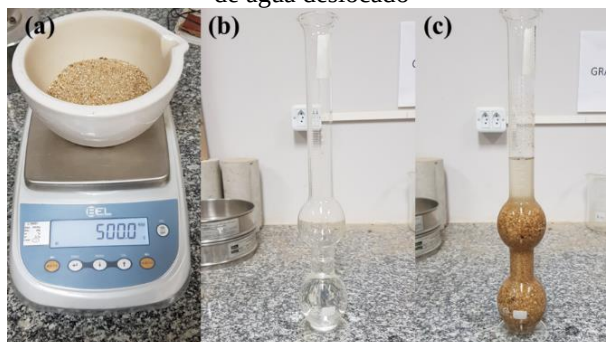
Figura 17: (a) Amostra da areia, (b) amostra em estufa, (c) amostra seca



Fonte: Elaborada pela autora, 2019.

Pesou-se duas amostras do agregado miúdo, de 500 g cada. Em seguida Colocou-se água no frasco de Chapman até a marca de 200 cm³. Introduziu-se cuidadosamente as 500 g de agregado no frasco, com auxílio de um funil e agitou-se o frasco, cuidadosamente com movimentos circulares, para eliminação das bolhas de ar. Por fim foi realizada a leitura final do nível de água no frasco. O procedimento foi realizado para as duas amostras de agregado. As Figura 18 ilustra as fases mencionadas realizadas nas duas amostras.

Figura 18: Procedimento: (a) Pesagem da amostra, (b) água no frasco de Chapman, (c) leitura final do volume de água deslocado



Fonte: Elaborada pela autora, 2019.

Para realização do ensaio da massa unitária no estado solto da areia, primeiro secou-se a areia em Estufa a 110 °C, conforme já ilustrado na Figura 17. Em seguida foi necessário determinar o volume do recipiente a ser utilizado no desenvolvimento do ensaio, para isto foi realizada com auxílio de um paquímetro a medição do diâmetro e altura do recipiente, para posterior obtenção do volume. A Tabela 7 informa os valores obtidos.

Tabela 7: Medidas do recipiente utilizado no ensaio

Diâmetro [<i>mm</i>]	57,45
Altura [<i>mm</i>]	37,23
Volume [<i>cm</i> ³]	96,51

Fonte: Elaborada pela autora, 2019.

Em seguida separou-se a amostra a ser empregue, com volume duas vezes maior que a capacidade de volume do recipiente a ser utilizado. Pesou-se o recipiente para medir sua massa, encheu-se o recipiente com a amostra soltando-a de uma altura aproximada de 15 cm para evitar a compactação do material. Por fim, pesou-se o conjunto recipiente mais amostra. Esse processo foi realizado para as duas amostras. A Figura 19 ilustra o procedimento realizado.

Figura 19: Procedimento para obtenção da massa unitária da areia - (a) massa do recipiente, (b) massa do conjunto



Fonte: Elaborada pela autora, 2019.

Para realização do ensaio de granulometria da areia, inicialmente secou-se a amostra em Estufa a 110°C (Figura 17). Em seguida, fez-se necessário separar a amostra mínima para o ensaio, conforme especifica a NBR 7217:2003, que para agregados de diâmetro entre 4,8 mm e 6,3 mm deve ser uma massa mínima de 3 kg. Foram utilizadas duas amostras para análise granulométrica.

Separou-se a série de peneiras a ser utilizada no ensaio, que foram: 6,3 mm; 4,75 mm; 2,36 mm; 1,18 mm; 600 µm; 300 µm e 150 µm. Encaixou-se a série de peneiras, previamente limpas, com abertura de malha em ordem crescente, da base para o topo, juntamente com o fundo e a tampa. Colocou-se a amostra sobre a peneira superior (6,3 mm), tampou-se o conjunto e agitou-se até a completa classificação do material, essa agitação foi feita por tempo razoável, que permitiu a separação e classificação da amostra. Em seguida pesou-se a massa retida do agregado em cada uma das peneiras.

5.2.2 Caracterização física do agregado graúdo

A caracterização física da brita utilizada para confecção do concreto desta pesquisa, foi realizada mediante ensaios normalizados pela Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. Os ensaios praticados foram os de determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água do agregado graúdo; determinação da massa unitária compactada em estado solto e granulometria do agregado.

Fez-se necessário caracterizar de maneira física o agregado graúdo, pois os dados obtidos nos referidos ensaios foram imprescindíveis para obtenção do traço para posterior produção do concreto. Os procedimentos adotados para realizar a caracterização foram os estabelecidos em suas respectivas normas, conforme apresenta o Quadro 5.

Quadro 5: Caracterização física da brita

Característica	Norma utilizada
Massa específica, específica aparente e absorção de água	NBR NM 53:2003
Massa unitária compactada no estado solto	NBR NM 45:2006
Granulometria	NBR 7217:2003

Fonte: Elaborada pela autora, 2019.

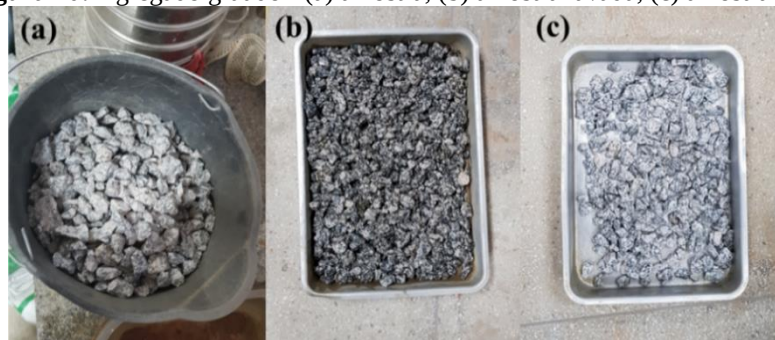
Os limites de distribuição granulométrica para o agregado graúdo segundo a ABNT NBR 7211:2005 – Agregados para concreto: especificações, encontram-se dispostos na Tabela 8.

Tabela 8: Limites de distribuição granulométrica do agregado miúdo

Peneira com abertura de malha (ABNT NBR NM ISO 3310-1)	Porcentagem, em massa, retida acumulada				
	Zona granulométrica (d/D)				
	4,75/12,5	9,5/25	19/31,5	25/50	37,5/75
9,5 mm	2 – 15	80 - 100	95 – 100	-	-
6,3 mm	40 – 65	92 - 100	-	-	-
4,75 mm	80 – 100	95 – 100	-	-	-
2,36 mm	95 - 100	-	-	-	-

Fonte: Adaptado, ABNT NBR 7211:2005.

Para realização do ensaio de determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água do agregado graúdo, inicialmente coletou-se a amostra, lavou-se e a mesma foi posta na Estufa à $105 \pm 5^\circ\text{C}$ por 24 horas, a Figura 20 ilustra esse procedimento. Em seguida imergiu a amostra em água a temperatura ambiente por 24 horas.

Figura 20: Agregado graúdo - (a) amostra, (b) amostra lavada, (c) amostra seca

Fonte: Elaborada pela autora, 2019.

Passadas as 24 horas, retirou-se a mesma da água e secou-se superficialmente com um pano úmido. A amostra foi pesada em seguida para obtenção de massa saturada de superfície seca. Logo após a amostra foi novamente imersa em água para determinação de sua massa saturada de superfície seca submersa, essa fase do procedimento pode ser vista na Figura 21.

Figura 21: Massa específica da brita - (a) amostra sendo secada superficialmente, (b) massa saturada de superfície seca, (c) massa saturada de superfície seca submersa

Fonte: Elaborada pela autora, 2019.

Por fim, a amostra foi levada novamente para secagem em Estufa à $105 \pm 5^{\circ}\text{C}$ por 24 horas e em seguida pesada, para determinação da massa seca.

Para realização do ensaio de massa unitária compactada do agregado graúdo, primeiro secou-se a amostra em Estufa como ilustrado na Figura 20. Em seguida realizou-se a medição com auxílio de um paquímetro do recipiente a ser utilizado no ensaio para posterior obtenção do volume do mesmo. A Tabela 9 informa esses valores.

Tabela 9: Dimensões do recipiente utilizado no ensaio

Diâmetro [mm]	203,69
Altura [mm]	49,53
Volume [cm³]	1614,14

Fonte: Elaborada pela autora, 2019.

Posterior a isso, separou-se a amostra a ser utilizada, com volume duas vezes maior que o correspondente a capacidade do recipiente e pesou-se o recipiente. Colocou-se a amostra no recipiente de forma a ocupar 1/3 do volume do mesmo, nivelou a superfície com a mão e em seguida aplicou-se 25 golpes com haste metálica de adensamento em toda a amostra. Repetiu-se o procedimento anterior para o 2/3 e 3/3 do volume do recipiente, em seguida pesou-se o conjunto recipiente mais amostra. O processo descrito foi realizado para duas amostras. A Figura 22 ilustra esse procedimento.

Figura 22: Procedimento para a massa unitária compactada da brita - (a) 1/3 do volume, (b) golpes com haste de socamento, (c) pesagem da amostra compactada



Fonte: Elaborada pela autora, 2019.

Para realização do ensaio de granulometria do agregado graúdo, primeiro secou-se a amostra em Estufa a $105 \pm 5^{\circ}\text{C}$ por 24 horas (Figura 20). Em seguida, fez-se necessário separar a amostra mínima para o ensaio, conforme especifica a NBR 7217:2003, que para agregados de

diâmetro entre 9,5 mm e 25 mm deve ser uma massa mínima de 5kg. O ensaio foi realizado para duas amostras.

Separou-se a série de peneiras a ser utilizada no ensaio, que foram: 19 mm; 9,50 mm; 6,30 mm; 4,75 mm; 2,36 mm; 1,18 mm; 600 μ m; 300 μ m e 150 μ m. Encaixou-se a série de peneiras, previamente limpas, com abertura de malha em ordem crescente, da base para o topo, juntamente com o fundo e a tampa. Colocou-se a amostra sobre a peneira superior (19 mm), tampou-se o conjunto e agitou-se até a completa classificação do material, essa agitação foi feita por tempo razoável, que permitiu a separação e classificação da amostra. Em seguida pesou-se a massa retida do agrado em cada uma das peneiras.

5.2.3 Mucilagem do cacto *Opuntia Fícus-Indica*

A produção do aditivo de cacto em pó se deu através do processo da mucilagem, envolvendo diversas etapas. Inicialmente, pesou-se as raquetes da palma forrageira numa Balança Analítica de Precisão, da marca Bel engineering ® modelo L16001, totalizando aproximadamente 12 kg de cacto, conforme ilustra a Figura 23.

Figura 23: Raquetes de palma forrageira utilizadas no processo de mucilagem



Fonte: Elaborada pela autora, 2019.

Após pesadas e separadas as raquetes do cacto, as mesmas foram cortadas em pequenos pedaços e reservada, a Figura 24 ilustra esse procedimento.

Figura 24: Raquete do cacto sendo cortada



Fonte: Elaborada pela autora, 2019.

Em seguida colocou-se as bandejas com os pedaços cortados da palma forrageira na Estufa com Circulação e Renovação de Ar da marca Solab ®, modelo SL – 102, para desidratação da mesma à $105 \pm 5^{\circ}\text{C}$ por aproximadamente 48 horas ininterruptas, essa etapa do procedimento pode ser vista nas Figuras 25 e 26.

Figura 25: Pedacos cortados do cacto inseridos na Estufa



Fonte: Elaborada pela autora, 2019.

