



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
DEP. DE CIÊNCIAS AMBIENTAIS E TECNOLÓGICAS
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

ADA CATARINA SOARES DE SENA COSTA

**UTILIZAÇÃO DE ADITIVOS À BASE DE CACTO EM ARGAMASSA DE
CIMENTO PORTLAND**

MOSSORÓ-RN

2014

ADA CATARINA SOARES DE SENA COSTA

**UTILIZAÇÃO DE ADITIVOS À BASE DE CACTO EM ARGAMASSA DE
CIMENTO PORTLAND**

Monografia apresentada à Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA, Departamento de Ciências Ambientais e Tecnológicas – DCAT para a obtenção do título de Bacharela em Engenharia Civil.

Orientador (a): Prof^ª. Dra. Marília Pereira de Oliveira – UFERSA.

MOSSORÓ-RN

2014

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Biblioteca Central Orlando Teixeira (BCOT)
Setor de Informação e Referência

C837u	Costa, Ada Catarina Soares de Sena. Utilização de aditivos à base de cacto em argamassa de cimento portland / Ada Catarina Soares de Sena Costa. -- Mossoró, 2014. 52f. : il. Orientadora: Prof. ^a Dra. Marília Pereira de Oliveira. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal Rural do Semi-Árido. Pró-Reitoria de Graduação. 1. Aditivo. 2. Argamassas. 3. Cacto em gel. 4. Cacto em pó. I. Título.
RN/UFERSA/BCOT /649-14	CDD: 691.5

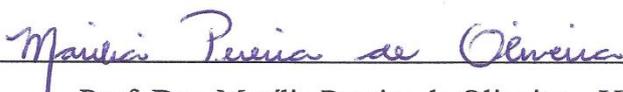
ADA CATARINA SOARES DE SENA COSTA

**UTILIZAÇÃO DE ADITIVOS À BASE DE CACTO EM ARGAMASSA DE
CIMENTO PORTLAND**

Monografia apresentada à Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA, Departamento de Ciências Ambientais e Tecnológicas – DCAT para a obtenção do título de Bacharela em Engenharia Civil.

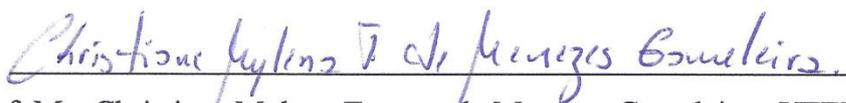
APROVADO EM: 28 / 07 / 2014

BANCA EXAMINADORA



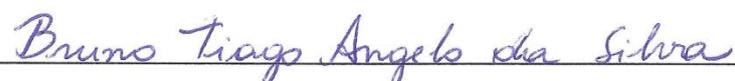
Prof. Dra. Marília Pereira de Oliveira – UFERSA

Presidente



Prof. Me. Christiane Mylena Tavares de Menezes Gameleira - UFERSA

Primeiro Membro



Prof. Me. Bruno Tiago Angelo da Silva - UFERSA

Segundo Membro

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, em primeiro lugar, pela proteção diária, por ser tão maravilhoso; Aquele que mantém viva a minha esperança de dias melhores;

Agradeço de forma singela e simbólica aos meus pais, que tanto se empenharam para me dar uma educação de qualidade. Durante a graduação, minha mãe foi o meu braço direito, não me deixando faltar nada. Eu retribuo tudo procurando enchê-los de orgulho da filha que tem;

Agradeço à minha avó, Salma, que apesar de não compreender a minha ausência em casa, aceitou e investiu a maior parte do tempo em meus estudos fora da minha cidade de origem. Agradeço também aos meus avós maternos (in memoriam) que em vida sempre torceram pela minha vitória;

Agradeço imensamente ao meu tio-avô e padrinho de formatura, Antão, por tanta coisa que não caberia em poucas linhas... Para todo o sempre terá a minha gratidão;

A Felipe, não tenho como expressar o quanto sou grata por sua presença em minha vida, pela paz que sempre encontrei em seu abraço, pela paciência, gentileza e respeito inesgotáveis, pela força física que me emprestou durante o trabalho pesado deste TFG e por tantas outras coisas...

Agradeço aos muitos colegas e poucos amigos com quem passei a maior parte dos últimos tempos enfrentando e vencendo cada desafio que surgia. Não citarei nomes para não correr o risco de ser injusta ou esquecer alguém. Cada um sabe a importância que teve nessa jornada;

Agradeço e não poderia deixar de agradecer a todos os familiares, principalmente tios (as) e primos (as) pelo incentivo e por acreditarem na minha capacidade;

Agradeço a Diego e Ruan pela ajuda em diversas ocasiões durante os procedimentos experimentais deste trabalho;

Agradeço também à Allyson, técnico do Laboratório de Materiais de Construção, pelas orientações e além dele, a Flaviano, aluno do IFRN de Mossoró, pela enorme gentileza e educação com que me recebeu e ajudou lá no campus;

Esprei este momento para agradecer a todos os professores que contribuíram com a minha formação desde que iniciei minha vida de estudante, em especial àqueles do curso de Engenharia Civil da UFERSA, que se empenharam a todo instante em formar verdadeiros engenheiros e não apenas colecionadores de títulos. A todos vocês deixo minha eterna gratidão e reconhecimento. Espero honrá-los sendo uma profissional admirável tanto quanto boa parte de vocês o são;

Agradeço a Marília, minha orientadora de TFG e de Iniciação Científica, por acreditar na minha capacidade e compromisso para com as responsabilidades que me foram confiadas;

Agradeço ainda à UFERSA, pela oportunidade de desempenhar um trabalho de Iniciação Científica que me forneceu uma pequena amostra de como é ser pesquisadora, e que também serviu de base para o desenvolvimento deste TFG.

“O merecimento é do homem que se encontra na arena com o rosto manchado de sangue, suor e poeira... Que conhece os grandes entusiasmos, as grandes devoções; que sacrifica a si próprio por uma causa digna; e que, quando muito, experimenta no final o triunfo de uma grande realização; e... se ele fracassa, pelo menos fracassou ao ousar grandes coisas, e, por isso mesmo, seu lugar nunca pode ser tomado por essas almas tímidas e frias que não conhecem nem vitórias nem derrotas.”

(J. F. Kennedy)

RESUMO

A constante ascensão no setor da construção civil impulsionada pelos grandes eventos que ocorreram e ocorrerão a partir de 2014 no Brasil (Copa do Mundo e Olimpíadas) fomenta a ideia de otimização dos processos construtivos assim como a necessidade de redução nos custos de produção. Um dos recursos disponíveis é o resgate de técnicas antigas que possam ser utilizadas na construção alternativa. Há registros que comprovam que no passado foram utilizados compostos orgânicos empregados como aditivos capazes de promover maior plasticidade e resistência mecânica a argamassas. Diante do exposto, propôs-se o uso do cacto do gênero *Opuntia*, devido sua vasta disponibilidade no nordeste brasileiro, como aditivo para argamassa de cimento Portland sob as formas de pó e de gel. A fim de se comprovar suas propriedades aditivas, realizaram-se ensaios de absorção de água por capilaridade, velocidade de propagação de onda ultrassônica e resistência à compressão axial nos corpos-de-prova produzidos com diversas proporções de aditivo à base de cacto. De fato, os resultados apontaram para um aumento da impermeabilidade dos corpos-de-prova produzidos com o aditivo de cacto, sendo mais expressivos para aqueles aditivados com o cacto em gel. Por outro lado, as argamassas aditivadas com o cacto em pó apresentaram maior quantidade de poros e conseqüente resistência inferior quando comparadas à argamassa de referência e àquelas produzidas com o aditivo de cacto em gel.

Palavras-Chave: Argamassas. Aditivo. Cacto em pó. Cacto em gel.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Espécies de cactos dominantes do nordeste brasileiro: (a) Mandacaru; (b) Palma; (c) Facheiro.....	23
Figura 2 - Espinhos de cacto.....	24
Figura 3 - Coleta de amostras de reboco à base de cal com mucilagem de cactos.....	24
Figura 4 - Restauração das ruínas de Chan-Chan, Peru	25
Figura 5 - Igreja Matriz, Olhão, Portugal	26
Figura 6 - Pintura de casa com mucilagem de palma associada à cal, Valente, Bahia	26
Figura 7 - Cacto do gênero <i>Opuntia</i> em Sousa/PB.....	29
Figura 8 - Mapa da localização do município de Sousa/PB	29
Figura 9 - Pedacos de cacto verde dentro da estufa.....	31
Figura 10 - Pedacos de cacto desidratado dentro da estufa	32
Figura 11 - Aditivo de cacto em pó	33
Figura 12 - (a) Pedacos de cacto cortado; (b) Imersão dos pedacos de cacto	34
Figura 13 - Aditivo de cacto em gel	34
Figura 14 - (a) Mistura dos ingredientes secos; (b) Acréscimo de água; (c) Homogeneização dos componentes; e (d) Obtenção do índice de consistência.....	36
Figura 15 - (a) Cimento e areia misturados; (b) Incorporação do aditivo de cacto em pó; (c) Homogeneização da mistura após acréscimo da água; e (d) Determinação da consistência ...	36
Figura 16 - Cura, em água, dos CPs	38
Figura 17 - Ensaio de absorção de água por capilaridade	39
Figura 18 - Ensaio de velocidade de propagação de onda ultrassônica.....	40
Figura 19 - Prensa universal – Ensaio de resistência à compressão axial	40
Figura 20 - Curva granulométrica do agregado miúdo.....	42
Figura 21 – Absorção média da água por capilaridade em função do tempo para cada tipo de CP produzido	44
Figura 22 – Porcentagem de absorção de água por capilaridade em relação aos CPs de referência (R).....	45
Figura 23 – Resistência média à compressão axial dos CPs para cada argamassa produzida ..	48

