



Universidade Federal da Paraíba

Centro de Tecnologia

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL E
AMBIENTAL
– MESTRADO –**

**TRATAMENTO SUPERFICIAL PARA BLOCOS DE TERRA
COMPRIMIDA (BTC): AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DA
MUCILAGEM DE XIQUE-XIQUE (*Pilosocereus gounellei*)**

Por

Ana Beatriz Egypto Queiroga da Nóbrega

*Dissertação de Mestrado apresentada à Universidade Federal da Paraíba
para obtenção do grau de Mestre*

João Pessoa – Paraíba

Agosto de 2019



Universidade Federal da Paraíba

Centro de Tecnologia

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL E
AMBIENTAL
– MESTRADO –**

**TRATAMENTO SUPERFICIAL PARA BLOCOS DE TERRA
COMPRIMIDA (BTC): AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DA
MUCILAGEM DE XIQUE-XIQUE (*Pilosocereus gounellei*)**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Federal da Paraíba, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre.

Ana Beatriz Egypto Queiroga da Nóbrega

Orientador: Prof. Dr. Aluísio Braz de Melo

João Pessoa – Paraíba

Agosto de 2019

Catálogo na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

N754t Nóbrega, Ana Beatriz Egypto Queiroga da.
Tratamento superficial para blocos de terra comprimida
(BTC) : avaliação do potencial da mucilagem de
xique-xique (*Pilosocereus Gounellei*) / Ana Beatriz
Egypto Queiroga da Nóbrega. - João Pessoa, 2019.
82 f. : il.

Orientação: Aluísio Braz de Melo.
Dissertação (Mestrado) - UFPB/CT.

1. biopolímero. 2. cactos. 3. construção sustentável.
4. bloco. I. Melo, Aluísio Braz de. II. Título.

UFPB/BC

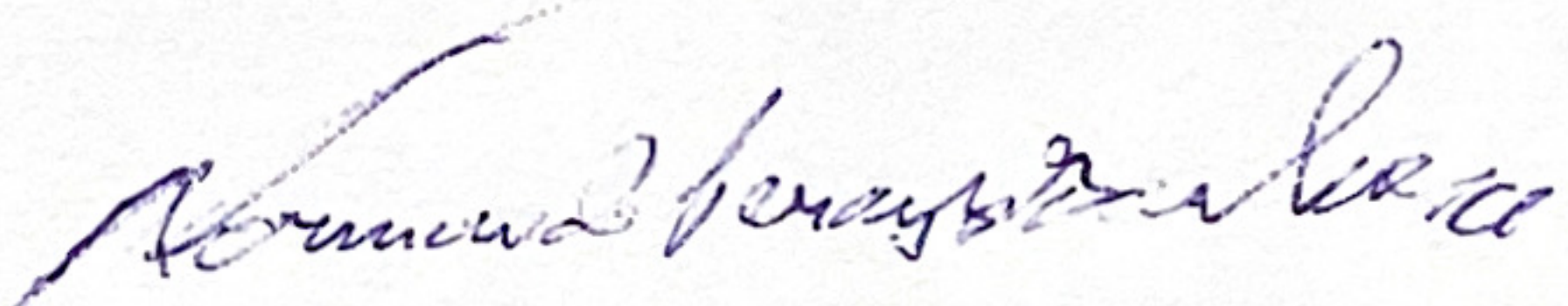
***“TRATAMENTO SUPERFICIAL PARA BLOCOS DE TERRA
COMPRIMIDA (BTC): AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DA MUCILAGEM DE
XIQUE-XIQUE (*Pilosocereus gounellei*)”***