Figura 26: Cacto *Opuntia Ficus Indica* desidratado: (a) e (b) na Estufa durante o processo de desidratação, (c) fora da Estufa após 48 horas, totalmente desidratado



Fonte: Elaborada pela autora, 2019.

Após retirados os cactos da Estufa, os mesmos foram reservados para retornar a temperatura ambiente. Depois de atingida a temperatura ambiente pesou-se o material desidratado, obteve-se 1301,7 g de cacto desidratado.

Em seguida triturou-se o cacto desidratado no liquidificador e e peneirou-se o material obtido na peneira de abertura 600 μm , conforme ilustra a Figura 27. Após o peneiramento da Mucilagem do cacto *Opuntia Ficus Indica* – MOFI, obteve-se 1214,2 g do aditivo.

Figura 27: MOFI - (a) triturando o cacto no liquidificador, (b) volume total do cacto triturado, (c) peneiramento da MOFI e (d) MOFI finalizado



Fonte: Elaborada pela autora, 2019.

5.2.4 Preparação dos concretos

Foram produzidos 4 tipos de concreto, denominados de referência (REF.); MOFI 0,5 %; MOFI 1,0 % e MOFI 1,5%. O Concreto REF. Foi assim denominado por ter sido tomado com referência para os resultados dos ensaios em relação aos concretos aditivados com as três diferentes porcentagens da Mucilagem do cacto *Opuntia Ficus Indica* – MOFI, ou seja, do aditivo do cacto em pó em relação à massa de material cimentício.

Os concretos aditivados com 0,5% de aditivo do cacto em pó receberam o nome de MOFI 0,5%; os aditivados com 1,0% da Mucilagem da palma forrageira foram denominados de MOFI 1,0%; por último, os concretos aditivados com 1,5% do aditivo do cacto em pó receberam a denominação de MOFI 1,5%. As porcentagens de aditivo utilizadas foram definidas aleatoriamente, dentro da quantidade máxima permitida para utilização de aditivos conforme prescrições normativas já citadas neste trabalho.

Com a caracterização física dos agregados miúdo e graúdo, bem como as propriedades físicas do cimento utilizados para confecção dos concretos dessa pesquisa, foi possível realizar os cálculos de dosagem de concreto, que se encontram disponibilizados no Apêndice A deste trabalho, e assim encontrar o traço para elaboração dos concretos pelo método de dosagem da

Associação Brasileira de Cimento Portland – ABCP. O traço em massa obtido foi 1 : 3 : 2 ½ : 0,6. A dosagem e a quantidade de aditivo de cacto incorporado em cada concreto encontram-se resumidos e apresentados na Tabela 10.

Tabela 10: Traço, nomenclatura dos concretos e quantidade de aditivo incorporado

Traço	Tipo de concreto	Quantidade de aditivo em porcentagem do cacto em pó incorporado em relação a massa de cimento
1 : 3 : 2 ½ : 0,6	REF	-
	MOFI 0,5%	0,5%
	MOFI 1,0%	1,0%
	MOFI 1,5%	1,5%

Fonte: Elaborada pela autora, 2019.

Todos os concretos foram produzidos mediante a mistura prévia dos materiais secos, seguindo do acréscimo cuidadoso da água, até se obter a homogeneização, a mistura se deu de forma manual. As quantidades de cada material utilizados nos concretos encontram-se discriminados na Tabela 11.

Tabela 11: Quantidade de materiais utilizados em cada concreto

Tipo de concreto	Cimento	Areia	Brita	Água	Aditivo do cacto em pó
REF	540 g	1600 g	1400 g	320 ml	-
MOFI 0,5%				320 ml	2,7 g
MOFI 1,0%				300 ml	5,4 g
MOFI 1,5%				290 ml	8,1 g

Fonte: Elaborada pela autora, 2019.

Nota-se que houve necessidade de se reduzir a relação água/cimento para confecção do concreto com teores de 1,0% e 1,5% de adição da Mucilagem da Palma Forrageira, isso se deu no momento da moldagem dos corpos de prova, que ao ir adicionando a quantidade pré-estabelecida de água foi-se percebendo a homogeneização sendo atingida antes de se utilizar a quantidade de água em sua totalidade, então, com o intuito de não produzir um concreto fluído e conseqüentemente menos resistente, optou-se por utilizar quantidades reduzidas de água conforme prescrito na Tabela anterior. Esse fator pode estar atrelado ao fato das características do cacto *Opuntia Ficus Indica* como mencionado na seção 3.3 Cactáceas deste trabalho.

A Figura 28 ilustra o momento de mistura prévia seca com alguns dos materiais constituintes dos concretos produzidos neste trabalho.

Figura 28: Mistura prévia dos materiais secos (cimento, areia e MOFI)



Fonte: Elaborada pela autora, 2019.

5.2.5 Moldagem e cura dos corpos de prova

Foram moldados dezesseis corpos de prova cilíndricos de aço com dimensões 10 cm de diâmetro por 20 cm de altura, dos quais quatro foram produzidos com o traço de referência, isento da mucilagem do cacto *Opuntia Ficus Indica* e os outros doze foram produzidos com adição da mucilagem da palma forrageira, sendo quatro aditivados em 0,5% da massa de cimento (MOFI 0,5%), outros quatro com adição de 1,0% da mucilagem (MOFI 1,0%) e os últimos quatro com 1,5% do aditivo em pó (MOFI 1,5%), ou seja, foram produzidos quatro exemplares de cada tipo de concreto produzido nesta pesquisa.

Os corpos de prova foram moldados conforme especifica a ABNT NBR 5738:2015 – Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. O concreto foi inserido dentro dos moldes de acordo com o mencionado na referida norma, que para o caso de corpos de prova de 10 cm de diâmetro por 20 cm de altura e adensamento manual, são necessárias duas camadas, sendo cada uma delas adensadas a partir da aplicação de 12 golpes com haste metálica.

Os golpes foram distribuídos uniformemente na seção transversal do corpo de prova. Na primeira camada tomou-se o cuidado de não golpear a base do molde. Já nas demais camadas o adensamento se deu em toda sua espessura com a haste penetrando aproximadamente 2 cm da camada anterior. A Figura 29 ilustra os corpos de prova moldados.

Figura 29: Corpos de prova moldados



Fonte: Elaborada pela autora, 2019.

Após a moldagem dos corpos de prova os mesmos foram submetidos à cura inicial ao ar durante um período de 24 horas, em seguida foram cuidadosamente desmoldados e identificados, exceto os corpos de prova com incorporação do aditivo de cacto em pó que necessitaram de um maior período de tempo de cura, portanto foram desmoldados decorridas 48 horas após a moldagem, uma vez que decorridas as 24 horas iniciais, observou-se que estes aparentavam não ter se solidificado completamente.

Posterior a desmoldagem dos corpos de provas, foram submetidos à cura final, realizada sob a forma úmida, através da imersão dos mesmos em recipientes com água suficiente para cobri-los, de modo a garantir que permaneçam submersos durante 28 dias, conforme normalizações técnicas, contados a partir do dia da moldagem. Os corpos de prova em cura úmida podem ser visualizados na Figura 30.

Figura 30: Corpos de prova em cura úmida



Fonte: Elaborada pela autora, 2019.

5.2.6 Ensaios no concreto

5.2.6.1 Peso específico

Decorridos os 28 dias submetidos a cura úmida, os corpos de prova foram retirados do recipiente no qual encontravam-se submersos e foram reservados por 24 horas para secagem sob temperatura ambiente. Depois de secos, foi realizada pesagem de todos para determinação de seus respectivos pesos específicos.

As pesagens foram realizadas em uma Balança Analítica de Precisão, da marca Bel engineering ® modelo L16001. A Tabela 12 informa as massas dos CP's, bem como a média para cada tipo, pois a obtenção dos valores de pesos específicos dos quatro tipos de concretos preparados foi com base nas médias de suas massas.

Tabela 12: Massa dos corpos de prova

Tipo do concreto	Massa [g]				
	CP 1	CP 2	CP 3	CP 4	Média
Referência	3551,20	3562,50	3562,50	3542,30	3554,63
MOFI 0,5 %	3491,20	3568,50	3485,80	3512,10	3514,40
MOFI 1,0%	3516,40	3514,60	3550,50	3512,70	3523,55
MOFI 1,5 %	3490,20	3483,70	3514,10	3510,90	3499,73

Fonte: Elaborada pela autora, 2019.

5.2.6.2 Absorção de água por capilaridade

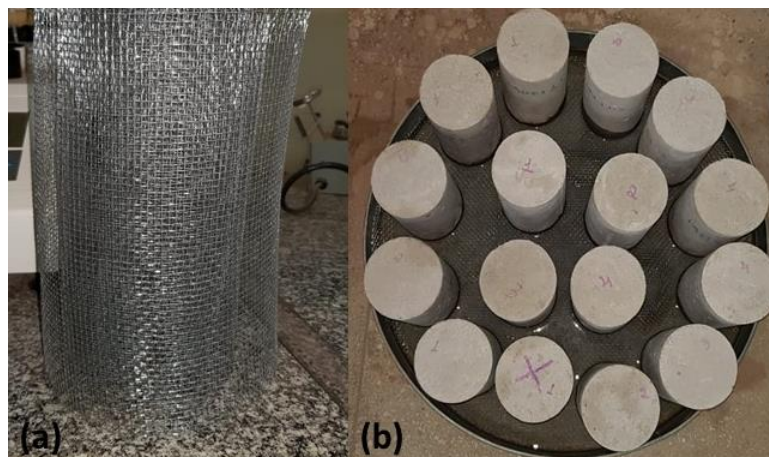
O ensaio de absorção de água por capilaridade no concreto foi realizado conforme especificações da ABNT NBR 9779:2012 – Argamassa e concreto endurecidos: Determinação da absorção de água por capilaridade. Todos os CP's produzidos foram submetidos ao ensaio.

O ensaio consistiu em posicionar os CP'S sobre um suporte, dentro de um recipiente. O suporte foi improvisado, utilizou-se uma tela de aço, conforme ilustrada na Figura 31 (a). Em seguida o recipiente de ensaio foi preenchido com água de modo que o nível de água permaneceu constante a (5 ± 1) mm acima da face inferior dos CP's, evitando a molhagem de outras superfícies, conforme ilustrado na Figura 31 (b).

Durante o ensaio, realizou-se pesagens de todos os CP's, com o intuito de determinar suas massas saturadas (m_{sat}) com 3 h, 6 h, 24 h, 48 h e 72 h, contadas a partir da colocação

destes em contato com a água. A Tabela 13 informa os valores das massas obtidas em função do tempo para cada CP.

Figura 31: Ensaio de absorção de água por capilaridade - (a) suporte utilizado, (b) realização do ensaio



Fonte: Elaborada pela autora, 2019.