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Classificação das argamassas segundo as suas funções na construção	15
Tabela 2 - Classificação das argamassas	16
Tabela 3 - Características físicas do cimento Portland CPV ARI, marca MIZU	28
Tabela 4 - Características físicas do agregado miúdo	30
Tabela 5 - Limites da distribuição granulométrica do agregado miúdo	31
Tabela 6 - Traço, nomenclatura das argamassas e quantidade de aditivo de cacto incorporado	35
Tabela 7 - Quantidade de material utilizado em cada argamassa e seus respectivos índices de consistência.....	37
Tabela 8 - Porcentagens de material retido em cada peneira	41
Tabela 9 - Características físicas do agregado miúdo	42
Tabela 10 - Médias das massas dos CPs durante o ensaio de absorção de água por capilaridade	43
Tabela 11 - Média das velocidades de propagação de onda ultrassônica para cada tipo de CP	47

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
2 OBJETIVOS	12
2.1 OBJETIVO GERAL.....	12
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	12
3 METODOLOGIA.....	13
4 REFERENCIAL TEÓRICO	14
4.1 ARGAMASSAS.....	14
4.1.1 Classificação	14
4.1.2 Propriedades no estado fresco	16
4.1.3 Propriedades no estado endurecido	17
4.2 CIMENTO PORTLAND.....	18
4.3 AGREGADO MIÚDO	19
4.4 ÁGUA DE AMASSAMENTO	19
4.5 ADITIVOS	20
4.6 CACTÁCEAS	22
4.7 USO DO CACTO NA CONSTRUÇÃO CIVIL	24
5 MATERIAIS E MÉTODOS	27
5.1 MATERIAIS	27
5.1.1 Cimento Portland	27
5.1.2 Areia.....	28
5.1.3 Água	28
5.1.4 Aditivos.....	28
5.2 MÉTODOS.....	30
5.2.1 Caracterização física do agregado miúdo	30
5.2.2 Aditivo de cacto em pó	31
5.2.3 Aditivo de cacto em gel.....	33
5.2.4 Preparação das argamassas	34
5.2.5 Moldagem e cura dos corpos-de-prova.....	37
5.2.6 Ensaios	38
5.2.6.1 Absorção de água por capilaridade.....	38

5.2.6.2 Velocidade de propagação de onda ultrassônica	38
5.2.6.3 Resistência à compressão axial.....	38
6 RESULTADOS E DISCUSSÃO	41
6.1 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DO AGREGADO MIÚDO	41
6.2 ABSORÇÃO DE ÁGUA POR CAPILARIDADE	43
6.3 VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO DE ONDA ULTRASSÔNICA.....	46
6.4 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AXIAL.....	47
7 CONCLUSÕES.....	49
REFERÊNCIAS	50

1 INTRODUÇÃO

O mercado aquecido da construção civil no Brasil, devido os grandes eventos que ocorreram este ano e ocorrerão em 2016 (Copa do Mundo e Olimpíadas), promove um aumento considerável no consumo de materiais de construção. O aperfeiçoamento dos processos construtivos através do desenvolvimento de tecnologias alternativas é um dos principais interesses deste setor, porque visa promover o aumento do desempenho dos materiais a baixo custo, enquadrando ainda os princípios da sustentabilidade.

Os aglomerantes, agregados e a água são constituintes comuns a argamassas e concretos. A estes, cada vez mais se torna indispensável acrescentar ainda os chamados aditivos. Os aditivos são empregados com o intuito de aumentar ou acrescentar alguma propriedade. Assim como o cimento, por ser um produto industrializado possui custo elevado, e por consequência, encarece a produção.

De acordo com Chandra *et al.* (1998), nos tempos antigos a durabilidade de estruturas foi melhorada com o uso de materiais orgânicos, chamados polímeros naturais, que em sua maioria eram disponibilizados localmente e que, por isso, não eram caros. Os aditivos que eram utilizados antigamente em argamassas de cal representam um campo de investigação quase ilimitado.

Os cactos são plantas abundantes no Brasil, principalmente na região nordeste e predominantemente no semi-árido. Sobrevivem a longos períodos de seca, pois, além de seus espinhos dificultarem a perda de água para o ambiente, possuem internamente uma substância viscosa, rica em polissacarídeos, denominada mucilagem, que retém água.

Há vasta documentação acerca da utilização da mucilagem de cacto em toda a América do Sul. Dentre suas utilidades em diversas áreas, curiosamente se destaca seu uso na construção civil. Na América Latina, foi utilizada como estabilizante de terra crua em monumentos e como consolidante na restauração das ruínas de Chan-Chan, no Peru.

No Brasil, no processo denominado caiação, a mucilagem de cacto atua como agente fixador da cal ao substrato. No Rio Grande do Sul, relatos orais sobre a utilização de cactos como aditivos em argamassas históricas de cal e areia puderam ser comprovados mediante

pesquisas laboratoriais nessas argamassas e análises dos benefícios do uso do cacto à sua composição (SAWITZKI, 2006).

Chandra *et al.* (1998) investigaram o uso do extrato de cactos em argamassas de cimento Portland, bem como o mecanismo de sua interação durante o processo de hidratação. Magalhães (2009) propôs a adição de um impermeabilizante natural encontrado no cacto, estudando ainda a melhor forma de extração da mucilagem.

Em suma, estudos apontam para o ganho de resistência em pastas e argamassas de gesso, cimento ou cal com a incorporação da mucilagem de cactos, especificamente, os do gênero *Opuntia*, devido às suas características físicas (poucos espinhos) e propriedades aditivas.

A possibilidade de contribuição para o desenvolvimento de tecnologias alternativas para a construção civil a partir de um processo simples baseado na extração da mucilagem do cacto, planta predominantemente encontrada na região nordeste brasileira, motivou esta pesquisa.

Espera-se, com o desenvolver deste trabalho, comprovar o potencial do aditivo natural à base de cacto em argamassas de cimento Portland.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Este trabalho tem como objetivo geral estudar os efeitos da adição de um aditivo natural produzido a partir do cacto popularmente conhecido como Palma Forrageira, em argamassas de cimento Portland, sob a forma de pó e de gel, em proporções distintas, bem como confrontar os resultados com os obtidos para uma argamassa de mesmo traço isenta do aditivo.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Extrair a mucilagem do cacto em forma de pó e de gel para ser utilizada como aditivo;
- Caracterizar o agregado miúdo (areia) a ser utilizado na produção das argamassas;
- Produzir 6 tipos de argamassas a partir de um traço comum (1:3), sendo 3 delas aditivada com diferentes proporções de cacto em pó, 2 aditivadas com diferentes proporções de mucilagem de cacto em gel e 1 delas sem conter aditivo de cacto, tomada como referência, e com elas produzir corpos-de-prova;
- Realizar ensaios não-destrutivos nos corpos-de-prova (absorção por capilaridade e velocidade de onda ultrassônica);
- Realizar ensaio destrutivo nos corpos-de-prova (resistência à compressão).

3 METODOLOGIA

Este trabalho está estruturado basicamente em 3 partes: a primeira apresenta-se sob a forma de Referencial Teórico que serviu de embasamento para o desenvolvimento das demais, fundamentado em leitura, análise e interpretação de informações contidas em livros, dissertações, artigos, revistas, sites, etc; a segunda, que compreende a fase experimental da pesquisa, detalhada nos capítulos Materiais e Métodos; e a terceira, que abrange os Resultados e Conclusões.

Desenvolvido o Referencial Teórico, partiu-se para a seleção dos materiais que seriam utilizados para a produção dos aditivos e das argamassas. O agregado miúdo foi submetido aos ensaios de massa específica, massa unitária e granulometria para a obtenção de sua caracterização. O aditivo de cacto em pó foi produzido e armazenado com antecedência para posterior utilização. Já o aditivo de cacto em gel necessitou ser utilizado imediatamente após a sua produção.

Partiu-se então para a confecção das argamassas com as quais foram moldados 5 corpos-de-prova cilíndricos para cada um dos 6 tipos de argamassas pré-definidos. Realizou-se a cura ao ar durante 24 horas, seguida da desmoldagem e posterior cura úmida dos corpos-de-prova. Decorridos os 28 dias após a moldagem, os corpos-de-prova foram postos em estufa para a obtenção da constância de suas massas e logo após, deu-se início aos ensaios não-destrutivos de absorção de água por capilaridade, seguido do ensaio de determinação da velocidade de propagação de onda ultrassônica.

Por fim, realizou-se o ensaio de resistência à compressão axial e deu-se início à análise dos resultados. Todos os ensaios foram realizados mediante o estabelecido em suas respectivas normas citadas ao longo do texto na seção Métodos.

4 REFERENCIAL TEÓRICO

4.1 ARGAMASSAS

De acordo com Isaia (2007), “argamassas são materiais de construção, com propriedades de aderência e endurecimento, obtidos a partir da mistura homogênea de um ou mais aglomerantes, aglomerado miúdo (areia) e água, podendo conter ainda aditivos e adições minerais”.

4.1.1 Classificação

A Tabela 1 mostra a classificação das argamassas quanto às suas funções.

Tabela 1 - Classificação das argamassas segundo as suas funções na construção.

Função	Tipos
Para construção de alvenarias	Argamassa de assentamento (elevação da alvenaria)
	Argamassa de fixação (ou encunhamento) – alv. de vedação
Para revestimento de paredes e tetos	Argamassa de chapisco
	Argamassa de emboço
	Argamassa de reboco
	Argamassa de camada única
Para revestimento de pisos	Argamassa para revestimento decorativo monocamada
	Argamassa de contrapiso
	Argamassa de alta resistência para piso
Para revestimentos cerâmicos (paredes/pisos)	Argamassa de assentamento de peças cerâmicas – colante
	Argamassa de rejuntamento
Para recuperação de estruturas	Argamassa de reparo

Fonte: Isaia (2007).