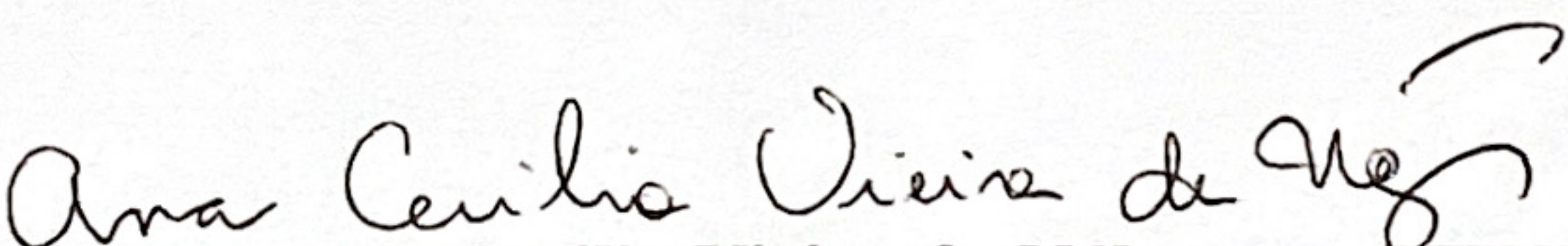
ANA BEATRIZ EGYPTO QUEIROGA DA NÓBREGA

Dissertação aprovada em 08 de agosto de 2019

Período Letivo: 2019.1


Prof. Dr. Aluísio Braz de Melo – UFPB
Orientador


Prof. Dr. Normando Perazzo Barbosa – UFPB
Examinador Interno


Prof. Dra. Ana Cecilia Vieira da Nóbrega – UFPE
Examinador Externo

João Pessoa/PB
2019

*“Transportai um punhado de
terra todos os dias e fareis uma
montanha”*

Confúcio

AGRADECIMENTOS

A Deus, meu protetor, agradeço a minha vida, minha saúde, minha coragem e força, pois, nada se realizaria sem suas bênçãos na minha vida, sem a proteção de Nossa Senhora. Agradeço aos anjos e energias boas enviadas.

Aos meus amados pais, Carlos e Rita, meus exemplos de determinação e amor pela vida, pela família e profissão. Obrigada por me ensinarem a valorizar as universidades, a educação, o ensino e a pesquisa, e todas as formas de conhecimento, sempre com ética, respeito, e desejo de proporcionar benefícios para a sociedade e para os mais necessitados.

Aos meus queridos avós José e Isaura (*in memoriam*), Edivaldo, Socorro, e a minha bisavó Luiza (*in memoriam*), agradeço todos os ensinamentos, sabedoria e demonstrações de força de vontade para realização de sonhos.

À minha irmã Isadora e a minha Ia linda Maria, agradeço o carinho e cuidado.

A Matheus, por seu amor, companheirismo e apoio em todos os momentos, fundamentais para a concretização desta etapa.

Ao meu professor orientador Aluísio Braz de Melo, minha eterna gratidão por ter sido essencial para a realização desse trabalho. Agradeço todo o incentivo e conhecimento transmitido.

Aos professores Normando Perazzo e José Gonçalves, minha gratidão pelo apoio e disponibilidade em me ajudar.

Aos colegas de pesquisa do grupo TECMAT e funcionários do LABEME, em particular Sebastião e Delby, pelo auxílio e cooperação para realização dos ensaios.

Ao Laboratório de Química de Alimentos (LAQUA), coordenado pela Profa. Marciane Magnani, em especial o Técnico Gilvandro, pelas análises de viscosidade.

Ao Laboratório de Bromatologia, na pessoa da Profa. Maria Elieidy Gomes de Oliveira, pelo seu carinho, apoio e ensinamentos, na obtenção e caracterização da mucilagem.

À Equipe das “Xiquetosas”, mestrandas Thaís e doutorandas Paloma, Fabrícia e Tamires, pela disponibilidade da matéria-prima (cascas de xique-xique) e por toda a atenção.

Aos meus familiares e amigos, por todo carinho, compreensão e entusiasmo com minhas conquistas.

A todos que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho, aqui fica o meu muito obrigada!