Tabela 13: Massas dos CP's em 3h, 6h, 24h, 48h e 72 da realização do ensaio de absorção de água por capilaridade

Tipo de concreto	CP 1	CP 2	CP 3	CP 4	Média
Massa em 3 horas (g)					
Referência	3569,00	3582,00	3582,00	3560,00	3573,25
MOFI 0,5 %	3510,00	3584,00	3506,00	3531,00	3532,75
MOFI 1,0 %	3535,00	3530,00	3570,00	3533,00	3542,00
MOFI 1,5 %	3507,00	350000	3533,00	3531,00	3517,75
Massa em 6 horas (g)					
Referência	3567,00	3579,00	3580,00	3559,00	3571,25
MOFI 0,5 %	3509,00	3584,00	3505,00	3531,00	3532,25
MOFI 1,0 %	3535,00	3530,00	3570,00	3533,00	3542,00
MOFI 1,5 %	3507,00	3500,00	3532,00	3531,00	3517,50
Massa em 24 horas (g)					
Referência	3568,00	3580,00	3580,00	3559,00	3571,75
MOFI 0,5 %	3508,00	3582,00	3502,00	3529,00	3530,25
MOFI 1,0 %	3533,00	3529,00	3565,00	3529,00	3539,00
MOFI 1,5 %	3505,00	3498,00	3529,00	3528,00	3515,00
Massa em 48 horas (g)					
Referência	3564,00	3575,00	3575,00	3556,00	3567,50
MOFI 0,5 %	3503,00	3578,00	3496,00	3524,00	3525,25
MOFI 1,0 %	3529,00	3524,00	3560,00	3523,00	3534,00
MOFI 1,5 %	3501,00	3494,00	3524,00	3523,00	3510,50
Massa em 72 horas (g)					
Referência	3559,00	3570,00	3571,00	3552,00	3563,00
MOFI 0,5 %	3498,00	3574,00	3491,00	3520,00	3520,75
MOFI 1,0 %	3523,00	3520,00	3556,00	3519,00	3529,50
MOFI 1,5 %	3498,00	3490,00	3521,00	3520,00	3507,25

Fonte: Elaborada pela autora, 2019.

5.2.6.3 Resistência à compressão axial

O ensaio de compressão axial foi realizado para todos os CP's conforme especificações normativas da NBR 5739:1994 - Concreto - Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos, numa prensa elétrica digital (teste de compressão), modelo LM-02 Type Digital Dynamometry Appea da Solocap geotecnologia rodoviária LTDA ®, de carga máxima 2000 KN com precisão de $\pm 1\%$, tensão 220 V e potência 750 W.

A Figura 32 ilustra o ensaio sendo realizado para um dos dezesseis corpos de prova ensaiados.

Figura 32: Ensaio de compressão axial do concreto



Fonte: Elaborada pela autora, 2019.

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nessa seção serão demonstrados todos os resultados que foram obtidos com essa pesquisa, fazendo uso de figuras, gráficos e Tabelas, com vistas a concretização dos objetivos deste trabalho, mencionados na seção 2. Além de ser realizado também neste item, discussões acerca dos efeitos encontrados neste trabalho acadêmico.

6.1 CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DO AGRAGADO MIÚDO

Com a metodologia empregue e descrita na seção Métodos, foi possível se obter a massa específica, unitária, curva granulométrica e módulo de finura da areia utilizada para confecção dos concretos. Para encontrar as características físicas foram utilizadas equações dispostas nas Normas Brasileiras utilizadas e citadas anteriormente, no Quadro 4. A Equação 1 foi a utilizada para cálculo da massa específica.

$$\mu = \frac{500}{L-200} \quad (1)$$

Onde,

μ é a massa específica do agregado miúdo, expressa em g/cm^3 ou kg/dm^3 ;

L é a leitura final do frasco (volume ocupado pela água mais o agregado miúdo), expressa em cm^3 .

A Tabela 14 informa os resultados referentes ao ensaio para obtenção da massa específica do agregado miúdo.

Tabela 14: Resultados do ensaio de massa específica da areia

Amostra 1		Amostra 2	
$M_s [g]$	$L [cm^3]$	$M_s [g]$	$L [cm^3]$
500	397	500	398
$\mu_1 [g/cm^3]$		$\mu_2 [g/cm^3]$	
2,54		2,52	
$ \mu_1 - \mu_2 \leq 0,05 g/cm^3$		$ 0,02 \leq 0,05 g/cm^3$	
$\mu_{médio} [g/cm^3]$		2,53	

Fonte: Elaborada pela autora, 2019.

Para se obter a massa unitária do agregado miúdo a equação 2 foi a utilizada, os resultados encontrados estão dispostos na Tabela 15.

$$\gamma = \frac{M_{ra} - M_r}{V_r} \quad (2)$$

Onde,

γ é a massa unitária do agregado miúdo, expressa em g/cm^3 ou kg/dm^3 ;

M_{ra} é a massa do conjunto (recipiente mais amostra), expressa em g ;

M_r é a massa do recipiente, expressa em g ;

V_r é o volume do recipiente, expresso em cm^3 .

Tabela 15: Resultados do ensaio de massa unitária da areia

Amostra 1			Amostra 2		
$M_r [g]$	$M_{ra} [g]$	$V_r [cm^3]$	$M_r [g]$	$M_{ra} [g]$	$V_r [cm^3]$
12	150,8	96,51	12	149,4	96,51
$\gamma_1 [g/cm^3]$			$\gamma_2 [g/cm^3]$		
1,44			1,42		
$ \gamma_1 - \gamma_2 \leq 0,05 g/cm^3$			$ 0,02 \leq 0,05 g/cm^3$		
$\gamma_{médio} [g/cm^3]$			1,43		

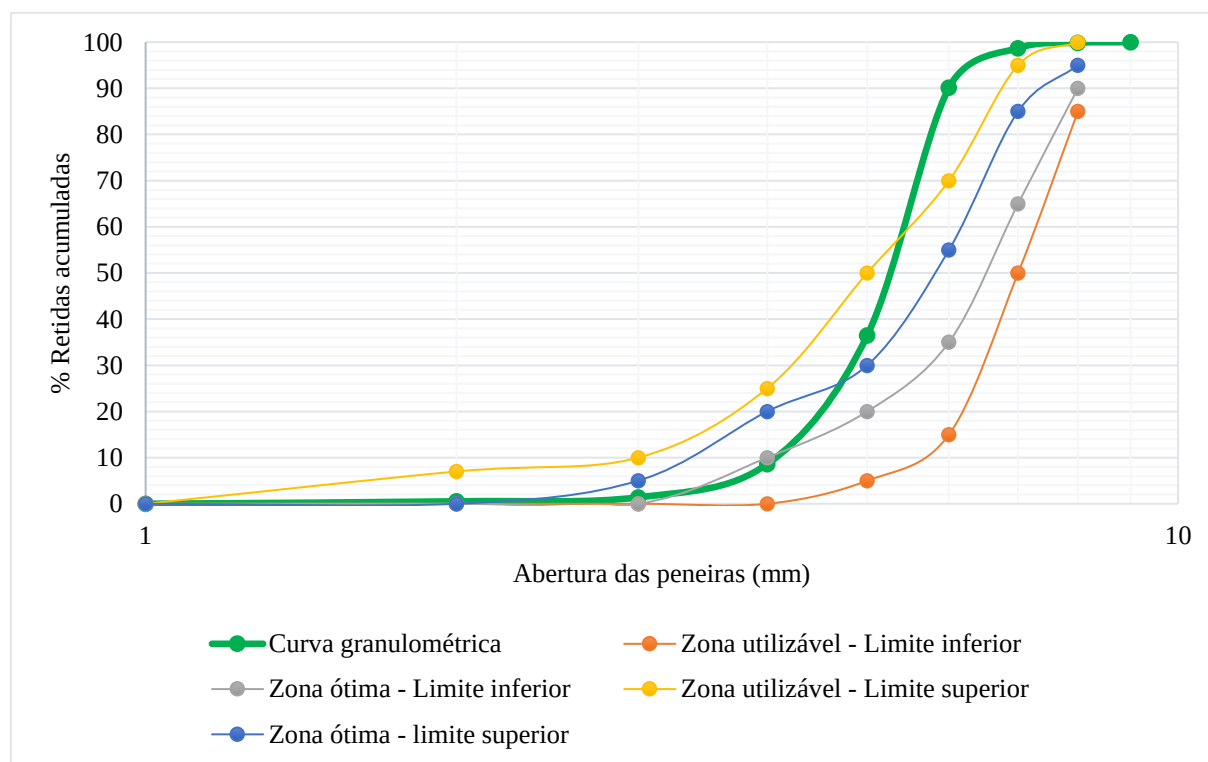
Fonte: Elaborada pela autora, 2019.

As porcentagens do material retido em cada peneira utilizada no ensaio de granulometria são apresentadas na Tabela 16, bem como o módulo de finura encontrado para a areia. A curva granulométrica do agregado miúdo em comparação aos limites para zonas inferior e superior do mesmo encontram-se ilustradas na Figura 33.

Tabela 16: Resultados do ensaio de granulometria da areia

Peneiras [mm]	Primeira determinação			Segunda determinação			Média	
	Massa retida [g]	% Retida individual	% Retida acum.	Massa retida [g]	% Retida individual	% Retida acum.	% Retida individual	% Retida acum.
9,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
6,3	10,5	0,35	0,35	21,1	0,71	0,71	0,53	0,53
4,75	23,1	0,77	1,12	28,5	0,95	1,66	0,86	1,39
2,36	177,2	5,93	7,05	253,7	8,48	10,14	7,2	8,59
1,18	819,2	27,4	34,46	848,3	28,35	38,49	27,88	36,47
0,6	1649,2	55,17	89,62	1560,8	52,17	90,66	53,67	90,14
0,3	268,8	8,99	98,62	242,7	8,11	98,77	8,55	98,69
0,15	37,5	1,25	99,87	32,9	1,1	99,87	1,18	99,87
Fundo	3,9	0,13	100,0	3,8	0,13	100,0	0,13	100,0
Total	2989,4	100,0	431,09	2991,8	100,0	440,3	100,0	435,7
Dif. amostral		10,6 g			8,20 g		9,40 g	
MF		4,31			4,40		4,36	

Fonte: Elaborada pela autora, 2019.

Figura 33: Curva granulométrica da areia

Fonte: Elaborada pela autora, 2019.

De maneira resumida a Tabela 17 informa as características físicas do agregado miúdo de acordo com o que foi exposto anteriormente.

Tabela 17: Resultados da caracterização física da areia

Característica	Valor encontrado
Massa específica	2,53 g/cm ³
Massa unitária solta	1,43 g/cm ³
Módulo de finura (granulometria)	4,36

Fonte: Elaborada pela autora, 2019.

Os resultados obtidos nesta fase de caracterização física do agregado miúdo encontram-se dentro das médias apresentadas nas bibliografias que tratam do assunto, com exceção do módulo de finura obtido a partir do ensaio de granulometria, que apresentou um valor superior ao maior valor mencionado na NBR 7211:2005.

Analisando o gráfico da curva granulométrica apresentado na Figura 33 é possível verificar que se trata de um agregado utilizável, uma vez que sua curva se encontra dentro das curvas das zonas utilizável inferior e superior na maior parte do ensaio, excedendo um pouco os valores da zona utilizável limite superior a partir do momento que passa a reter 60 % de sua massa, o que justifica o valor encontrado para seu módulo de finura e a classifica como uma areia grossa.

Vale salientar que a areia utilizada para confecção dos concretos desta pesquisa passou pelo processo de peneiramento na peneira 4,8 mm com o intuito de usar apenas a fração miúda do material.

6.2 CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DO AGRAGADO GRAÚDO

De acordo com os procedimentos metodológicos adotados e descritos na seção Métodos, foi possível determinar a massa específica, específica aparente, absorção de água do agregado graúdo, massa unitária compactada e a curva granulométrica da brita utilizada para confecção dos concretos. Para encontrar as características físicas foram utilizadas equações dispostas nas Normas Brasileiras utilizadas e citadas anteriormente, no Quadro 5.

A Equação 3 foi a utilizada para cálculo da massa específica do agregado seco, a Equação 4 para encontrar a massa específica do agregado saturado de superfície seca, a Equação 5 para determinar a massa específica aparente, e a Equação 6 para obter o valor de absorção de água do agregado graúdo.

$$\mu = \frac{M}{M_s - M_a} \quad (3)$$

Onde,

μ é a massa específica do agregado seco, expressa em g/cm^3 ou kg/dm^3 ;

M é a massa da amostra seca, expressa em g .