As argamassas são classificadas ainda com relação a vários critérios, como mostra a Tabela 2.

Tabela 2 - Classificação das argamassas.

Critério de classificação	Tipo
Quanto à natureza do aglomerante	<ul style="list-style-type: none"> • Argamassa aérea • Argamassa hidráulica
Quanto ao tipo de aglomerante	<ul style="list-style-type: none"> • Argamassa de cal • Argamassa de cimento • Argamassa de cimento e cal • Argamassa de gesso • Argamassa de cal e gesso
Quanto ao número de aglomerantes	<ul style="list-style-type: none"> • Argamassa simples • Argamassa mista
Quanto à consistência da argamassa	<ul style="list-style-type: none"> • Argamassa seca • Argamassa plástica • Argamassa fluida
Quanto à plasticidade da argamassa	<ul style="list-style-type: none"> • Argamassa pobre ou magra • Argamassa média ou cheia • Argamassa rica ou gorda
Quanto à densidade de massa da argamassa	<ul style="list-style-type: none"> • Argamassa leve • Argamassa normal • Argamassa pesada
Quanto à forma de preparo ou fornecimento	<ul style="list-style-type: none"> • Argamassa preparada em obra • Mistura semipronta para argamassa • Argamassa industrializada • Argamassa dosada em central

Fonte: Isaia (2007).

As argamassas produzidas para assentamento de componentes de alvenaria, revestimento de tetos e paredes, revestimento de pisos ou contrapisos nos mais variados processos construtivos, hoje em dia, são comercialmente chamadas de argamassas de múltiplo uso (SELMO *et al.*, 2002).

4.1.2 Propriedades no estado fresco

O estado fresco da argamassa compreende o período decorrido entre a mistura de aglomerantes e agregados com a água e o início das reações de pega.

- **Consistência:** propriedade pela qual a argamassa tende a resistir à deformação (CINCOTTO *et al.*, 1995 *apud* SILVA, 2006). É influenciada pela quantidade de água adicionada e pelo uso de aditivos especiais.
- **Retenção da consistência:** propriedade da argamassa em manter sua consistência após o contato com um substrato. Depende da retenção de água (ROCHA e XAVIER, 2000).
- **Coesão e tixotropia:** a coesão é a capacidade de a argamassa manter seus constituintes homogêneos sem sofrer segregação. Argamassas tixotrópicas exigem baixa energia para alterarem sua forma, mas depois de alterada, conseguem mantê-la mesmo sob a ação da gravidade (ROCHA e XAVIER, 2000).
- **Plasticidade:** propriedade pela qual a argamassa tende a conservar-se deformada após a redução das tensões de deformação (SILVA, 2006).
- **Retenção de água:** capacidade de a argamassa manter sua trabalhabilidade quando sujeita a solicitações que provocam a perda de água (ISAIA, 2007).
- **Adesão inicial:** propriedade de a argamassa manter-se adequadamente unida à base após a sua aplicação (ROCHA e XAVIER, 2000).

4.1.3 Propriedades no estado endurecido

O estado endurecido da argamassa compreende o período decorrido entre a mistura de aglomerantes e agregados com a água e o fim das reações de pega.

- **Resistência mecânica:** está relacionada à capacidade da argamassa resistir a esforços de tração, compressão ou cisalhamento, oriundas de cargas estáticas ou dinâmicas atuantes das edificações ou de efeitos das condições ambientais (NAKAKURA, 2003).
- **Deformabilidade:** propriedade de a argamassa se deformar sem criar tensões no material (ROCHA e XAVIER, 2000).
- **Permeabilidade:** capacidade de a argamassa se deixar atravessar por um fluido (ROCHA e XAVIER, 2000).
- **Retração volumétrica:** retração resultante da reação química dos aglomerantes e remoção da água adsorvida nos produtos de hidratação durante a secagem (ROCHA e XAVIER, 2000).
- **Aderência:** capacidade da argamassa se fixar ao substrato onde for aplicada (ROCHA e XAVIER, 2000).

4.2 CIMENTO PORTLAND

Cimento Portland é o aglomerante obtido pela moagem do clinker (resultante da calcinação até fusão incipiente de uma mistura de calcário e argila) mais gipsita. A argila utilizada para a sua fabricação é essencialmente constituída de um silicato hidratado complexo de alumínio, geralmente contendo ferro e outros óxidos minerais, em menores porcentagens. A gipsita é adicionada no final do processo de fabricação com a função de regular o tempo de pega (ALVES, 1977).

Trata-se de um pó fino, com propriedades aglomerantes, que endurece sob ação da água. Uma vez endurecido, mesmo que seja novamente submetido à ação da água, não se decompõe mais. É produzido em instalações industriais de grande porte, comumente localizadas junto às jazidas em situação favorável para o transporte do produto acabado até os centros consumidores (BAUER, 2011).

A fabricação do cimento Portland se dá mediante seis processos principais, a saber: extração da matéria-prima, britagem, moedura e mistura, queima, moedura do clinker e expedição.

O produto acabado é ensacado em sacos de papel apropriado, acarretando a exigência de cuidados no seu armazenamento a fim de se evitar qualquer risco de hidratação, uma vez que os sacos não garantem a impermeabilização necessária. Não é recomendado o armazenamento de cimento por mais de três meses.

De acordo com a Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP, 2002), dentre os principais tipos de cimento Portland existentes no Brasil, os mais empregados nas diversas obras de construção civil são: cimento Portland comum, cimento Portland composto, cimento Portland de alto-forno e cimento Portland pozolânico.

4.3 AGREGADO MIÚDO

De acordo com Petrucci (1998), agregado é tomado como o material granular, sem forma e volume definidos, geralmente inerte, que possui dimensões e propriedades adequadas para serem utilizadas em obras de engenharia.

A Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT, através da NBR 7211 (2005), define agregados miúdos com sendo aqueles “cujos grãos passam pela peneira com abertura de malha de 4,75 mm e ficam retidos na peneira com abertura de malha de 150 µm, em ensaio realizado de acordo com a ABNT NBR NM 248, com peneiras definidas pela ABNT NBR NM ISO 3310-1”.

Para Ripper (1995), faz-se necessário dar atenção especial aos agregados utilizados em argamassas e concretos, uma vez que o maior volume dos elementos importantes de uma construção é formado por eles.

A composição granulométrica dos agregados miúdos possui grande influência nas propriedades futuras de argamassas e concretos (Petrucci, 1998). Para Sabbatini (1998), a areia que apresenta o melhor potencial de produzir uma argamassa adequada é a que possui granulometria contínua, classificada como média e na qual se predomina os grãos arredondados.

4.4 ÁGUA DE AMASSAMENTO

A água de amassamento tem atuação relevante na obtenção de concretos e argamassas adequados às suas finalidades, por isso, requer cuidados especiais no tocante à sua qualidade. A utilização de água inadequada pode ocasionar diversos problemas, dentre eles, alteração do tempo de pega, diminuição da resistência, eflorescência, corrosão das armaduras, etc.

De acordo com a origem da água, é possível distinguir se a mesma é ou não adequada para a preparação do concreto. A NBR 15900-1 (ABNT, 2009) distingue os tipos de água

existentes e estabelece os requisitos necessários para que seja possível utilizá-la na produção do concreto.

Ainda conforme a NBR 15900-1 (ABNT, 2009), a água proveniente do abastecimento público é adequada para o concreto e não necessita ser ensaiada; a água potável, que atende à Portaria nº 518 do Ministério da Saúde, pode ser utilizada sem restrições. Outros tipos de águas podem ser utilizados, mas estas devem ser ensaiadas.

Segundo Szlak (2002) *apud* Xavier (2014), a água confere continuidade à mistura, permitindo assim a ocorrência das reações entre os diversos componentes, sobretudo as do cimento. No entanto, é necessário cautela na adição deste componente, uma vez que embora o excesso de água confira uma melhor trabalhabilidade, ao ser evaporado, deixará vazios que estarão intimamente relacionados à diminuição da resistência.

4.5 ADITIVOS

Em 1824, Joseph Aspdin patenteou um cimento artificial que foi denominado cimento Portland. Em 1873 esse cimento passou a ser aditivado com gesso cru e cloreto de cálcio, a fim de se regular o seu tempo de pega. Após pesquisas feitas com diversos materiais, chegou-se a certos aditivos, tais como impermeabilizantes, aceleradores e retardadores que começaram a ser comercializados no início do século passado. Desde então, a tecnologia dos aditivos tem se desenvolvido acompanhando o crescente ritmo da construção civil.

A ABNT através da NBR 13529 (1995) define aditivo como sendo “produto adicionado à argamassa em pequena quantidade, com a finalidade de melhorar uma ou mais propriedades, no estado fresco ou endurecido”. As substâncias ativas de suas formulações podem ser orgânicas ou inorgânicas, sendo distribuídas num veículo líquido, pastoso ou sólido.

A NBR 11768 (ABNT, 1992) estabelece a seguinte classificação e definições para os aditivos para concreto de cimento Portland:

- **Aditivo plastificante (tipo P):** produto que aumenta o índice de consistência do concreto mantida a quantidade de água de amassamento, ou que possibilita a redução de, no mínimo,

6% da quantidade de água de amassamento para produzir um concreto com determinada consistência.