RESUMO

A arquitetura sustentável ou bioarquitetura, com ênfase nas construções em terra crua, apresentam uma vantagem ambiental que as tornam extremamente competitivas, devido as suas propriedades térmicas e higrotérmicas que contribuem para a regulação do conforto térmico dos ambientes, e, para a exploração de mecanismos com funcionamento bioclimático, propiciando ainda, ambientes mais salubres. Porém, um dos principais problemas destas construções está relacionado ao desempenho frente à ação da água das chuvas, ocasionado o surgimento de patologias. Diante de tais considerações, o presente trabalho propõe a utilização da mucilagem de cacto xique-xique (*Pilosocereus gounellei*), como tratamento superficial para blocos de terra comprimida (BTC), a fim de verificar o seu potencial como película protetora. Foram realizados ensaios com diferentes concentrações de mucilagem e em diferentes escalas amostrais, tais como: corpos de prova cúbicos, pequenas paredes e protótipos em escala real, comparando o material proposto (TX) com uma resina acrílica impermeabilizante comercial (TR) e amostras controle sem tratamento (TC). Com base nos resultados, observou-se que o tratamento TX obteve um desempenho satisfatório nos testes de absorção de água por capilaridade, sendo bem similar ao tratamento TR, tendo em vista que aos 60 minutos de ensaio as amostras TR, TX e TC tiveram um acréscimo de massa de 0,3 g/cm², 0,5 g/cm² e 1,4 g/cm² respectivamente. A permeabilidade ao vapor d'água em TX foi 8% maior comparada a TR e 6% menor que TC, demonstrando um comportamento superior das amostras com mucilagem se comparadas com as amostras com tratadas com resina. Com relação à durabilidade após ensaios de calor e choque térmico, as amostras TX, também tiveram desempenho satisfatório. Deste mod, pode-se concluir que, a mucilagem de xique-xique apresenta potencial para utilização como tratamento superficial impermeabilizante em blocos BTC e possivelmente em outros tipos de construção em terra crua. O presente trabalho proporcionou o depósito de uma patente de invenção, sob o título: Processo e produto impermeabilizante à base de mucilagem de cacto (BR 10 2019 008108 2).

PALAVRAS-CHAVE: biopolímero; cactos; construção sustentável; blocos.

ABSTRACT

Sustainable architecture or bio-architecture, with emphasis on buildings on raw earth, present an environmental advantage that makes them extremely competitive due to their thermal and hygrothermal properties that contribute to the regulation of the thermal comfort of environments, and to the exploitation of mechanisms with bioclimatic functioning, providing even more salubrious environments. However, one of the main problems of these constructions is related to the performance against the action of the rain water, caused by the appearance of pathologies. Faced with such considerations, the present work proposes the use of the mucilage of xique-xique cactus (*Pilosocereus gounellei*), as a surface treatment for compressed earth blocks (CEB), in order to verify its potential as a protective film. Tests with different mucilage concentrations and at different sample scales, such as cubic specimens, small walls and full-scale prototypes, were performed comparing the proposed material (TX) with a commercial acrylic waterproofing resin (TR) and untreated control samples (TC). Based on the results, it was observed that the TX treatment obtained a satisfactory performance in the tests of water absorption by capillarity, being very similar to the TR treatment, having in view that at 60 minutes of test the samples TR, TX and TC had an addition of mass of 0.3 g/cm², 0.5 g/cm² and 1.4 g/cm², respectively. The water vapor permeability at TX was 8% higher compared to TR and 6% lower than TC, demonstrating a superior behavior of the samples with mucilage when compared to the samples with resin treatment. Regarding durability after heat and thermal shock tests, the TX samples also had satisfactory performance. Therefore, it can be concluded that the mucilage of xique-xique has potential for use as a surface waterproofing treatment in CEB blocks and possibly in other types of raw earth construction. This work has provided for the filing of an invention patent under the title: Process and waterproofing product based on cactus mucilage (BR 10 2019 008108 2).