M_s é a massa da amostra saturada de superfície seca, expressa em g .

M_a é a massa da amostra saturada de superfície seca submersa, expressa em g .

$$\mu_{sss} = \frac{M_s}{M_s - M_a} \quad (4)$$

Onde,

μ_{sss} é a massa específica do agregado seco, expressa em g/cm^3 ou kg/dm^3 ;

M_s é a massa da amostra saturada de superfície seca, expressa em g .

M_a é a massa da amostra saturada de superfície seca submersa, expressa em g .

$$\mu_{ap} = \frac{M}{M - M_a} \quad (5)$$

Onde,

μ_{ap} é a massa específica aparente do agregado gráudo, expressa em g/cm^3 ou kg/dm^3 ;

M é a massa da amostra seca, expressa em g .

M_a é a massa da amostra saturada de superfície seca submersa, expressa em g .

$$ABS = \left(\frac{M_s - M}{M} \right) \times 100 \quad (6)$$

Onde,

ABS é a taxa de absorção de água da brita, expressa em %;

M_s é a massa da amostra saturada de superfície seca, expressa em g .

M é a massa da amostra seca, expressa em g .

A Tabela 18 informa os resultados referentes ao ensaio para obtenção da massa específica do agregado gráudo.

Tabela 18: Resultados do ensaio de massa específica da brita

Determinação	Variável	Resultados
Massa da amostra seca	M	1946,9 g
Massa da amostra saturada superfície seca	M_s	1980,5 g
Massa da amostra saturada superfície seca – submerse	M_a	1342,1 g
Massa específica de agregado seco	μ	3,0 g/cm ³
Massa específica do agregado saturada superfície seca	μ_{sss}	3,1 g/cm ³
Massa específica aparente	μ_{ap}	3,2 g/cm ³
Absorção de água	ABS	1,73 %

Fonte: Elaborada pela autora, 2019.

Para se obter a massa unitária compactada do agregado graúdo, foi utilizada a equação 7, os resultados encontrados são informados na Tabela 19.

$$\gamma_{compactada} = \frac{M_{ra} - M_r}{V_r} \quad (7)$$

Onde,

$\gamma_{compactada}$ é a massa unitária compactada do agregado graúdo, expressa em g/cm³ ou kg/dm³;

M_{ra} é a massa do conjunto (recipiente mais amostra), expressa em g;

M_r é a massa do recipiente, expressa em g;

V_r é o volume do recipiente, expresso em cm³.

Tabela 19: Resultados do ensaio de massa unitária compactada

Amostra 1			Amostra 2		
M_r [g]	M_{ra} [g]	V_r [cm ³]	M_r [g]	M_{ra} [g]	V_r [cm ³]
320,3	2572,6	1614,14	320,3	2574,0	1614,14
$\gamma_{compactada1}$ [g/cm ³]			$\gamma_{compactada2}$ [g/cm ³]		
1,4			1,4		
$ \gamma_{compactada1} - \gamma_{compactada2} \leq 0,05$ g/cm ³			$ 0,0 \leq 0,05$ g/cm ³		
$\gamma_{compactada_médio}$ [g/cm ³]			1,4		

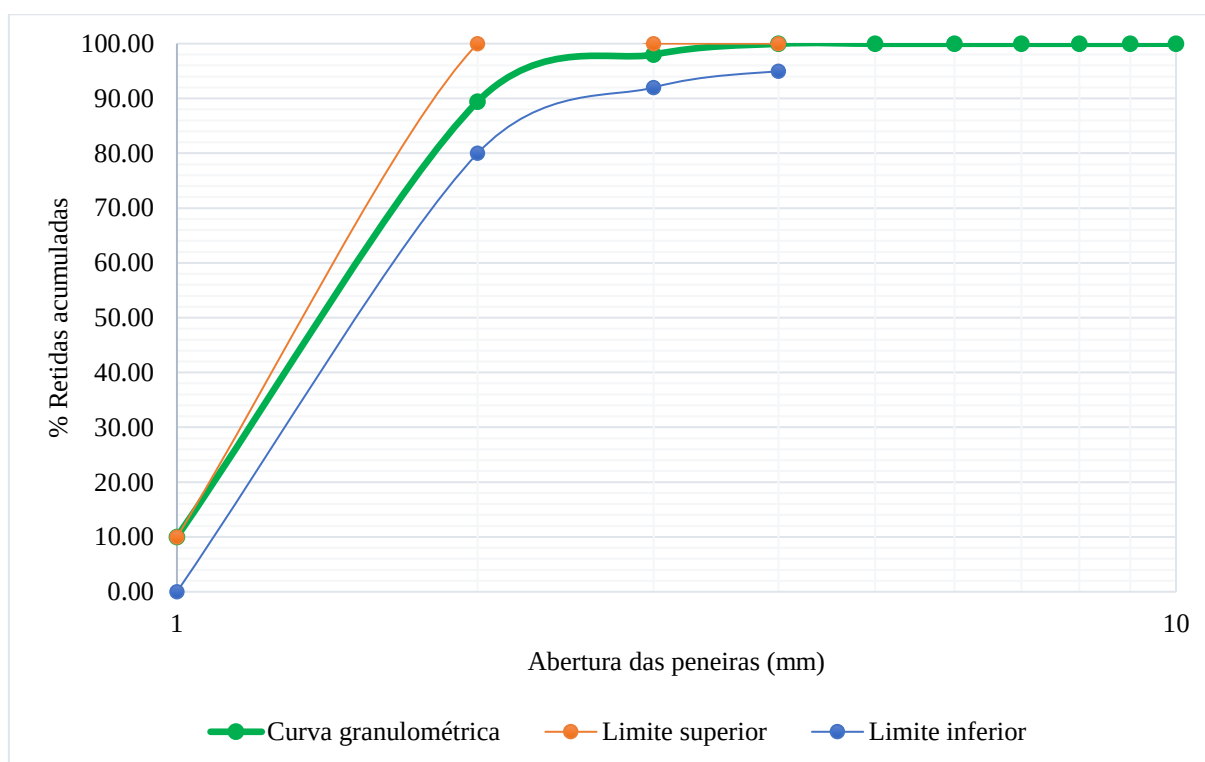
Fonte: Elaborada pela autora, 2019.

As porcentagens do material retido em cada peneira utilizada no ensaio de granulometria são apresentadas na Tabela 20. A curva granulométrica do agregado graúdo em comparação aos limites para zonas inferior e superior do mesmo encontram-se ilustradas na Figura 34.

Tabela 20: Resultado do ensaio de granulometria da brita

Peneiras [mm]	Determinação única		
	Massa retida [g]	% Retida individual	% Retida acumulada
19	500,30	10,01	10,01
9,5	3970,60	79,43	89,44
6,3	428,00	8,56	98,00
4,75	98,70	1,97	99,97
2,36	0,00	0,00	99,97
1,18	0,00	0,00	99,97
0,6	0,00	0,00	99,97
0,3	0,00	0,00	99,97
0,15	0,00	0,00	99,97
Fundo	1,40	0,03	100,00
Total	4999,00	100,00	200,00
Diferença amostral		1,00 g	

Fonte: Elaborada pela autora, 2019.

Figura 34: Curva granulométrica da brita

Fonte: Elaborada pela autora, 2019.

Para construção do gráfico acima, foram utilizados os limites superior e inferior abordados na NBR 7217:2003, para a brita um (diâmetro máximo de 19 mm). Analisando a curva granulométrica apresentada na Figura 35 é possível verificar que se trata de um agregado utilizável, uma vez que sua curva de granulometria se encontraram dentro das curvas das zonas de limite inferior e superior durante todo o ensaio.

De maneira resumida a Tabela 21 informa as características físicas do agregado graúdo de acordo com o que foi exposto anteriormente.

Tabela 21: Resultados da caracterização física da brita

Característica	Valor encontrado
massa específica do agregado seco	3,0 g/cm ³
Massa específica aparente	3,2 g/cm ³
Massa unitária compactada	1,4 g/cm ³
Absorção de água	1,73 %

Fonte: Elaborada pela autora, 2019.

Os resultados obtidos nesta fase de caracterização física do agregado graúdo encontram-se dentro das médias apresentadas nas bibliografias que tratam do assunto.

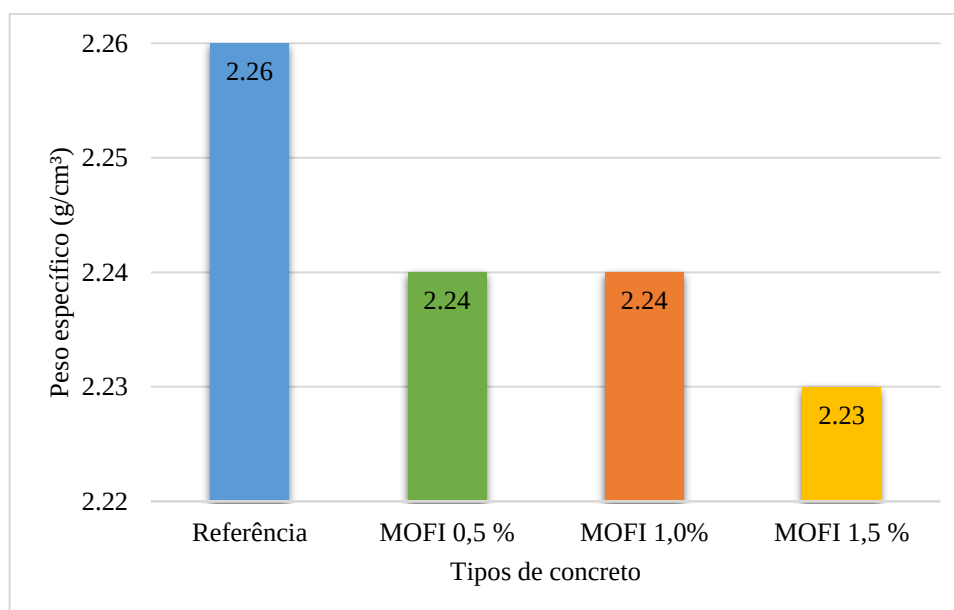
6.3 PESO ESPECÍFICO DOS CONCRETOS

A partir do conhecimento da massa e do volume dos corpos de provas produzidos, foi possível obter seus pesos específicos, já que para efeitos práticos o peso específico de um material trata-se da relação (divisão) da sua massa pelo seu volume (BOTELHO E MARCHETTI, 2004). A Tabela 22 informa os valores obtidos de peso específico dos quatro tipos de concretos produzidos e a Figura 35 ilustra o comportamento da variação dos resultados.

Tabela 22: Peso específico dos concretos

Tipo do concreto	Massa média dos CP's [g]	Volume do corpo de prova [cm³]	Peso específico [g/cm³]
Referência	3554,63	1570,80	2,26
MOFI 0,5 %	3514,40		2,24
MOFI 1,0%	3523,55		2,24
MOFI 1,5 %	3499,73		2,23

Fonte: Elaborada pela autora, 2019.

Figura 35: Peso específico dos concretos em função do tipo

Fonte: Elaborada pela autora, 2019.

Pode se perceber a partir dos resultados obtidos, que o maior valor de peso específico encontrado foi para o concreto de referência, ou seja, para o concreto isento do aditivo do cacto em pó. Todos os concretos com adição da mucilagem da palma forrageira tiveram valores de peso específico menores em comparação ao concreto de referência, nos quais estes, obtiveram valores bem próximos, entre 2,23 g/cm³ e 2,4 g/cm³.