- **Aditivo retardador (tipo R):** produto que aumenta os tempos de início e fim de pega do concreto.
- **Aditivo acelerador (tipo A):** produto que diminui os tempos de início e de fim de pega do concreto, bem como acelera o desenvolvimento das suas resistências iniciais.
- **Aditivo plastificante retardador (tipo PR):** produto que combina os efeitos dos aditivos plastificante e retardador.
- **Aditivo plastificante acelerador (tipo PA):** produto que combina os efeitos dos aditivos plastificante e acelerador.
- **Aditivo incorporador de ar (tipo IAR):** produto que incorpora pequenas bolhas de ar ao concreto.
- **Aditivo superplastificante (tipo SP):** produto que aumenta o índice de consistência do concreto mantida a quantidade de água de amassamento, ou que possibilita a redução de, no mínimo, 12% da quantidade de água de amassamento, para produzir um concreto com determinada consistência.
- **Aditivo superplastificante retardador (tipo SPR):** produto que combina os efeitos dos aditivos superplastificante e retardador.
- **Aditivo superplastificante acelerador (tipo SPA):** produto que combina os efeitos dos aditivos superplastificante e acelerador.

Há ainda os aditivos impermeabilizantes, utilizados com a finalidade de diminuir a absorção de água por capilaridade de argamassas e concretos. Reforçam a impermeabilidade do concreto, pois atuam em seus poros formando uma fina película higroscópica, além de tamponá-los superficialmente.

No passado, foram utilizados compostos orgânicos com propriedades aditivas, como é o caso dos polissacarídeos (mucilagem vegetal). Segundo Kanan (2008), a durabilidade de argamassas históricas tem sido atribuída a aditivos orgânicos como óleo, sangue, urina, mucilagem de cactos e caseína.

4.6 CACTÁCEAS

Milhares de espécies distribuídas em várias famílias botânicas são conhecidas como plantas suculentas. São plantas carnudas e ricas em água, que trazem essas características para suportarem grandes períodos de seca (BALLESTER OLMOS, 1995). As principais espécies são as dos cactos (CACTACEAE ou cactáceas). A palavra cacto, do grego *Kaktos*, significa planta que tem espinhos. A primeira vez que esta palavra foi utilizada foi pelos gregos, e data de 300 anos a.C., para designar uma espécie semelhante à alcachofra.

As cactáceas apresentam anatomia diferenciada em algumas estruturas (folhas, caules ou raízes), o que as torna capazes de armazenar água, e, portanto, suculentas. Além disso, possuem uma especialização fisiológica importante que as permite sobreviver em condições extremas, que é a abertura dos estômatos durante a noite evitando a desidratação durante os períodos mais críticos do dia (TAKANE *et al.*, 2009).

Segundo Takane *et al.* (2009), a grande maioria dos cactos se encontra ao longo do continente americano, desde o Canadá até o sul do Chile. Algumas espécies ainda são encontradas em Madagascar, em alguns países do continente africano e no Sri Lanka.

São, ao todo, aproximadamente 2.000 espécies, que podem ser encontradas ao nível do mar, mas também em montanhas a cerca de 4.500 metros de altitude. Na cordilheira dos Andes, passam o inverno debaixo da neve, o que também ocorre com as espécies do centro dos Estados Unidos e dos altiplanos do México. Podem ser encontradas em troncos de árvores (epífitas), sobre pedras e geralmente à sombra. Dessa forma, nota-se que não são plantas exclusivas de desertos, mas de climas extremos, frios ou quentes.

Na caatinga do nordeste brasileiro ocorre a dominância de cactáceas dos gêneros *Cereus*, *Opuntia* e *Pilosocereus*, dos quais fazem parte o Mandacaru (*Cereus jamacaru*), a Palma (*Opuntia ficus-indica*) e o Facheiro (*Pilosocereus pachycladus*), respectivamente, Figura 1.

Figura 1 - Espécies de cactos dominantes do nordeste brasileiro: (a) Mandacaru; (b) Palma; (c) Facheiro.



Fonte: <http://pt.wikipedia.org>

Os caules dos cactos são espessos e suculentos, e pelos seus aspectos anômalos, são chamados cladódios. A seiva comumente espessa, com aspecto de gel, proporciona um grande volume para o armazenamento de materiais alimentares e contribui para a retenção de água, sendo denominada mucilagem. Segundo Chandra *et al.* (1998), esse gel contém proteínas e polissacarídeos. São nos caules dos cactos que estão localizados os estômatos da planta – estruturas semelhantes aos nossos poros, que durante o dia se mantêm fechados a fim de se evitar a perda de água na forma de vapor.

Uma característica marcante dos cactos são os espinhos (Figura 2), considerados folhas modificadas que se reduziram no processo de evolução da planta, contribuindo também para a redução da perda de água. Podem ter diferentes formas (recurvados, largos, eretos), tamanhos e até cores (avermelhados, cor-de-rosa, pretos, castanhos, brancos ou cinzentos) variando entre as espécies. Protegem a planta de possíveis predadores e ainda são capazes de promover a dispersão da mesma, uma vez que alguns animais podem ter algumas partes aderidas aos seus pelos e assim transportá-los para outros locais em que poderão vir a brotar.

Figura 2 - Espinhos de cacto.



Fonte: <http://www.terradagente.com.br>

4.7 USO DO CACTO NA CONSTRUÇÃO CIVIL

De acordo com Kanan (2008), com o intuito de conhecer aproximadamente a composição das argamassas históricas, pode-se realizar análises que sirvam para orientar novas formulações, a partir de amostras íntegras e representativas das argamassas antigas. A Figura 3 retrata a coleta de amostras de reboco à base de cal com mucilagem de cactos para exames laboratoriais no Instituto Getty de Conservação na Igreja de San Xavier Del Bac (construção em adobe), Arizona, US.

Figura 3 - Coleta de amostras de reboco à base de cal com mucilagem de cactos.



Fonte: Kanan (2008).

Segundo Cárdenas *et al.* (1998), no México a preparação de argamassa de cal pode conter suco de cacto. Esta é uma prática milenar e é também usada para proteger e restaurar prédios históricos, uma vez que o uso de cimento com estas finalidades possui efeitos prejudiciais, devido à incompatibilidade com o adobe, além de restringir a transpiração e aumentar o risco de danos causados pela umidade.

Para Oliveira *et al.* (2005), é do conhecimento de especialistas em conservação o emprego de variedades de cactos, entre elas a *Opuntia ficus-indica*, para consolidação de monumentos de terra, ou seja, como consolidante de terra crua. Hoyle (1990) *apud* Oliveira *et al.* (2005), afirma que a experimentação mais destacada nesse segmento foi efetivada nas ruínas de Chan-Chan, no Peru (Figura 4).

Figura 4 - Restauração das ruínas de Chan-Chan, Peru.



Fonte: dreamstime.com

A caição é uma pintura que utiliza como aglutinante a cal, na qual tradicionalmente eram utilizados aditivos. A mucilagem de cactos, em vários lugares da América Latina e Estados Unidos, tem sido utilizada como aditivo em pinturas à base de cal para aplicação em edifícios históricos (KANAN, 2008), como pode ser visto na Figura 5.

Figura 5 - Igreja Matriz, Olhão, Portugal.



Fonte: <http://domusmater.blogs.sapo.pt/2011/08/>

Segundo Andrade (2002), a prática da pintura de casas com a mucilagem da palma associada à cal (Figura 6) beneficia os moradores do município de Valente com redução de custos e prevenção de doenças, pois, segundo a mesma, supõe-se que esta técnica previna que insetos, como o Barbeiro, se instalem nas frestas das casas de taipa.

Figura 6 - Pintura de casa com mucilagem de palma associada à cal, Valente, Bahia.



Fonte: Andrade (2002).

“Misturando sumo de cactos com outros materiais de construção, pode-se melhorar a qualidade de paredes, pisos e tetos, tornando-os mais resistentes contra os estragos causados pelas chuvas e a umidade.” (LENGEN, 2004, p. 172)

Magalhães e Almeida (2010) comprovaram que a adição da mucilagem de cactos permitiu a redução no consumo de água e possibilitou menores taxas de absorção de água e maiores resistências à flexão em pastas de gesso. Verificaram ainda que o tipo e a quantidade de mucilagem adicionada influenciaram os resultados obtidos.

Chandra *et al.* (1998) verificaram melhorias na trabalhabilidade e resistências à flexão e à compressão em argamassas de cimento Portland aditivadas com a mucilagem de cacto liofilizada. A mucilagem de cacto teve efeito retardador.

Hernández-Zaragoza *et al.* (2008) ao compararem as consistências, os tempos de pega inicial e final e as resistências à compressão de pastas de cimento Portland padrão e pastas aditivadas, verificaram aumento na trabalhabilidade, retardamento nos tempos de pega e aumento da resistência em todas as idades para as pastas contendo cacto em pó.

Oliveira *et al.* (2005) verificaram aumento nas resistências à compressão axial e compressão diametral para argamassas aditivadas com o aditivo natural, apontando para a ação plastificante do mesmo. As argamassas aditivadas apresentaram ainda uma menor velocidade de ascensão e um menor grau de saturação.

5 MATERIAIS E MÉTODOS

5.1 MATERIAIS

5.1.1 Cimento Portland

Para a realização da pesquisa foi utilizado o cimento Portland CPV-ARI-RS da marca MIZU, que se encontrava armazenado em sua própria embalagem, adequadamente lacrada para a conservação de suas propriedades. Suas características físicas fornecidas pelo fabricante encontram-se na Tabela 3 a seguir.

Tabela 3 - Características físicas do cimento Portland CPV ARI, marca MIZU.

Massa específica (g/cm³)	Área específica (cm²/g)
3,14	4,06

Fonte: Autoria própria (2014).

5.1.2 Areia

O agregado miúdo utilizado (areia) foi proveniente do município de Assú/RN. A areia coletada na condição de lavada foi posta para secar ao ar em temperatura ambiente e posteriormente submetida ao peneiramento em malha 4,8 mm a fim de se obter apenas a fração miúda do conteúdo. Após este procedimento, o referido material foi armazenado até ser submetido aos ensaios de caracterização física e logo em seguida ser utilizado para a produção das argamassas.