KEY WORDS: biopolymer; cactus; sustainable construction; blocks.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	13
1.1	Objetivos.....	16
1.1.1	Objetivo Geral.....	16
1.1.2	Objetivos Específicos.....	16
2	REFERENCIAL TEÓRICO.....	17
2.1	Construções sustentáveis.....	17
2.2	Construções em terra crua.....	18
2.2.1	Técnicas de construções em terra.....	20
2.2.2	Higroscopicidade.....	22
2.2.3	Durabilidade.....	25
2.3	Biopolímeros.....	27
2.3.1	Utilização de biopolímeros nas construções em terra.....	28
2.3.2	Mucilagens de cactos.....	30
2.3.3	Xique-xique (<i>Pilosocereus gounellei</i>)	32
2.3.4	Utilização de mucilagens de cactos nas construções.....	34
3	MATERIAL E MÉTODOS.....	36
3.1	Processo de caracterização da mucilagem de xique-xique como pintura superficial para BTC.....	36
3.1.1	Extração da mucilagem do cacto xique-xique.....	36
3.1.2	Caracterização físico-química e reológica da mucilagem de xique-xique.....	38
3.2	Verificação do comportamento higrotérmico do BTC com pinturas superficiais.....	39
3.2.1	Medições da permeabilidade ao vapor d'água dos corpos de prova com diferentes pinturas superficiais.....	39
3.2.2	Medições da absorção de água por capilaridade pelos corpos de prova com diferentes pinturas superficiais.....	42
3.2.3	Medições de temperatura e umidade relativa do ar nos protótipos construídos com BTC.....	43
3.3	Ação do calor e choque térmico sobre pinturas superficiais em paredes de	

BTC.....	46
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	53
4.1 Características da mucilagem de xique-xique utilizada como pintura para BTC.....	53
4.2 Análises do comportamento higrotérmico do BTC com pinturas superficiais.....	54
4.2.1 <i>Variação da permeabilidade ao vapor d'água dos corpos de prova com diferentes pinturas superficiais.....</i>	54
4.2.2 <i>Variação da absorção de água por capilaridade pelos corpos de prova com pinturas superficiais.....</i>	56
4.2.3 <i>Variações de temperatura e umidade relativa do ar nos protótipos construídos com BTC.....</i>	57
4.3 Envelhecimento acelerado das pinturas superficiais aplicadas em paredes de BTC.....	64
5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	69
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	71
APÊNDICES.....	77
APÊNDICE A.....	78
APÊNDICE B.....	79
APÊNDICE C.....	80
ANEXOS.....	81
ANEXO A.....	82

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Mapa da distribuição das construções em terra no mundo.....	19
Figura 2	Diagrama estabelecido pelo CRAterre das diferentes tipologias/sistemas de construção com terra.....	21
Figura 3	Condições de operação para realização do ensaio de permeabilidade ao vapor d'água pelo método do copo.....	24
Figura 4	Parâmetros chave de desempenho para construções de terra.....	26
Figura 5	Construção em BTC com surgimento de desgaste na vedação exposta as intempéries. A) Termograma; B) Imagem.....	27
Figura 6	Distribuição geográfica da família Cactaceae no mundo.....	32
Figura 7	Cacto xique-xique.....	33
Figura 8	Fluxograma do desenho experimental.....	36
Figura 9	Cacto (cladódio) xique-xique. A) Cladódio com espinhos; B) Cladódio sem espinhos e sua divisão anatômica; C) Cascas.....	37
Figura 10	Extração da mucilagem de xique-xique. A) Cladódio sem espinhos; B) Macerado imerso em água; C) Separação com peneira para obtenção da mucilagem.....	38
Figura 11	BTC. A) Bloco BTC; B) Amostras cúbicas extraídas dos blocos BTC.....	41
Figura 12	Protótipos de BTC. A) Vista do posicionamento dos protótipos; B) Localização interna do Datalogger; C) Proteção externa para Datalogger, localizado no beiral.....	43
Figura 13	Corte esquemático dos protótipos e localização dos Dataloggers.....	44
Figura 14	Distância linear entre a estação meteorológica e os protótipos localizados na UFPB.....	45
Figura 15	Paredes confeccionada com blocos BTC.....	46
Figura 16	Aplicação da pintura xique-xique na parede x1. A) Homogeneização da mistura; B) Aplicação da primeira demão na horizontal.....	47
Figura 17	Parede TR. A) Aplicação da resina acrílica impermeabilizante na parede; B) Detalhe da superfície após aplicação.....	47
Figura 18	Câmara de choque térmico A) Resfriamento da parede através da aspersão com água; B) Desenho esquemático da câmara.....	48
Figura 19	Desenho esquemático da câmara com dimensões e posicionamento dos elementos.....	50
Figura 20	Sistema de automação da câmara de choque térmico.....	50
Figura 21	Sensores de temperatura A) Instalação na superfície da parede; B)	51