Analizando a viabilidade em termos de peso específico, os concretos com adição da MOFI não seriam os mais indicados para utilização em estruturas de contenção do tipo muro de arrimo por gravidade, já que sua principal característica é o seu peso próprio, o que indica que quanto mais pesado o concreto for, mais viável será para confecção de muro de arrimo por gravidade. Neste caso, para os concretos produzidos nesta pesquisa, o mais eficaz em termos de peso específico seria o isento de adição da MOFI, embora como a diferença foi muito pequena, não impossibilita a utilização dos concretos aditivados.

6.4 ABSORÇÃO DE ÁGUA POR CAPILARIDADE NOS CONCRETOS

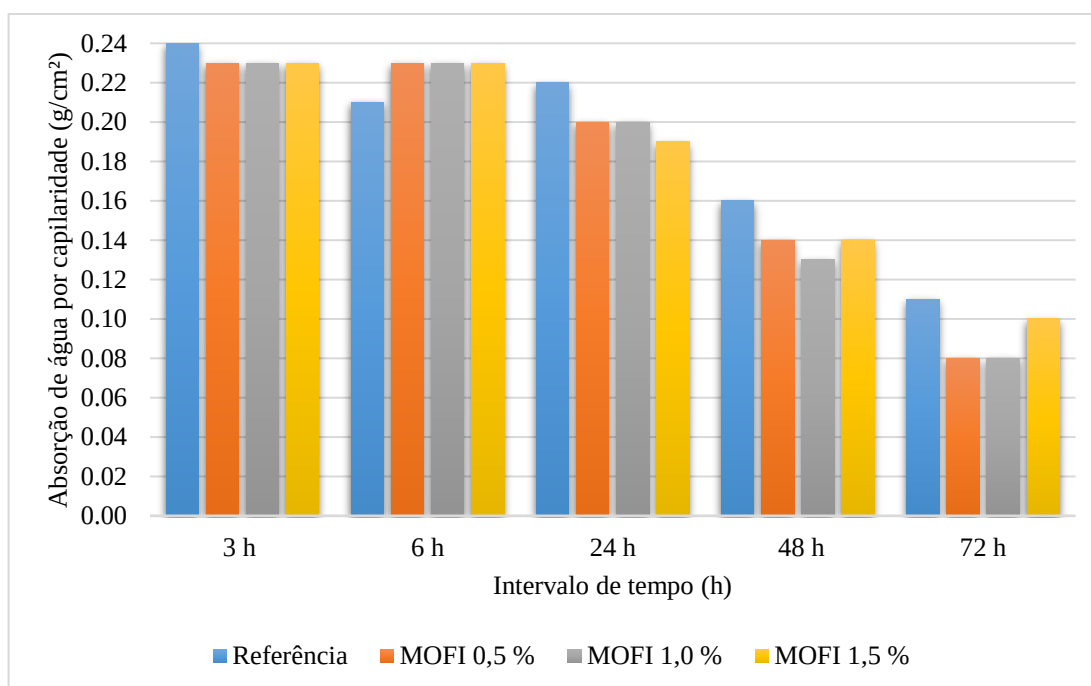
As absorções de água por capilaridade nos concretos foram calculadas de acordo com a Equação 7, seguindo o posto na NBR 9779:2012. Para cada intervalo de tempo na qual se realizou pesagens da massa saturada dos CP's, foi encontrado o valor médio de absorção por tipo de concreto produzido nesta pesquisa. A Tabela 23 informa os resultados médios obtidos.

Tabela 23: Valores da absorção média da água por capilaridade

Tipo de concreto	Absorção [g/cm^2]				
	3 h	6 h	24 h	48 h	72 h
Referência	0.24	0.21	0.22	0.16	0.11
MOFI 0,5 %	0.23	0.23	0.20	0.14	0.08
MOFI 1,0 %	0.23	0.23	0.20	0.13	0.08
MOFI 1,5 %	0.23	0.23	0.19	0.14	0.10

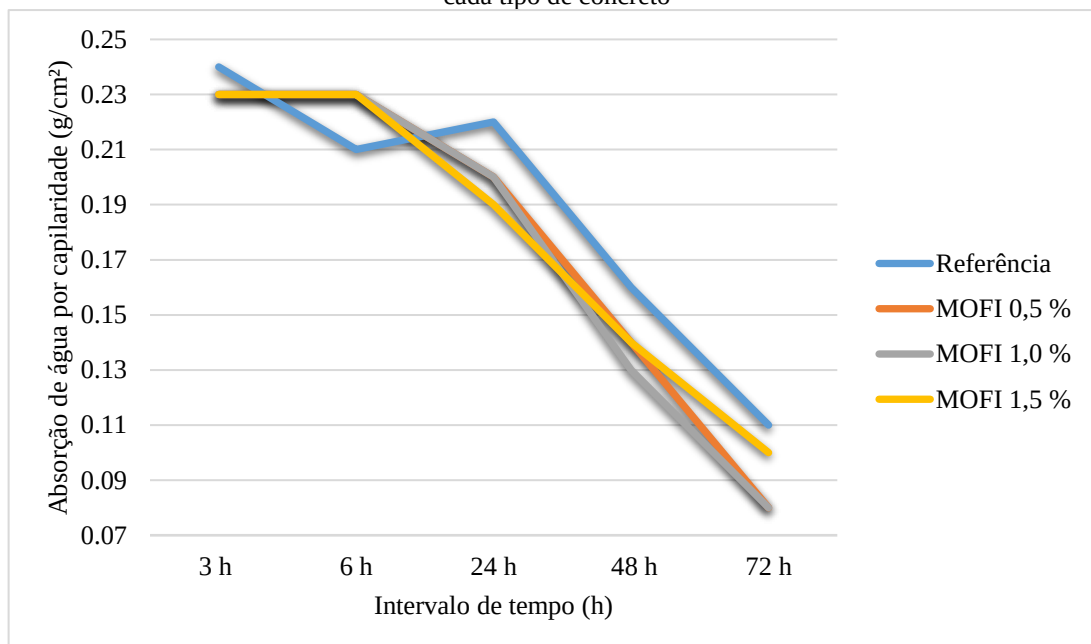
Fonte: Elaborada pela autora, 2019.

As Figuras 36 e 37 ilustram os resultados do ensaio de absorção de água por capilaridade em forma de gráficos, a primeira mostra uma comparação gráfica dos diferentes tipos de concretos produzidos nessa pesquisa para cada intervalo de tempo avaliado no ensaio, sendo possível observar a diferença na taxa de absorção média entre os concretos não aditivados com a mucilagem da Palma Forrageira e aqueles aditivados em variadas proporções. A segunda tem o intuito de ilustrar o comportamento da absorção de água nos concretos durante o ensaio realizado.

Figura 36: Absorção média de água por capilaridade em função do tempo para cada tipo de concreto

Fonte: Elaborada pela autora, 2019.

Figura 37: Comportamento do ensaio de absorção média de água por capilaridade em função do tempo para cada tipo de concreto



Fonte: Elaborada pela autora, 2019.

Conforme pode ser observado nos resultados fornecidos tanto pela Tabela 21 como pelo gráfico da Figura 36 e mais especificamente pelo gráfico da Figura 37, houve um comportamento atípico na tendência dos resultados no ensaio de absorção de água por capilaridade, pois, diferente do comumente visto nas literaturas, a absorção em todos os concretos produzidos foi decrescendo com o passar do tempo.

Percebe-se que o concreto de referência, isento do aditivo em pó, ao passar 3 horas em contato com a água, obtém sua absorção máxima, decaindo bruscamente na medição de 6 horas, voltando a absorver após decorridas 24 horas do ensaio, e decaindo gradativamente no restante do tempo.

Já para os três tipos de concreto aditivados com 0,5 %; 1,0 % e 1,5 % da MOFI entre 3 h e 6 h em contato com a água se mantiveram com um valor de absorção constante e máximo, e no restante do tempo foram absorvendo menos, havendo um comportamento também de ascensão após as 6 primeiras horas de ensaio.

Diversos fatores podem ter influenciado nos resultados atípicos obtidos neste ensaio, como a imprecisão dos equipamentos, visto que a medição do nível de água foi realizada de forma manual com auxílio de uma régua, por falta de equipamento específico no laboratório de Engenharia Civil da UFERSA CMPF, na qual essa medição seria realizada de forma automática assim como a reposição da água necessária. Assim como o aparato utilizado para evitar que os

CP's tocassem o fundo do recipiente utilizado no ensaio, que foi um improvisado com uma tela metálica.

A falta de controle da temperatura no ambiente também pode ser um fator que pode ter manipulado os resultados do ensaio de absorção de água por capilaridade, visto que, hora a temperatura esteve mais amena, quando havia pessoas no laboratório e o sistema de climatização se encontrava ligado, e hora mais elevada, quando o laboratório se encontrava fechado e o ar-condicionado desligado, atrelado ao clima quente da região, esse fator pode ter influenciado nos resultados.

Outra questão a se levar em consideração trata-se da utilização de óleos no molde dos CP's no momento da moldagem com a finalidade de facilitar a desmoldagem, haja visto a falta de desmoldante para concretos, tanto nos materiais do laboratório utilizado, quanto no comércio de Pau dos Ferros, foi utilizado óleo de motor, e mesmo com a cura úmida do concreto por 28 dias ainda pôde-se perceber indícios desse material aderido as superfícies dos CP's o que pode ter dificultado a ascensão capilar da água durante o ensaio, uma vez que a própria NBR 9779:2012 sugere que os concretos estejam isentos de óleos.

Dessa forma, o melhor resultado para as estruturas de contenção do tipo muro de arrimo por gravidade, seria o concreto com obtenção da maior taxa de absorção de água, pois, quanto mais absorvente o material, mais permeável seria, e conseqüentemente poderia dispensar a execução de elementos drenantes na estrutura, que são onerosos. Com a atipicidade nos resultados fica incompreensível averiguar qual dos tipos de concretos produzidos nesta pesquisa seria o mais viável nesse aspecto.

Porém, de uma forma geral, o concreto que mais absorveu água foi o de referência, mesmo não aumentando os valores gradativamente com o tempo. Mas, uma pesquisa mais intensa teria que ser realizada para comprovar se este seria o concreto mais adequado no que diz respeito a absorção do mesmo. No tocante, os valores de mantiveram bem próximos em todos os casos, sendo necessário a utilização de elementos de drenagem.

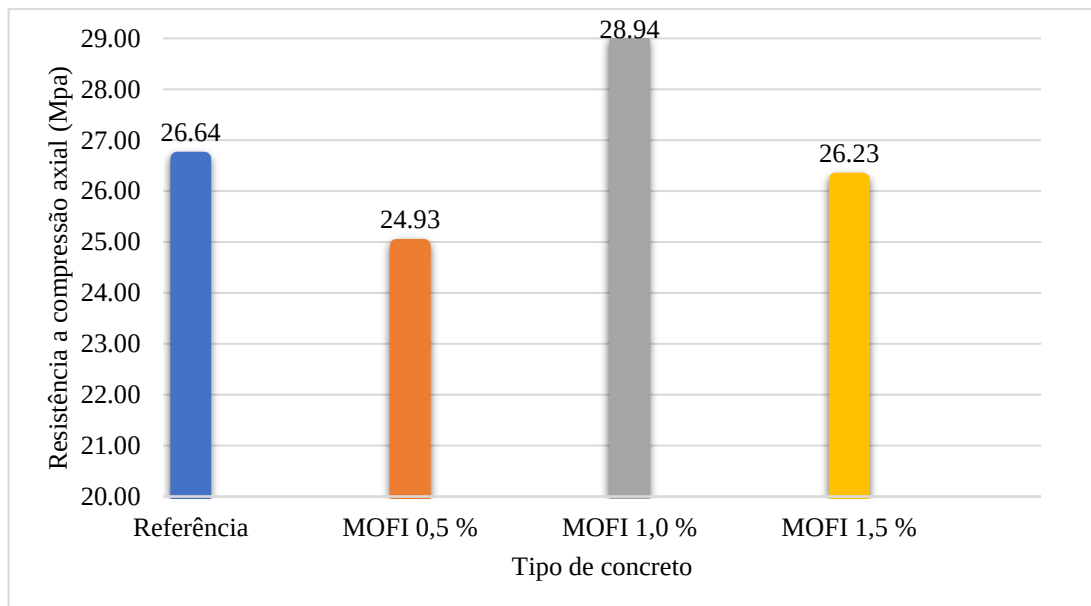
6.5 RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO AXIAL DOS CONCRETOS

Os resultados de resistência à compressão dos concretos confeccionados nesse trabalho estão informados na Tabela 24, bem como ilustrados graficamente na Figura 38.