5.1.3 Água

Utilizou-se água proveniente da rede de distribuição que abastece a UFERSA e a mesma se encontrava em temperatura ambiente.

5.1.4 Aditivos

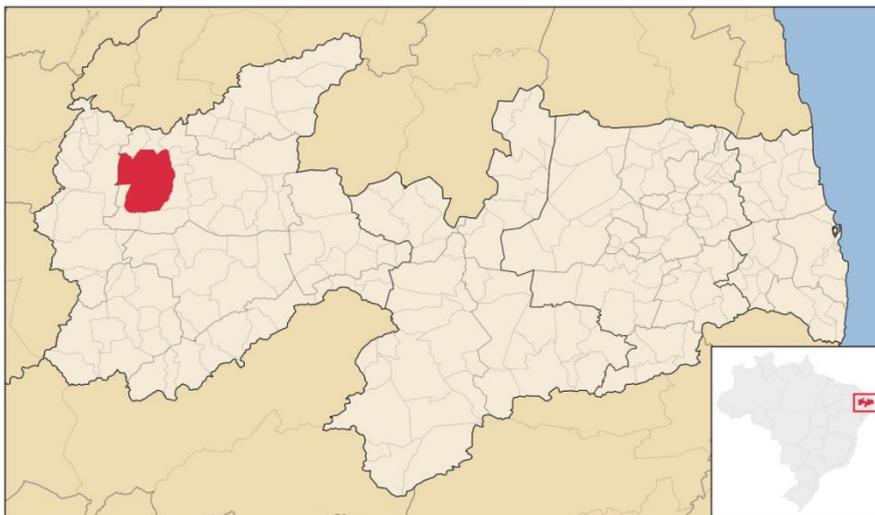
Os aditivos de cacto sob a forma de pó e de gel foram produzidos com cactos do gênero *Opuntia* (Figura 7), de acordo com os processos seguidos por Magalhães (2009) e Chandra (1998), respectivamente. Os cactos foram extraídos de uma fazenda no município de Sousa/PB (Figura 8). As pesquisas com cactos na revisão bibliográfica se referiam aos cactos do gênero *Opuntia*, devido sua riqueza em mucilagem e pequena quantidade de espinhos. Por este motivo, optou-se por desenvolver esta pesquisa também com essa espécie.

Figura 7 - Cacto do gênero *Opuntia* em Sousa/PB.



Fonte: Autoria própria (2013).

Figura 8 - Mapa da localização do município de Sousa/PB.



Fonte: IBGE (2008).

5.2 MÉTODOS

5.2.1 Caracterização física do agregado miúdo

A caracterização física do agregado miúdo utilizado foi realizada mediante os ensaios de massa específica, massa unitária solta e granulometria, segundo os procedimentos estabelecidos em suas respectivas normas e apresentadas na Tabela 4.

Tabela 4 - Características físicas do agregado miúdo.

Característica	Norma
Massa específica	NBR 9776/87
Massa unitária solta	NBR 7251/82
Granulometria	NBR 7217/03

Fonte: Autoria própria (2014).

Os limites da distribuição granulométrica segundo a NBR 7211 (ABNT, 2005) encontram-se expressos na Tabela 5.

Tabela 5 - Limites da 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: NBR 7211 (ABNT, 2005).

5.2.2 Aditivo de cacto em pó

A fabricação do aditivo de cacto em pó se deu por etapas. Inicialmente, as raquetes de cacto foram pesadas numa Balança Analítica de Precisão, da marca Marte modelo AS2000C, totalizando 2.440,0 g. Em seguida, foram cortadas e inseridas na Estufa Microprocessada de Secagem, da marca Quimis modelo Q317M-52, para desidratação à $105 \pm 5^\circ\text{C}$ por aproximadamente 90 horas (Figura 9).

Figura 9 - Pedacos de cacto verde dentro da estufa.



Fonte: Autoria própria (2013).

Após a remoção dos pedacos de cacto desidratados (Figura 10) da estufa, as mesmas foram postas em dessecador até que atingissem a temperatura ambiente, para que só então fossem trituradas em liquidificador. O pó proveniente da trituração foi obtido a partir do material passante na peneira de abertura 600 μm e pesado, totalizando 212,8 g, para logo em seguida ser armazenado em recipiente de plástico com tampa rosqueada. A Figura 11 ilustra o aditivo de cacto em pó finalizado.

Figura 10 - Pedacos de cacto desidratado dentro da estufa.



Fonte: Autoria própria (2013).

Figura 11 - Aditivo de cacto em pó.



Fonte: Autoria própria (2014).

5.2.3 Aditivo de cacto em gel

A fabricação do aditivo de cacto em gel consistiu na extração da mucilagem do cacto através do repouso, em temperatura ambiente, de pedaços de cacto cortados em tiras imersos em um recipiente coberto contendo água (Figura 12), na proporção 1:3 (cacto:água). A mistura permaneceu em repouso durante 48 h, para só então ser coada com a finalidade de eliminar os resíduos e se obter apenas o conteúdo gelatinoso esperado, como pode ser observado na Figura 13. A mucilagem do cacto apresentava cor ligeiramente esverdeada e odor forte. O aditivo de cacto em gel foi utilizado imediatamente após a coagem, pois sua origem orgânica lhe conferia caráter perecível.

Figura 12 - (a) Pedacos de cacto cortado; (b) Imersão dos pedacos de cacto.



Fonte: Autoria própria (2014).

Figura 13 - Aditivo de cacto em gel.



Fonte: Autoria própria (2014).

5.2.4 Preparação das argamassas

Foram produzidos 6 tipos de argamassas, a saber tipo R, A, B, C, D e E. A argamassa do tipo R foi assim denominada por ser tomada como referência nos resultados dos ensaios em relação às argamassas aditivadas com 3 porcentagens diferentes de aditivo de cacto em pó em relação à massa de cimento, e em relação às argamassas aditivadas com 2 porcentagens diferentes de aditivo de cacto em gel em substituição da água de amassamento.

As argamassas aditivadas com 0,5% de aditivo de cacto em pó receberam a denominação A, as aditivadas com 1,0% de aditivo de cacto em pó foram denominadas B e as aditivadas com 1,5% de aditivo de cacto em pó, C. Tais porcentagens foram definidas aleatoriamente, dentro da quantidade máxima permitida para aditivos. Por outro lado, as argamassas aditivadas com aditivo de cacto em gel foram denominadas de D e E, e continham 50% e 100% da substância em substituição da água de amassamento, respectivamente, conforme descrito por Chandra *et al.* (1998).

O traço seguido e a quantidade de aditivo de cacto incorporado em cada argamassa são resumidos na Tabela 6 a seguir.

Tabela 6 - Traço, nomenclatura das argamassas e quantidade de aditivo de cacto incorporado.

Traço	Tipo de argamassa	Quantidade de aditivo de cacto em pó incorporado em relação à massa de cimento	Quantidade de aditivo de cacto em gel em substituição da água de amassamento
1:3	R	-	-
	A	0,5%	-
	B	1,0%	-
	C	1,5%	-
	D	-	50%
	E	-	100%

Fonte: Autoria própria (2014).

Todas as argamassas foram produzidas mediante a mistura prévia dos ingredientes secos, seguido do acréscimo de água (ou aditivo de cacto em gel) aos poucos, até que a homogeneização fosse completa e atingisse a consistência de $24,5 \pm 2,0$ mm na Mesa de Consistência. A Figura 14 detalha as etapas da produção da argamassa R enquanto a Figura 15 demonstra o passo-a-passo da produção das argamassas aditivadas com cacto em pó.

Figura 14 - (a) Mistura dos ingredientes secos; (b) Acréscimo de água; (c) Homogeneização dos componentes; e (d) Obtenção do índice de consistência.



Fonte: Autoria própria (2014).

Figura 15 - (a) Cimento e areia misturados; (b) Incorporação do aditivo de cacto em pó; (c) Homogeneização da mistura após acréscimo da água; e (d) Determinação da consistência.



Fonte: Autoria própria (2014).

As quantidades de materiais utilizados, assim como os índices de consistência para cada argamassa constam na Tabela 7 a seguir.

Tabela 7 - Quantidade de material utilizado em cada argamassa e seus respectivos índices de consistência.

Tipo de argamassa	Cimento	Areia	Água	Aditivo de cacto em pó	Aditivo de cacto em gel	Índice de consistência
R	900 g	2.700 g	485 ml	0,0 g	0,0 ml	23,0 mm
A			498 ml	4,5 g	0,0 ml	23,0 mm
B			535 ml	9,0 g	0,0 ml	22,5 mm
C			500 ml	13,5 g	0,0 ml	24,0 mm
D			240 ml	0,0 g	240 ml	25,0 mm
E			0 ml	0,0 g	476 ml	25,0 mm

Fonte: Autoria própria (2014).

5.2.5 Moldagem e cura dos corpos-de-prova

Foram moldados 5 corpos-de-prova (CPs) cilíndricos de dimensões 50 mm de diâmetro e 100 mm de altura para cada tipo de argamassa produzida, de acordo com a NBR 7215 (ABNT, 1996).

Após a moldagem os CPs foram submetidos à cura inicial ao ar durante 24 h e em seguida foram desmoldados e identificados, exceto os CPs do tipo B e C que necessitaram ser desmoldados após um período maior de tempo, uma vez que decorridas as 24 h, observou-se que os mesmos aparentavam não ter se solidificado completamente.

A cura final foi realizada através da imersão dos CPs em baldes com água suficiente para cobri-los (Figura 16) e garantir que permanecessem submersos durante 28 dias, contados a partir da moldagem.