	Desenho esquemático do posicionamento dos sensores.....	
Figura 22	Comportamento higrotérmico das amostras com diferentes tratamentos superficiais, em função do percentual de variação de massa.....	53
Figura 23	Curvas de absorção capilar das amostras com diferentes tratamentos superficiais.....	54
Figura 24	Desenho esquemático dos resultados da ascensão capilar da água nos diferentes corpos de prova após 60 minutos de ensaio.....	57
Figura 25	Comparações entre registros em ambientes internos e externo aos protótipos. A) Variação de temperatura do ar (T) nas datas/meses de realização dos registros; B) Variação de umidade relativa do ar (URar) nas datas/meses de realização dos registros.....	59
Figura 26	Exemplo de simulação incidência da insolação nos protótipos com auxílio do software Skecthup.....	60
Figura 27	Avaliação do efeito da impermeabilização dos pisos nos térreos dos dois protótipos, realizada em agosto de 2018. A) Protótipo 1; B) Protótipo 2.....	62
Figura 28	Variação da URar após a pintura da impermeabilização dos pisos e a aplicação dos tratamentos superficiais diferentes nas fachadas em cada protótipo. A) Protótipo 1 com pintura de resina comercial na superfície externa no térreo; B) Protótipo 2 com pintura de xique-xique na superfície externa no térreo.....	63
Figura 29	Temperaturas superficiais das pequenas paredes de BTC nos 10 ciclos de calor e choque térmico.....	64
Figura 30	Pequena parede TC – Tratamento Controle. A) Antes do ensaio; B) Após o ensaio; Imagens com detalhes ampliados no lado direito.....	65
Figura 31	Pequena parede TR – Tratamento com pintura com resina comercial acrílica. A) Antes do ensaio com detalhe ampliado ao lado; B) Após o ensaio com detalhe ampliado ao lado.....	66
Figura 32	Pequena parede TX – Tratamento com pintura de mucilagem de xique-xique. A) Antes do ensaio com detalhe ampliado ao lado; B) Após o ensaio com detalhe ampliado ao lado.....	67
Figura 33	Pequenas Paredes TX, TC e TR A) Imagem; B) Termograma.....	68

LISTA DE QUADROS E TABELAS

Quadro 1	Biopolímeros utilizados em construções antigas.....	29
Quadro 2	Exemplos de utilização de biopolímeros em construções em terra.....	31
Quadro 3	Características dos blocos BTC.....	40
Quadro 4	Dados técnicos da câmara de termografia utilizada.....	52
Tabela 1	Valores médios das variáveis físico-químicas e reológica para as diferentes dosagens (concentrações) da mucilagem do xique-xique.....	53