Tabela 24: Resultados de resistência a compressão dos concretos

Ensaio de resistência a compressão			
Tipo de concreto	CP	Resistência a compressão (MPa)	
		Individual	Média
Referência	1	28.39	26.64
	2	25.13	
	3	27.32	
	4	25.73	
MOFI 0,5 %	1	24.96	24.93
	2	23.04	
	3	25.70	
	4	26.01	
MOFI 1,0 %	1	27.90	28.94
	2	29.58	
	3	28.89	
	4	29.38	
MOFI 1,5 %	1	28.15	26.23
	2	24.85	
	3	27.64	
	4	24.28	

Fonte: Elaborada pela autora, 2019.

Figura 38: Resistência média a compressão dos concretos

Fonte: Elaborada pela autora, 2019.

Os valores obtidos no ensaio foram maiores que os predefinidos para obtenção do traço utilizado para confecção dos concretos, de 20 MPa. Os concretos mais resistentes foram o aditivado em 1% com o Mucilagem do cacto em pó e o de referência, respectivamente.

Percebe-se que a utilização do aditivo produzido a partir da Palma Forrageira potencializou a característica mecânica de resistência a compressão do concreto, resultado este já esperado tendo em vista as propriedades do cacto já mencionadas anteriormente neste trabalho.

É importante atentar-se para a particularidade da adição da MOFI, uma vez que quando este foi utilizado com teores de 0,5 % e 1,5 % da massa cimentícia do concreto, foram obtidos resultados médios inferiores de resistências a compressão com relação ao concreto isento do aditivo em pó, o que nos mostra que a adição deve ser posta em proporções médias dentro do máximo estabelecido pelas normalizações, uma vez que para a menor e maior valor de adição os resultados não foram satisfatórios.

O concreto com maior resistência média a compressão foi o com a utilização de 1,0 % da MOFI, que obteve um ganho de resistência de quase 9 % em relação ao concreto sem adição, conforme visualiza-se no gráfico da Figura 39. Na sequência os concretos mais resistentes foram o de Referência, com adição de 1,5 % e por último com adição de 0,5 %.

Dessa maneira, o teor do aditivo da palma forrageira proveniente da sua mucilagem com eficiência para melhorar a propriedade de resistência do concreto trata-se de 1,0 %. Vale ressaltar que outros teores chegaram a ser inicialmente verificados nesta pesquisa, foram estes: 3,0 % e 4,5 % da MOFI, porém, percebeu-se que quando o concreto foi aditivado nessas proporções mais próximas do limite máximo imposto na norma de aditivos para concretos, o concreto não endureceu, após 72 horas ainda se encontrava em estado semifluido, o que inviabilizou a continuidade da pesquisa fazendo uso dessas quantidades do aditivo, e procedeu-se utilizando teores de 0,5 %; 1,0 % e 1,5 %.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com a realização dos ensaios de peso específico, absorção de água por capilaridade e resistência a compressão axial nos concretos produzidos neste trabalho, fica consumado a viabilidade parcial da adição de Mucilagem do cacto “Opuntia Ficus-Indica” em concretos para estruturas de contenção do tipo muro de arrimo por gravidade. O aditivo em pó não se mostrou totalmente viável para esse tipo de estrutura, visto que diminuiu o peso específico do concreto e sua taxa de absorção foi inconclusiva, tendo um resultado positivo, portanto, apenas no que diz respeito a melhoria da resistência a compressão.

Foi possível averiguar com essa pesquisa a incorporação adequada a ser utilizada da MOFI para gerar efeitos positivos ao concreto, que se trata da adição em 1,0 %. Chegou-se a essa conclusão, pois foi para essa quantidade de aditivo em pó incorporado ao concreto, que os resultados no ensaio de compressão axial dos corpos de prova foram superiores ao do concreto isento de adição e aos aditivados em 0,5 % e 1,5 %. Além de terem sido testadas outras proporções do aditivo anteriormente, que foram inconvenientes por modificar de forma brusca as características do concreto, mostrando que o aditivo não deve ser utilizado em quantidades inferiores e nem superiores a 1,0 % pelos resultados aqui obtidos.

O processo da extração da mucilagem da Palma Forrageira se deu através de um procedimento relativamente simples, no qual o aditivo em pó foi facilmente obtido. A caracterização física dos agregados forneceu resultados satisfatórios para os mesmos, efetivando a qualidade da areia e brita utilizadas para confecção dos concretos desta pesquisa.

Os dezesseis corpos de provas produzidos para realização dos ensaios foram preparados manualmente em um dia. É importante mencionar a particularidade percebida no tempo necessário para os concretos com incorporações da mucilagem da palma forrageira endurecer, enquanto foram necessárias apenas 24 horas para os concretos sem incorporações da MOFI apresentar-se em seu estado endurecido, foram demandadas 48 horas para endurecer os concretos com adições da MOFI, ou seja, o dobro do tempo comum, dessa forma, evidenciou-se que o aditivo aumenta o tempo de pega, porém sem afetar a resistência mecânica a compressão do concreto, algo muito vantajoso, principalmente para as indústrias dosadoras que enfrentam muita dificuldade pelo curto intervalo de tempo que possuem para deslocar o concreto até o local das obras.

Analisando os pesos específicos dos concretos confeccionados, percebe-se que o concreto com maior peso específico foi o de referência, ou seja, para produção de muros de arrimo por gravidade, no qual sua primordial característica trata-se do peso próprio da estrutura,

os concretos com adições do aditivo do cacto em pó não seriam os mais indicados. O que não dispensa a utilização do aditivo em concretos para confecção de outros tipos de estruturas, onde concretos mais leves seriam necessários, para reduzir o peso da estrutura.

Avaliando a absorção dos concretos produzidos, foi notório uma atipicidade no ensaio de absorção de água por capilaridade, onde diversos fatores podem ter influenciado o ensaio, como temperatura e imprecisão dos equipamentos utilizados. Diferente do comumente abordado nas literaturas, o resultado esperado era que a absorção fosse crescendo, mesmo que mais em alguns corpos de provas do que em outros, porém o que ocorreu foi uma máxima absorção entre as 3 horas e as 6 horas iniciais do ensaio, e uma redução de absorção durante o restante do tempo, dessa forma fica inviável concluir qual seria o concreto mais viável para confecção de muros de arrimo por gravidade.

Verificando a resistência a compressão dos concretos, a incorporação da MOFI age de forma positiva no concreto, uma vez que a resistência média obtida no ensaio de compressão axial para o concreto com adição de 1,0 % do cacto em pó foi superior em aproximadamente 9 % a resistência do concreto isento da incorporação da mucilagem da Palma Forrageira.

De forma geral, pesquisas mais aprofundadas necessitariam ser realizadas para comprovar se o concreto com adição do cacto em pó seria viável economicamente para construção de estruturas de contenção do tipo muro de arrimo por gravidade. Primeiro para analisar o que influenciou no ensaio de absorção de água por capilaridade nos concretos, possibilitando assim uma análise mais efetiva da absorção, e dessa forma avaliar se poderiam ser dispensados os dispositivos de drenagem na estrutura. Segundo, para verificar se a pequena diferença encontrada entre os pesos específicos dos concretos sem e com adição compensaria dispensar a utilização do concreto com maior valor de peso específico frente as maiores resistências a compressão obtidos para os com menores valores de peso específico.

A realização de pesquisas futuras para estudar a viabilidade da produção de concreto a ser empregue para confecção de outros tipos de estruturas com a incorporação da MOFI, bem como a produção do aditivo por outros procedimentos metodológicos, como a extração da Mucilagem em líquido, para comparar com os resultados encontrados com a utilização do aditivo em pó, onde talvez o líquido preservasse mais as características da planta do que a desidratação realizada neste trabalho, seria algo pertinente a se avaliar.

Portanto, espera-se que os resultados aqui obtidos sirvam de base para outros pesquisadores em busca de novos materiais que possam enriquecer os componentes da cadeia produtiva da construção civil. O aditivo confeccionado se mostrou eficiente para aprimorar a resistência a compressão do concreto quando adicionado em um teor de 1,0 % do total da massa

de cimento utilizado no traço e também para redução em pequena quantidade do peso específico do concreto.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, L. C. **Concreto**. UNICAMP, 2002. Disponível em: <
<http://www.fec.unicamp.br/~almeida/au405/Concreto.pdf>>. Acesso em: 22 set. 2019.

AMBROZEWICZ, P. H. L. **Materiais de construção: normas, especificações, aplicação e ensaios de laboratório**. São Paulo. Ed Pini. 2012.

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE: ACI-207. **“Cement and Concrete Terminology”**. ACI 318 Farmington Hills, 2005.

_____. ACI Committee 212. **Chemical admixtures for concrete, updated ACI Committee 212 report covers commonly used admixtures other than pozzolans**. Concrete International, out. P48-53,1993.

ANDOLFATO, R. P. **Controle tecnológico básico do concreto**. UNESP, Ilha solteira. 2002. Disponível em:
<https://www.feis.unesp.br/Home/departamentos/engenhariacivil/nepae/controle-tecnologico-basico-do-concreto.pdf>>. Acesso em: 22 set. 2019.

ANDRADE, A. C. O. T. DANTAS, E. S. DIAS, L. K. L. ARAÚJO, M. E. P. SILVA, M. J. **Geotécnica: fundações e obras de terra**. Cadernos de Graduação - Ciências Exatas e Tecnológicas. Sergipe, v. 1. n.16. p. 27-43. 2013.

ARAÚJO, P. S. C. **Desenvolvimento de ferramenta computacional para dimensionamento de muros de arrimo**. Araruna, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 11768: **Aditivos para Concreto de Cimento Portland requisitos**. Rio de Janeiro, 2011.

_____. NBR 7217: **Agregados - Determinação da composição granulométrica**. Rio de Janeiro, 2003.

_____. NBR 9776: **Agregados: Determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco chapman - Método de ensaio**. Rio de Janeiro, 1987.

_____. NBR NM 45: **Agregados - Determinação da massa unitária e do volume de vazios**. Rio de Janeiro, 2006.

_____. NBR 7251: **Agregado em estado solto - Determinação da massa unitária**. Rio de Janeiro, 1987.

_____. NBR NM 53: **Agregado graúdo - Determinação de massa específica, massa específica aparente e absorção de água**. Rio de Janeiro, 2003.

_____. NBR 7211:1983. **Agregado para concreto**. 1983.

_____. NBR 7211:2005. **Agregado para concreto – Especificações**. 2005. Disponível em: <<https://engenhariacivilfsp.files.wordpress.com/2015/03/nbr-07211-2005-agregados-para-concreto-especificacao.pdf>>. Acesso em: 03 nov. 2019.