Figura 16 - Cura, em água, dos CPs.



Fonte: Autoria própria (2014).

5.2.6 Ensaios

5.2.6.1 Absorção de água por capilaridade

O ensaio de absorção de água por capilaridade foi realizado de acordo com a NBR 9779 (ABNT, 1995) para todos os CPs produzidos. Para garantir que os CPs se mantivessem afastados do fundo do recipiente ao mesmo tempo em que houvesse um contato efetivo entre as suas faces inferiores e a água, foi necessário improvisar um suporte constituído por recipiente plástico e peneiras, como pode ser observado na Figura 17. O nível da água foi controlado a partir de constantes medições com o auxílio de uma régua.

Figura 17 - Ensaio de absorção de água por capilaridade.



Fonte: Autoria própria (2014).

A absorção de água por capilaridade segundo a NBR 9779 (ABNT, 1995) é calculada pela seguinte equação:

$$C = \frac{A - B}{S}$$

Onde:

C = absorção de água por capilaridade, g/cm²;

A = massa do corpo-de-prova que permanece com uma das faces em contato com a água durante um período de tempo especificado, em g;

B = massa do corpo-de-prova seco, assim que este atingir a temperatura de (23 ± 2)°C, em g;

S = área da seção transversal, em cm².

5.2.6.2 Velocidade de propagação de onda ultrassônica

O teste de velocidade de onda ultrassônica foi realizado conforme o que estabelece a NBR 8802 (ABNT, 1994). Para tal procedimento foi utilizado um aparelho denominado Ultrasonic Velocity Tester, da marca PUNDIT (Figura 18).

Figura 18 - Ensaio de velocidade de propagação de onda ultrassônica.



Fonte: Autoria própria (2014).

5.2.6.3 Resistência à compressão axial

O ensaio de resistência à compressão axial foi realizado de acordo com a NBR 7215 (ABNT, 1996) numa prensa universal da marca Emic (Figura 19).

Figura 19 - Prensa universal – Ensaio de resistência à compressão axial.



Fonte: Autoria própria (2014).

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DO AGREGADO MIÚDO

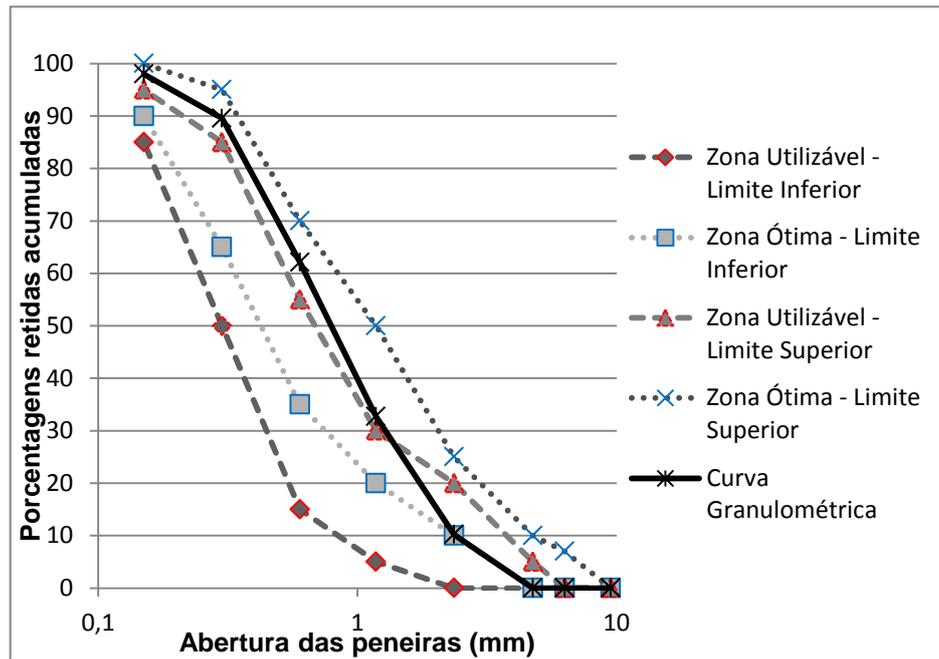
As percentagens de material retido em cada peneira no ensaio de granulometria são apresentadas na Tabela 8, a partir das quais foi possível se obter a curva granulométrica (Figura 20) para o agregado miúdo utilizado.

Tabela 8 - Percentagens de material retido em cada peneira.

Peneira ABNT	Massa retida (g)		Massa retida (%)		Porcentagem retida média	Porcentagem retida acumulada
	Ensaio a	Ensaio b	Ensaio a	Ensaio b		
9,5 mm	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0%	0,0%
6,3 mm	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0%	0,0%
4,75 mm	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0%	0,0%
2,36 mm	46,7	55,6	9,34	11,12	10,2%	10,2%
1,18 mm	106,3	118,0	21,27	23,60	22,4%	32,7%
600 µm	149,7	144,8	29,95	28,96	29,5%	62,1%
300 µm	142,0	132,4	28,42	26,48	27,4%	89,6%
150 µm	43,4	40,8	8,68	8,16	8,4%	98,0%
Fundo	11,7	8,4	2,34	1,68	2,0%	100,0%
Σ	499,8	500,0	100,00	100,00		

Fonte: Autoria própria (2014).

Figura 20 - Curva granulométrica do agregado miúdo.



Fonte: Autoria própria (2014).

A Tabela 9 apresenta as características físicas do agregado miúdo.

Tabela 9 - Características físicas do agregado miúdo.

Característica	Valor obtido
Massa específica	2,622 kg/dm ³
Massa unitária solta	1,511 g/cm ³
Granulometria	MF = 2,93

Fonte: Autoria própria (2014).

De acordo com a NBR 7211 (ABNT, 1983), conforme a distribuição granulométrica e o módulo de finura da areia é possível classificá-la da seguinte maneira:

- Muito finas – $1,35 < MF < 2,25$
- Finas – $1,71 < MF < 2,78$

- Médias – $2,11 < MF < 3,28$
- Grossas – $2,71 < MF < 4,02$

Portanto, a areia utilizada classifica-se como areia média.

6.2 ABSORÇÃO DE ÁGUA POR CAPILARIDADE

A Tabela 10 a seguir contém as médias das massas dos CPs após cada pesagem em intervalos de tempo estabelecidos pela referida norma.

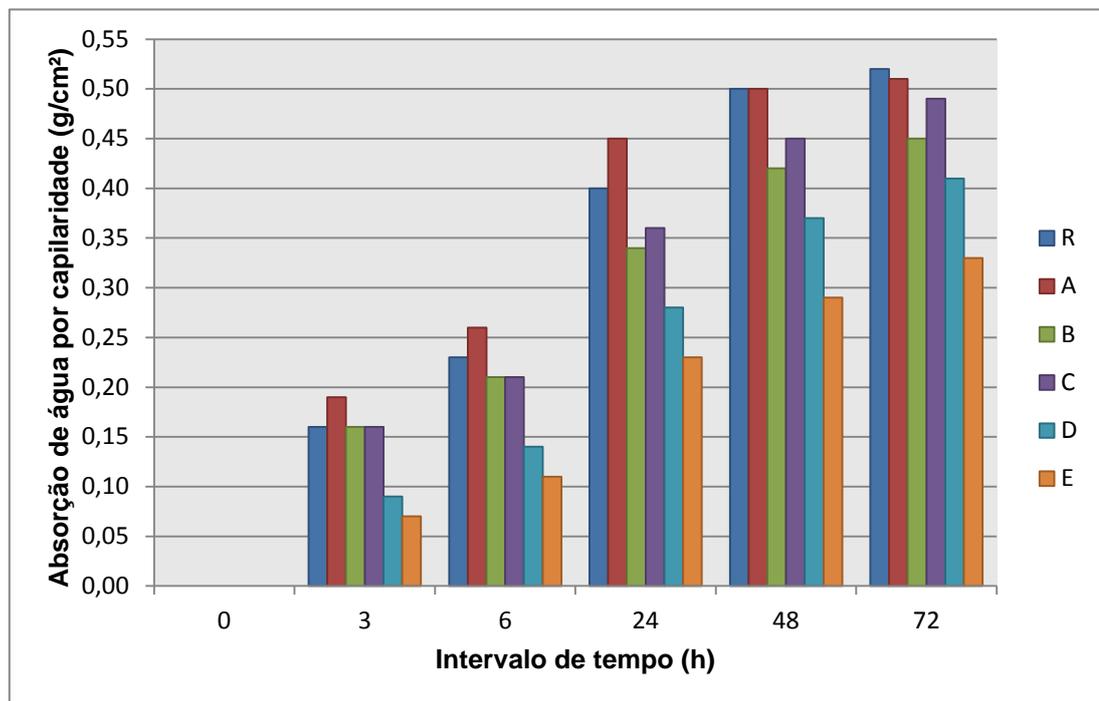
Tabela 10 - Médias das massas dos CPs durante o ensaio de absorção de água por capilaridade.

CP	Massa constante seca (g)	Massa 3h (g)	Massa 6h (g)	Massa 24h (g)	Massa 48h (g)	Massa 72h (g)
R	414,6	422,4	425,9	434,6	439,2	440,3
A	413,0	422,2	425,5	435,3	437,5	438,1
B	401,7	411,9	411,9	418,7	422,4	424,1
C	404,8	412,5	415,0	422,6	427,0	428,8
D	417,8	422,2	424,5	431,7	435,9	437,9
E	419,4	423,6	425,9	433,4	437,5	439,5

Fonte: Autoria própria (2014).

A absorção de água por capilaridade foi calculada para todos os CPs e em seguida foi calculada a média para cada tipo de argamassa, em cada intervalo de tempo. A Figura 21 a seguir expressa esses valores.