1 INTRODUÇÃO

A crescente e desordenada urbanização das cidades ocasiona uma série de problemas, dentre os quais se destaca, a nível mundial, o déficit habitacional, além da baixa qualidade das habitações. Numa relação paradoxal, há um crescimento cada vez maior da utilização de materiais e técnicas construtivas industrializadas e não sustentáveis muitas destas, inacessíveis do ponto de vista financeiro para a maioria da população. Neste panorama, a explosão populacional e migração de pessoas para as áreas urbanas criou uma lacuna enorme entre a demanda e a oferta de moradias acessíveis, isso ocorre principalmente pelo alto custo dos materiais de construções, tais como: tijolos convencionais, cimento, aço, etc. (MURMU; PATEL, 2018). Destaca-se a dicotomia que a indústria da construção enfrenta no momento atual para se adequar as normas de sustentabilidade e continuar avançando (PORTER *et al.*, 2018).

Além disso, estas práticas provocam um grande impacto ambiental, em um planeta que está em crise, pois, ocorre uma exploração indiscriminada dos recursos naturais, emissão de gases causadores do efeito estufa, geração de resíduos, alta demanda de energia nos processos. Sabe-se que indústria da construção civil é uma das maiores consumidoras de recursos naturais, bem como, responsável por transformar o ambiente natural em ambiente construído. Neste contexto, destaca-se como alternativa a arquitetura sustentável ou bioarquitetura, que segundo Niroumand, Zain e Jamil (2013) constitui-se aquela que se baseia nos requisitos locais, com utilização de materiais de construção e técnicas adequadas e acessíveis a cada contexto.

No que diz respeito ao desenvolvimento sustentável, Pacheco-Torgal e Jalali (2012) citam que, cada vez mais esforços de pesquisa estão sendo dedicados a transformar o setor de construção atual, buscando soluções construtivas que causem o mínimo de impacto ambiental, garantam um desempenho satisfatório, e qualidade do ambiente construído. A redução no consumo de energia, a fim de propiciar a manutenção da temperatura dos edifícios num nível de conforto adequado para os usuários, também, constitui-se em uma das estratégias para um desenvolvimento sustentável, obtido através da arquitetura bioclimática, que tem como uma das diretrizes, a utilização de materiais com elevado desempenho térmico na envoltória da edificação, objetivando evitar a climatização artificial. Além disso, a qualidade do ar interno muitas vezes é prejudicada pela toxicidade dos materiais, afetando os usuários. Dentre os inúmeros materiais e técnicas que resultam

em construções mais sustentáveis, destacam-se as construções em terra, que assumem neste panorama particular, uma vantagem ambiental que as tornam extremamente competitivas, em comparação com materiais e técnicas de construção convencionais.

Construções em terra são utilizadas em todo o mundo há milênios, causando impactos insignificantes ambientais se comparados aos causados atualmente pela produção de tijolos cerâmicos, concreto e aço, por exemplo. No entanto, devido às tecnologias utilizadas no passado terem se perdido ao longo do tempo, as construções em terra são alvos de preconceitos, muitos destes relacionados à sua durabilidade. Neste contexto, conforme afirmam Morel e Charef (2019), alguns arquitetos da atualidade, conscientes da qualidade e abundância desta matéria prima existente, e usando as ideias de construtores do passado que se beneficiaram durante mil anos de conhecimento empírico, propõem integrar este material vernáculo ao atual sistema de construção. Para isso, os mais recentes estudos científicos e tecnológicos objetivam a produção de produtos em terra crua de baixo custo, com reduzida energia de produção e economia circular (diretrizes que eram óbvias na construção vernácula), exigem agora que a inovação seja implementada no atual ambiente construído.