_____. NBR 9779:2012. **Argamassa e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água por capilaridade**. 2012.

_____. NBR 12655: 2015. **Concreto de cimento Portland — Preparo, controle, recebimento e aceitação — Procedimento**. 2015. Disponível em: http://files.israel-tecnico-qualidade.webnode.com/200001290-4323c441bd/NBR%2012655%20-%202015_aula.pdf>. Acesso em: 22 set. 2019.

_____. NBR 16697:2018. **Cimento Portland: Requisitos**. 2018.

_____. NBR 5738:2015. **Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova**. 2015.

_____. NBR 5739:1994 - **Concreto - Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos**. 1994. Disponível em: < <http://files.israel-tecnico-qualidade.webnode.com/200001169-522fc532a8/NBR%205739%20-%20Concreto%20-%20Ensaio%20de%20Compress%C3%A3o%20de%20Corpos-de-pro.pdf>>. Acesso em: 07 dez. 2019.

_____. NBR 8953:2015. **Concreto para fins estruturais – classificação pela massa específica, por grupos de resistências e consistência**. 2015.

_____. NBR 6118:2014. **Projeto de estruturas de concreto —Procedimento**. 2014. Disponível em: < https://rotaacessivel.com.br/_files/200000331-

8d02e8df9a/Projeto%20de%20estruturas%20de%20concreto.pdf>. Acesso em: 25 set. 2019.

BOTELHO, M. H. C.; MARCHETTI, O. **Concreto armado eu te amo**. São Paulo: Edgard Blucher, 2004.

CABRAL, S.C. AZEVEDO, M. A. **Materiais alternativos para adição ao cimento Portland**. Minas Gerais, Revista Científica Vozes dos Vales, Nº. 10 – Ano V – 10, 2016. Disponível em: <
<http://site.ufvjm.edu.br/revistamultidisciplinar/files/2016/09/Stenio23.pdf>>. Acesso em 18 set. 2019.

CALADO, E. J. S. **Sobrevivência na caatinga**. 2008. Disponível em: <
<http://trilhascaatingadepicui.blogspot.com/2008/01/>>. Acesso em: 29 set. 2019.

COSTA, A. C. S. S. **Utilização de aditivos à base de cacto em argamassa de cimento portland**. Mossoró-RN, 2014.

DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM - DER. **Projeto de muro de arrimo**. IP-DE-C00/005. 2005.

DOMINGUES, P. C. **Indicações para projetos de muro de arrimo em concreto armado**. São Carlos, São Paulo. 1997.

EUROCODE 7. **Geotechnical design - Part 1: General rules**. 2004. Disponível em: <
https://www.ngm2016.com/uploads/2/1/7/9/21790806/eurocode_7__geotechnical_designen.1997.1.2004.pdf>. Acesso em: 20 set. 2019.

GERSCOVICH, D. M. S. **Estruturas de Contenção-Muros de Arrimo**. Disponível em:
 <<http://www.eng.uerj.br/~denise/pdf/muros.pdf>>. Acesso em: 28 set. 2019.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. São Paulo: Editora atlas, 4ª ed., 2002. 176 p. Disponível em: < <http://docente.ifrn.edu.br/mauriciofacanha/ensino-superior/redacao-cientifica/livros/gil-a.-c.-como-elaborar-projetos-de-pesquisa.-sao-paulo-atlas-2002./view>>. Acesso em: 15 de nov. 2017.

GLOCALMARKETING. **Cimento Apodi**. Disponível em: <<http://glocalmarketing.com.br/apodi/>>. Acesso em: 01 nov. 2019.

HISTORY. **Teotihuacan**. 2018. Disponível em: <<https://www.history.com/topics/ancient-americas/teotihuacan>>. Acesso em: 30 set. 2019.

IBI- Instituto Brasileiro de Impermeabilização. **Manual de utilização de aditivos para concreto dosado em central**. São Paulo, 2018. Disponível em: <<http://ibibrasil.org.br/wp-content/uploads/2018/03/Manual-de-utiliza%C3%A7%C3%A3o-de-aditivos-para-concreto-dosado-em-central-IBI-1-edi%C3%A7%C3%A3o.pdf>>. Acesso em: 19 set. 2019.

JÚNIOR, T. F. S. **Estruturas de concreto armado**. S.A. Disponível em: <<https://docente.ifrn.edu.br/valtencirgomes/disciplinas/construcao-de-edificios/apostila-concreto>>. Acesso em: 22 set. 2019.

KNAPPETT, J.A. CRAIG, R.F. **Craig mecânica dos solos**. Tradução: Amir Elias Abdalla Kurban. 8 ed. [Reimpr.]. Rio de Janeiro: LTC, 2016. 419 páginas.

LA SERNA, H. A. e REZENDE, M. M. **Agregados para a construção civil**. 2013.

MARTINS, S. C. C. **Avaliação do potencial biológico de Opuntia ficus-indica (Figueira da Índia)**. 2011. Faculdade de Ciências da Saúde, 2011.

MATERA, D. R. e ROMANEL, C. **Estabilidade de Muros de Gravidade**. Rio de Janeiro, 2014. Disponível em: <http://www.pucrio.br/pibic/relatorio_resumo2014/relatorios_pdf/ctc/CIV/CIVDouglas%20Rocha%20Matera.pdf>. Acesso em: 18 set. 2019.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO – MAPA. **México apresenta ao Brasil o potencial de exploração da Palma**. 2018.

_____. MAPA: Secretaria de agricultura familiar e cooperativismo. **Palma Forrageira gera esperança e economia em tempos de seca no ES**. 2017. Disponível em: <<http://www.mda.gov.br/sitemda/noticias/palma-forrageira-gera-esperanca-e-economia-em-tempos-de-seca-no-es>>. Acesso em: 29 set. 2019.

NATUREZA BELA. **Mandacaru - Cereus jamacaru**. 2016. Disponível em: <

<http://www.naturezabela.com.br/2016/11/mandacaru-cereus-jamacaru.html>>. Acesso em: 29 set. 2019.

NEVILLE, A. M. e BROOKS, J. J. **Tecnologia do concreto**. Tradução: Ruy Alberto Cremonini. 2 ed. Porto Alegre, Brookman, 2013. 448 páginas.

NOVA, S. R. M. V. **Palma forrageira (opuntia ficus-indica): Prospecção das tecnologias e potencialidades de inovação**. Maceió, AL. 2018. Disponível em: <http://www.repositorio.ufal.br/bitstream/riufal/2894/1/Palma%20forrageira%20%28Opuntia%20ficusindica%29_%20prospec%C3%A7%C3%A3o%20das%20tecnologias%20e%20ptencialidades%20de%20inova%C3%A7%C3%A3o.pdf>. Acesso em: 29 set. 2019.

OLIVEIRA, H. C. M. **Incorporação da mucilagem de palma forrageira na elaboração de argamassa cimento Portland**. Areia-PB, 2018.

PINHEIRO, L. M. MUZARDO, C. D. SANTOS, S. P. **Estruturas de concreto – capítulo 1**. 2004. Disponível em: <<http://www.fec.unicamp.br/~almeida/cv714/introducao.pdf>>. Acesso em: 25 set. 2019.

SOUZA, G. F. A. **Avaliação da utilização de aditivo biopolimérico extraído do cacto opuntia ficus-indica em pastas e microconcretos de cimento Portland**. Brasília. 2019. Disponível em: <http://repositorio.unb.br/bitstream/10482/35381/1/2019_GeraldoF%C3%A1bioAlvesdeSouza.pdf>. Acesso em: 29 set. 2019.

SOUZA, G. F. A.; CAPUZZO, V. M. S.; SILVA, F. M.; AZEVEDO, C. A.; NOGUEIRA, J. V. A.; **Avaliação da utilização de aditivo biopolimérico a base de Opuntia ficus indica em materiais cimentícios**. IBRACON, ISSN 2175-8182. 2018. Disponível em: <http://repositorio.unb.br/bitstream/10482/32862/1/EVENTO_AvaliacaoUtilizacaoAditivo.pdf>. Acesso em: 30 set. 2019.

VARELA, M.; **Instituto Federal de Educação, ciência e tecnologia do Rio Grande**. Curso tecnologia da construção civil, disciplina de estruturas de contenção.

VIVA DECORA. Muro de Arrimo: **Preserve o Seu Terreno com Beleza e Segurança**. 2019. Disponível em: <<https://www.vivadecora.com.br/revista/muro-de-arrimo/>>. Acesso em: 28 set. 2019.

ZAPPI, D. TAYLOR, N. LOROCCA, J. **Plano de ação nacional para a conservação das cactáceas**. Série Espécies Ameaçadas nº 24. Instituto Chico Mendes (ICMBio-MMA). Brasília, 2011.

APÊNDICE A

DOSAGEM DE CONCRETO PELO MÉTODO DA ABCP

➤ Traço de referência (isento de adições da MOFI)

1- Valores a serem considerados

Foram utilizados os valores obtidos na caracterização física dos agregados graúdo e miúdo, os valores referentes ao cimento foram encontrados no website da marca Apodi®, dados como abatimento do tronco de cone “Slump Test”, controle de qualidade e classe agressividade ambiental foram consideradas. O Quadro A.1 informa esses valores.

Quadro A.1: Valores a serem considerados

CIMENTO	
Tipo	CP IV - 32 RS
Resistência do cimento aos 28 dias [Mpa]	32
Massa específica do cimento [kg/m^3]	2830
Massa unitária do cimento [kg/m^3]	1350
AGREGADO MIÚDO	
Massa específica real da areia [kg/m^3]	2530
Massa unitária da areia [kg/m^3]	1430
Módulo de finura	4,35
AGREGADO GRAÚDO	
Massa específica da brita [kg/m^3]	3000
Massa unitária compactada da brita [kg/m^3]	1400
Diâmetro máximo [mm]	25
CONCRETO	
Resistência característica a compressão - f_{ck} [Mpa]	20
Abatimento do tronco de cone [mm]	90 ± 10
Controle de qualidade	A
Classe de agressividade ambiental	Moderada

Fonte: Elaborado pela autora, 2019.