Figura 21 – Absorção média da água por capilaridade em função do tempo para cada tipo de CP produzido.



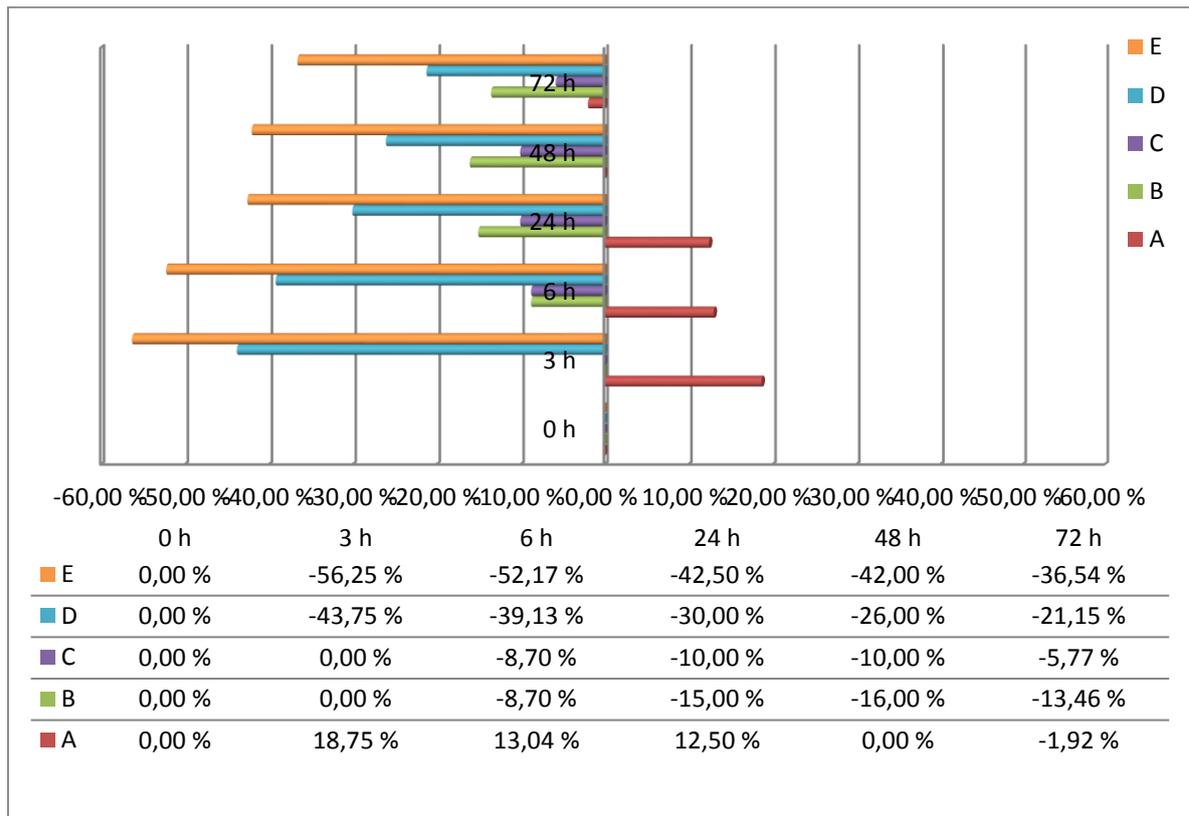
Fonte: Autoria própria (2014).

O gráfico anterior permite observar que a média da absorção de água por capilaridade para os CPs do tipo A (0,5% de cacto em pó) mostra-se superior às médias obtidas para os CPs do tipo R (0,0% de cacto em pó), B (1,0% de cacto em pó), C (1,5% de cacto em pó), D (50% de cacto em gel em substituição à água de amassamento) e E (100% de cacto em gel em substituição à água de amassamento) em quase todos os intervalos de tempo, exceto às 48h, quando se mantém na mesma média de absorção que os CPs do tipo R, e às 72h, quando se apresenta com média inferior à obtida também para os CPs do tipo R.

Os CPs do tipo B e C apresentaram médias iguais aos CPs de referência (R) apenas com 3h de contato com a água. As médias obtidas para os CPs do tipo B com 3h e 6h apresentaram-se iguais às do tipo C, porém nos outros intervalos de tempo (24h, 48h e 72h) as médias para os CPs do tipo C foram maiores que as do tipo B. Em contrapartida, a todo instante as médias dos CPs confeccionados com aditivo de cacto em gel (D e E) permaneceram inferiores as médias obtidas para os demais tipos de CPs, sendo que os CPs tipo E apresentaram as menores médias em relação a todos os outros tipos.

Para efeito de melhor visualização dos resultados, foi calculada ainda a porcentagem de absorção de água por capilaridade para mais (representado com sinal positivo) ou para menos (representado com sinal negativo) em relação aos CPs de referência (R) para cada tipo de CP produzido e em cada intervalo de tempo. Segue abaixo (Figura 22).

Figura 22 – Porcentagem de absorção de água por capilaridade em relação aos CPs de referência (R).



Fonte: Autoria própria (2014).

Na Figura 22 é possível visualizar que apenas a argamassa tipo A chegou a apresentar absorção de água por capilaridade superior à absorção da argamassa R em alguns intervalos de tempo, e ainda, que a tipo E absorveu em torno de 56% menos que a argamassa de referência. Os valores mais expressivos ficaram por conta dos CPs produzidos com o aditivo de cacto em gel (D e E).

Se acumularmos a absorção de água dos CPs ao longo do tempo para cada tipo produzido, obtemos a seguinte ordem decrescente de absorção: A, R, C, B, D e E.

Durante a produção das argamassas contendo cacto em pó, houve a necessidade de se aumentar a quantidade de água para atingir a consistência padrão. Tal necessidade pode ser atribuída ao aumento da quantidade de finos na mistura, ou seja, aumento da superfície específica dos materiais secos. Aumentar a quantidade de água contribui para o aumento da porosidade das argamassas.

De fato, os CPs contendo cacto em pó apresentaram menores massas quando comparadas aos CPs de referência e aos CPs produzidos com cacto em gel. No entanto, no geral, verificou-se que os CPs contendo cacto em pó apresentaram menor taxa de absorção de água por capilaridade que os CPs de referência. Uma explicação plausível para este acontecimento se encontra na hipótese de que o CP em contato com a água por tempo prolongado favorece a transformação do cacto em pó em gel, que preenchendo os poros, torna-o impermeável.

No caso dos CPs do tipo D e E ocorreu o oposto. Os CPs (D e E) necessitaram de uma menor quantidade de água para atingir a consistência padrão e apresentaram maiores densidades, quando comparados aos demais CPs. As taxas de absorção de água por capilaridade bem inferiores às obtidas para os demais CPs confirmam que a adição de cacto em gel influi positivamente na porosidade e impermeabilidade das argamassas.

6.3 VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO DE ONDA ULTRASSÔNICA

De acordo com a Tabela 11 é possível verificar que as médias das velocidades de propagação de onda ultrassônica obtidas para cada tipo de CP apresentaram-se sobre a forma decrescente, na medida em que aumentava a quantidade de aditivo incorporado para os casos em que foi utilizado o cacto em pó (A, B e C). Com relação aos CPs produzidos com a mucilagem de cacto em gel (D e E), verificou-se aumento da velocidade de propagação de onda ultrassônica proporcional ao aumento de mucilagem incorporada em substituição da água de amassamento. A Tabela 22 a seguir apresenta a média dos valores obtidos para cada tipo de CP.

Tabela 11 - Média das velocidades de propagação de onda ultrassônica para cada tipo de CP.

CP	Média da velocidade de onda ultrassônica (m/s)
R	3731,2
A	3579,2
B	3494,0
C	3473,3
D	3802,0
E	3842,5

Fonte: Autoria própria (2014).

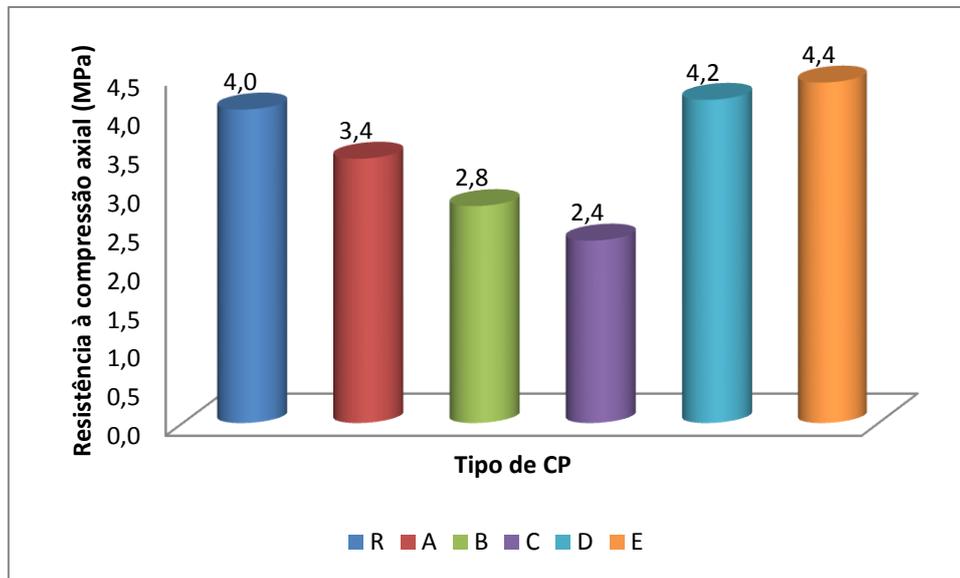
A adição das argamassas com cacto em pó aumentou a necessidade de água nas argamassas, como já foi comentado e, portanto, tornou-as mais porosas. A queda na velocidade de propagação de onda ultrassônica na medida em que se aumenta a quantidade de aditivo de cacto em pó incorporada comprova as hipóteses levantadas.