2- Determinação da resistência de dosagem

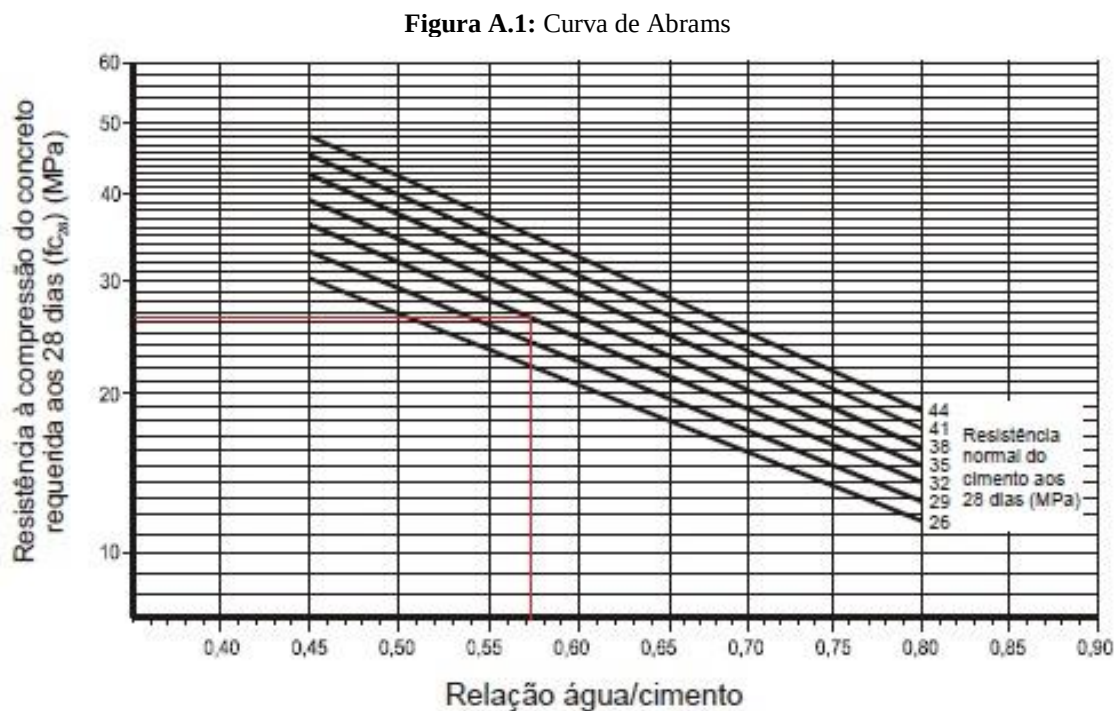
Considerando o controle de qualidade A pelo método de dosagem da ABCP, utiliza-se um desvio padrão (S_d) igual a 4 MPa. Tem-se a resistência de dosagem obtida pela Equação 1.

$$f_{cm} = f_{ck} + (1,65 \times S_d) \quad (1)$$

$$f_{cm} = 20 \text{ MPa} + (1,65 \times 4,0 \text{ MPa}) = 26,6 \text{ MPa}$$

3- Determinação do fator água/cimento (a/c)

Fazendo uso da curva de Abrams do ábaco da Figura A.1, foi encontrado o fator água cimento, determinado pela relação entre a resistência do cimento aos 28 dias e a resistência do concreto requerida aos 28 dias.



Fonte: Adaptado. Blogcivil2014.2, 2017.

Foi obtida a relação água cimento igual a: $a/c = 0,57$. Porém, aproximou-se o valor de $a/c = 0,6$.

4- Determinação do consumo de água

Determinou-se o consumo de água pelo Quadro A.2, através da relação entre o diâmetro máximo do agregado graúdo e o abatimento do tronco de cone.

Quadro A.2: Consumo de água

Consumo de água aproximado [l/m^3]					
Abatimento [mm]	Diâmetro máximo do agregado graúdo [mm]				
	9,5	19,0	25,0	32,0	38,0
40 - 60	220	195	190	185	180
60 - 80	225	200	195	190	185
80 - 100	230	205	200	195	190

Fonte: Adaptado. Anexo nº 5 da 34ª reunião de técnicos da indústria de cimento. Website da ABCP, 2016.

Fazendo uso dos dados a serem considerados, e o Quadro anterior, obteve-se um consumo de água aproximado destacado no Quadro, que foi de: $C_a = 200 l/m^3$.

5- Determinação do consumo de cimento

Utilizou-se a Equação 2 para determinação do consumo de cimento para dosagem do traço.

$$C_c = \frac{C_a}{a/c} \quad (2)$$

Onde,

C_c é o consumo de cimento, expresso em kg/m^3 ;

C_a é o consumo de água, expresso em $200 l/m^3$;

a/c é a relação água cimento.

Portanto,

$$C_c = \frac{200}{0,6} = 333,33 kg/m^3$$

6- Determinação do consumo de agregado graúdo

O consumo de agregado graúdo foi obtido fazendo uso da Equação 3.

$$C_b = Vol_b \times \delta_b \quad (3)$$

Onde,

C_b é o consumo de brita, expresso em kg/m^3 ;

Vol_b é o volume de brita, determinado pela relação entre o módulo de finura do agregado miúdo e o diâmetro máximo do agregado graúdo, conforme informa o Quadro A.3;

δ_b é a massa unitária compactada da brita, expressa em kg/m^3 .

Quadro A.3: Consumo de água

MF	Dimensão máxima [mm]				
	9,5	19,0	25,0	32,0	38,0
1,8	0,645	0,770	0,795	0,820	0,845
2,0	0,625	0,750	0,775	0,800	0,825
2,2	0,605	0,730	0,755	0,780	0,805
2,4	0,585	0,710	0,735	0,760	0,785
2,6	0,565	0,690	0,715	0,740	0,765
2,8	0,545	0,670	0,695	0,720	0,745
3,0	0,525	0,650	0,675	0,700	0,725
3,2	0,505	0,630	0,655	0,680	0,705
3,4	0,485	0,610	0,635	0,660	0,685
3,6	0,465	0,590	0,615	0,640	0,665

Fonte: Adaptado. Anexo nº 5 da 34ª reunião de técnicos da indústria de cimento. Website da ABCP, 2016.

Considerou o maior valor para módulo de finura dado no Quadro, visto que o valor para o módulo de finura da areia utilizada não foi encontrado. Dessa forma, obteve-se um volume de brita no valor destacado no Quadro anterior, que foi de: $Vol_b = 0,615$. Então:

$$C_b = 0,615 \times 1400 \frac{kg}{m^3} = 861 kg/m^3$$

7- Determinação do consumo de agregado miúdo

O cálculo para determinar o consumo de areia necessário se deu a partir da Equação 4.

$$c_m = \gamma_{areia} \times v_m \quad (4)$$

Onde,

C_m é o consumo de areia, expresso em kg/m^3 ;

γ_{areia} é a massa específica real da areia, expressa em kg/m^3 ;

v_m é o volume de areia, encontrado pela Equação 5.

$$v_m = 1 - \left(\frac{C_c}{\gamma_{cimento}} + \frac{C_b}{\gamma_{brita}} + \frac{C_a}{\gamma_{água}} \right) \quad (5)$$

Onde,

v_m é o volume de areia;

C_c é o consumo de cimento, expresso em kg/m^3 ;

$\gamma_{cimento}$ é a massa específica do cimento, expressa em kg/m^3 ;

C_b é o consumo de brita, expresso em kg/m^3 ;

γ_{brita} é a massa específica da brita, expressa em kg/m^3 ;

C_a é o consumo de água, expresso em kg/m^3 ;

$\gamma_{água}$ é o peso específica da água, expressa em kg/m^3 , que vale $1000 kg/m^3$.

Portanto,

$$v_m = 1 - \left(\frac{333,33}{2830} + \frac{861}{3000} + \frac{200}{1000} \right) = 0,395$$

Fazendo uso da Equação 4 temos que,

$$c_m = 2530 \times 0,395 = 999,35 kg/m^3$$

8- Apresentação do traço em massa

Com posse dos valores relativos ao consumo de cada material, obteve-se a apresentação do traço em massa pela relação seguinte.

$$\frac{C_c}{C_c} : \frac{C_m}{C_c} : \frac{C_b}{C_c} : \frac{C_a}{C_c}$$

Onde,

C_c é o consumo de cimento, expresso em kg/m^3 ;

C_m é o consumo de areia, expresso em kg/m^3 ;

C_b é o consumo de brita, expresso em kg/m^3 ;

C_a é o consumo de água, expresso em kg/m^3 .

Substituindo os valores, tem-se o seguinte traço em massa,

$$\frac{333,33}{333,33} : \frac{999,35}{333,33} : \frac{861}{333,33} : \frac{200}{333,33}$$

$$1 : 3 : 2,5 : 0,6$$

➤ **Traço com adição de 0,5 % da MOFI**

Para os concretos com adição de 0,5 % da Mucilagem da Palma Forrageira, calculou-se 0,5 % do total de material cimentício obtido no traço de referência, dessa forma chegou-se ao seguinte traço em massa:

$$1 : 3 : 2,5 : 0,6 : 0,005$$

➤ **Traço com adição de 1,0 % da MOFI**

Para os concretos com adição de 1,0 % da Mucilagem da Palma Forrageira, calculou-se 1,0 % do total de material cimentício obtido no traço de referência, dessa forma chegou-se ao seguinte traço em massa:

$$1 : 3 : 2,5 : 0,6 : 0,01$$

➤ **Traço com adição de 1,5 % da MOFI**

Para os concretos com adição de 1,5 % da Mucilagem da Palma Forrageira, calculou-se 1,5 % do total de material cimentício obtido no traço de referência, dessa forma chegou-se ao seguinte traço em massa:

$$1 : 3 : 2,5 : 0,6 : 0,015$$

➤ **Determinação do consumo de materiais por corpo de prova**

De posse do traço em massa e sabendo as dimensões dos corpos de prova cilíndricos que serão utilizados, que medem 10 cm de diâmetro por 20 cm de altura, encontra-se o volume do corpo de prova ($vol_{cp} = 0,00157 m^3$). Conforme já encontrado a quantidade de cada material consumido para o traço determinado, para encontrar o consumo por corpo de prova, basta multiplicar o consumo de cada material pelo volume do corpo de prova, como realizado abaixo.

1- Determinação do consumo de cimento por corpo de prova

$$\begin{aligned} cimento &= C_c \times vol_{cp} \\ cimento &= 333,33 \frac{kg}{m^3} \times 0,00157 m^3 = 0,533 kg \approx 540 g \end{aligned}$$

2- Determinação do consumo de areia por corpo de prova

$$\begin{aligned} areia &= C_m \times vol_{cp} \\ areia &= 999,35 \frac{kg}{m^3} \times 0,00157 m^3 = 1,57 kg \approx 1600 g \end{aligned}$$

3- Determinação do consumo de brita por corpo de prova

$$\begin{aligned} brita &= C_b \times vol_{cp} \\ brita &= 861 \frac{kg}{m^3} \times 0,00157 m^3 = 1,35 kg \approx 1400 g \end{aligned}$$

4- Determinação do consumo de água por corpo de prova

$$água = C_a \times vol_{cp}$$

$$brita = 200 \frac{kg}{m^3} \times 0,00157 m^3 = 0,314 kg \approx 320 g$$

5- Determinação do consumo de MOFI por corpo de prova (adição de 0,5 %)

$$\begin{aligned} aditivo &= 0,5 \% \times cimento \\ aditivo &= 0,5 \% \times 540 g = 2,7 g \text{ de MOFI} \end{aligned}$$

6- Determinação do consumo de MOFI por corpo de prova (adição de 1,0 %)

$$\begin{aligned} aditivo &= 1,0 \% \times cimento \\ aditivo &= 1,0 \% \times 540 g = 5,4 g \text{ de MOFI} \end{aligned}$$

7- Determinação do consumo de MOFI por corpo de prova (adição de 1,5 %)

$$\begin{aligned} aditivo &= 1,5 \% \times cimento \\ aditivo &= 1,5 \% \times 540 g = 8,1 g \text{ de MOFI} \end{aligned}$$

O quadro A.4 informa resumidamente os traços e quantidades de materiais utilizados para confecção dos concretos dessa pesquisa.

Quadro A.4: Traços e consumos dos materiais

TIPO	TRAÇO EM MASSA	QUANTIDADE DE MATERIAIS [g]				
		CIMENTO	AREIA	BRITA	ÁGUA	ADITIVO
Referência	1: 3 : 2,5 : 0,6	540	1600	1400	320	-
MOFI 0,5 %	1: 3 : 2,5 : 0,6 : 0,005	540	1600	1400	320	2,7
MOFI 1,0 %	1: 3 : 2,5 : 0,6 : 0,01	540	1600	1400	320	5,4
MOFI 1,5 %	1: 3 : 2,5 : 0,6 : 0,015	540	1600	1400	320	8,1

Fonte: Elaborado pela autora, 2019.