Por outro lado, o aumento da quantidade de mucilagem em substituição à água de amassamento nas argamassas ser proporcional à velocidade de propagação de onda ultrassônica comprova que o aditivo de cacto em gel atua tornando os CPs mais compactos, ou seja, menos porosos.

6.4 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AXIAL

A resistência média à compressão axial dos CPs se encontram plotadas em gráfico na Figura 23 para cada tipo de argamassa produzida, permitindo fazer o comparativo entre as mesmas.

Figura 23 – Resistência média à compressão axial dos CPs para cada argamassa produzida.



Fonte: Autoria própria (2014).

No gráfico anterior fica claro que as médias das resistências dos CPs contendo cacto em pó não apresentaram resultados satisfatórios com relação aos CPs de referência, sendo o pior resultado para os CPs do tipo C, contendo 1,5% de aditivo de cacto em pó em relação à massa de cimento. Em contra partida, as argamassas produzidas com o aditivo de cacto em gel proporcionaram maiores resistências aos CPs com relação a todos os outros tipos.

Era de se esperar que esses resultados estivessem de acordo com os obtidos para a velocidade de propagação de onda ultrassônica, como realmente aconteceu, uma vez que a porosidade é uma característica inversamente proporcional à resistência à compressão.

7 CONCLUSÕES

A análise dos resultados obtidos para os ensaios realizados com todos os tipos de argamassa produzidos permite concluir que:

- A incorporação do aditivo de cacto em pó nas argamassas aumentou a necessidade de água para atingir a consistência padrão, o que pode ser atribuído ao fato de que o pó existente na mistura promoveu o aumento da superfície específica dos materiais secos;
- Somente no ensaio de absorção de água por capilaridade as argamassas produzidas com aditivo de cacto em pó (A, B e C) apresentaram resultados satisfatórios quando comparadas à argamassa de referência (R);
- Uma maior quantidade de aditivo de cacto em pó incorporada às argamassas implicou em menor velocidade de propagação de onda ultrassônica, ou seja, aumentou a formação de poros, e conseqüentemente, diminuiu a resistência à compressão;
- Uma maior quantidade de aditivo de cacto em pó incorporada às argamassas possibilitou ao longo do tempo uma taxa menor de absorção de água por capilaridade, provavelmente provocada pela transformação do aditivo, em contato prolongado com a água, em gel, que acabou ocupando o vazio dos poros no lugar da água;
- Nitidamente, as argamassas produzidas com o aditivo de cacto em gel (D e E) apresentaram os melhores desempenhos quando comparadas à argamassa de referência (R) e às argamassas produzidas com o aditivo de cacto em pó nos ensaios de absorção de água por capilaridade, velocidade de propagação de onda ultrassônica e resistência à compressão axial, o que pode ser explicado pela menor formação de poros;
- Quanto a melhor maneira de utilização do aditivo, fica claro que em forma de gel os resultados foram mais eficientes.

De uma forma geral, pode-se dizer que a argamassa do tipo E obteve melhor desempenho quando comparada a todas as outras produzidas. Se se desejar estabelecer uma ordem do melhor para o pior resultado da resistência à compressão, tem-se que: $E > D > R > A > B > C$. Por outro lado, para a absorção de água por capilaridade, tem-se: $E > D > B > C > R > A$.

REFERÊNCIAS

- ALVES, J. D. **Materiais de Construção**. São Paulo: Nobel. Vol. 1. 1977.
- ANDRADE, T. S. A. **Um Estudo Etnobotânico da Conexão Homem/Cactaceae no Semi-Árido Baiano**. 2002. 102 f. Dissertação (Mestrado em Botânica) – Departamento de Ciências Biológicas, Universidade Estadual de Feira de Santana, Feira de Santana-BA. 2002.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. Guia básico de utilização do cimento portland. 7. ed. São Paulo, 2002. 28p. (BT0-106).
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7211: Agregado para concreto**. Rio de Janeiro: ABNT, 1983.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7211: Agregados para concreto - Especificação**. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.
- _____. **NBR 7215: Cimento Portland - Determinação da resistência à compressão**. Rio de Janeiro: ABNT, 1996.
- _____. **NBR 7217: Agregados - Determinação da composição granulométrica**. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.
- _____. **NBR 7251: Agregado em estado solto - Determinação da massa unitária**. Rio de Janeiro: ABNT, 1982.
- _____. **NBR 8802: Concreto endurecido – Determinação da velocidade de propagação de onda ultra-sônica**. Rio de Janeiro: ABNT, 1994.
- _____. **NBR 9776: Agregados - Determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco Chapman**. Rio de Janeiro: ABNT, 1987.
- _____. **NBR 9779: Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água por capilaridade**. Rio de Janeiro: ABNT, 1995.
- _____. **NBR 11768: Aditivos para concreto de cimento Portland**. Rio de Janeiro, 1992.
- _____. **NBR 13529: Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas**. Rio de Janeiro, 1995.
- _____. **NBR 15900: Água para amassamento do concreto Parte 1: Requisitos**. Rio de Janeiro, 2009.
- BALLESTER OLMOS, J. F. **Cactus y Plantas Suculentas**. Espanha: Floraprint, 1995. 144 p.
- BAUER, L. A. F. **Materiais de Construção**. Rio de Janeiro: LTC – Livros Técnicos e Científicos, 2011. Vol.1.

CÁRDENAS, A.; ARGUELLES, W. M.; GOYCOOLEA, F. M. On de Possible Role of Opuntia ficus-indica Mucilage in Lime Mortar Performance in the Protection of Historical Buildings. **Journal of the Professional Association for Cactus Development**, USA, v.3. 1998. 8 p.

CHANDRA, S.; EKLUND, L.; VILLARREAL, R. R. Use of cactus in Mortars and Concrete. *Cement and Concrete Research*, USA, v. 28, n. 01, p.41-51. 1998.

HERNÁNDEZ ZARAGOZA, J. B.; CORONADO MÁRQUEZ, A.; LÓPEZ LARA, T.; HORTA RANGEL, J. Mortar Improvement Using Nopal Additive. *Journal of the Professional Association for Cactus Development*. USA: Professional Association for Cactus Development, v. 10, p. 120-125, 2008.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Divisão Territorial do Brasil e Limites Territoriais**. Brasília: IBGE, 2008.

ISAIA, G. C. et al. *Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais*. São Paulo: IBRACON, 2007.1 v. 1712 p.

KANAN, M. I. **Manual de Conservação e Intervenção de Argamassas e Revestimentos à Base de Cal**. Brasília, DF. Iphan, 2008. 172 p.

LENGEN, J. V. **Manual do Arquiteto Descalço**. Porto Alegre: Livraria do Arquiteto; 2004; Rio de Janeiro: TIBÁ – Instituto de Tecnologia Intuitiva e Bio-Arquitetura, 2004. 332 p.

MAGALHÃES, A. C. T. V. de. **Estudo de Fibras Vegetais, Mucilagem de Cacto e Gesso em Componentes Construtivos**. 2009. 123 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília, Brasília-DF, 2009.

MAGALHÃES, A. C. T. V. de; ALMEIDA, J. G. de. Uso da Mucilagem de Cacto em Pastas de Gesso: Efeitos na absorção de água e na resistência à flexão. *Ambiente Construído*. Porto Alegre: ANTAC, v. 10, n. 1, p. 139-151, 2010.

NAKAKURA, E. H. **Análise e classificação das argamassas industrializadas segundo a NBR 13281 e a Meruc**. 2003. 168f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia de Construção Civil, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo - SP, 2003.

OLIVEIRA, M. M.; SAWITZKI, R. L.; FONSECA, T. C. C. S. A seiva de cactos como aditivos de argamassas antigas. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIAS DE ARGAMASSAS, 6., INTERNACIONAL SYMPOSIUM ON MORTARS TECHNOLOGY, 1., Florianópolis, 2005. **Anais...** SBTA: Florianópolis, 2005.

PETRUCCI, Eladio. G. R. **Concreto de Cimento Portland**. 13. ed. rev. Vladimir Antonio Paulon. São Paulo: Globo, 1998. 308 p.

RIPPER, Ernesto. **Manual prático de materiais de construção**. 1. ed. São Paulo: PINI, 1995. 256 p.

ROCHA, J. C.; XAVIER, L. L. **Materiais de Construção**. Material didático. Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Civil. Florianópolis, 2000.

SABBATINI, F. **Argamassas de assentamento para paredes de alvenaria resistente**. 2ª ed. São Paulo: ABCP, 1998.

SAWITZKI, R. L. O Estudo da Adição da Mucilagem de Cactos às Argamassas no Município de Piratini – Rio Grande do Sul. Resumos do III Simpósio de Técnicas Avançadas em Conservação de Bens Culturais. **Revista Brasileira de Arqueometria Restauração Conservação**, Olinda, ano 1, Edição Especial, 2006.

SELMO, S. M. **Propriedades e Especificações de Argamassas Industrializadas de Múltiplo Uso**. Boletim PCC 310. São Paulo, 2002.

SILVA, N. G. da. **Argamassa de revestimento de cimento, cal e areia britada de rocha calcária**. 2006. 164f. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) – Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná - PR, 2006.

TAKANE, R. J.; PIVETTA, K. F. L.; YANAGISAWA, S. S. **Cultivo de Cactos e Suculentas Ornamentais**. 1. ed. Fortaleza: GrafHouse, 2009. 168 p.

XAVIER, Vanessa Jamille Mesquita. **Utilização do resíduo de quartzito em argamassas de múltiplo uso**. 2014. 50 f. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, 2014.