Entre as diversas técnicas de construção em terra, o bloco de terra comprimida (BTC), uma das mais recentes, possui vantagens relacionadas à possibilidade do próprio usuário confeccionar os elementos construtivos através de uma prensa manual. Além desta vantagem, as construções em terra possuem propriedades térmicas e higrotérmicas que contribuem para a regulação do conforto térmico dos ambientes, e, para a exploração de mecanismos com funcionamento bioclimático, propiciando ainda, ambientes mais salubres. Porém, um dos principais problemas destas construções está relacionado ao desempenho frente à ação da água das chuvas, ocasionado o surgimento de patologias. Caso não sejam utilizadas proteções ou tratamentos, pode ocorrer o desgaste na camada superficial, redução da resistência mecânica e até desagregação do material, demonstrando a sua vulnerabilidade. No entanto, existem diversas alternativas para este problema, como soluções arquitetônicas que minimizem o contato com a água das chuvas, adição de materiais, como por exemplo, biopolímeros, que melhorem a estabilização e coesão do solo, ou tratamentos superficiais (pinturas) que oferecem uma proteção e aumento da durabilidade. Contudo, ressalta-se que estes tratamentos superficiais não devem resultar em uma impermeabilização excessiva que anulem o potencial do material de proporcionar uma regulação térmica do ambiente, ou seja, a sua capacidade de “respirar”.

Levando em consideração que a situação ambiental da atualidade é diferente do que se tinha no passado em termos de qualidade do ar, poluição, chuvas ácidas, por exemplo, algumas técnicas ancestrais que utilizam biopolímeros estão sendo resgatadas e estudadas a fim de serem aprimoradas para suportar a ação das intempéries, tais como tratamentos superficiais ou sua incorporação na própria composição de blocos. É o caso das mucilagens provenientes de cactáceas, que contém em sua composição polímeros, os quais formam capas protetoras sobre as superfícies sólidas (CHIAPPERO; SUPISCHE, 2006). Conforme Sáenz *et al.* (2013), plantas da família das cactáceas possuem cladódios mucilaginosos. Cladódio é o termo designado para um tipo de modificação caulinar que consiste na presença de ramos nas vegetações. Neste aspecto, esta produção de mucilagem nos cladódios é uma das principais características das cactáceas, a qual é composta por polissacarídeos complexos que incham na presença de água obtendo uma consistência viscosa que possui propriedades adesivas (SÁENZ; SEPÚLVEDA; MATSUHIRO, 2004; COLONETTI, 2012).

Segundo Inglese *et al.* (2017), em estudo publicado pela FAO (Food and Agriculture Organization), os cactos podem ser considerados como o alimento do futuro. Apesar da espécie *Opuntia-ficus* ser a espécie mais utilizada para diversos fins, outras espécies vêm sendo estudadas. Contudo, no processo de beneficiamento dos cactos para fins alimentícios, são gerados resíduos que podem ser utilizados nas construções em terra, alcançando assim uma cadeia produtiva sustentável.

Diante de tais considerações, o presente trabalho propõe-se a utilização de mucilagem obtida da espécie *Pilosocereus gounellei*, aplicada em blocos de terra comprimida (BTC), a fim de verificar o seu potencial como película protetora. Objetivando responder aos requisitos aparentemente contraditórios como propiciar a impermeabilidade à água e permeabilidade ao vapor d'água, assegurando a durabilidade sem extinguir as propriedades térmicas e higrotérmicas do material.

Popularmente conhecida como xique-xique, esta espécie de cactácea, ou melhor, o resíduo gerado de um processo de seu beneficiamento para fins alimentícios, foi escolhida, sobretudo por se tratar de uma espécie de cactos encontrada no Nordeste do Brasil, em áreas do bioma Caatinga (MONTEIRO *et al.*, 2015), único bioma exclusivamente brasileiro. No entanto, não consta na literatura nenhum estudo que utiliza esta espécie para tal fim, ressaltando-se assim a relevância, inovação e originalidade do presente trabalho.

1.1 Objetivos

1.1.2 Objetivo Geral

Avaliar a eficiência do tratamento superficial proveniente da mucilagem do xique-xique (*Pilosocereus gounellei*) aplicado em BTC, sem comprometimento da permeabilidade ao vapor d'água, de modo a manter a capacidade de respiração do substrato (terra crua) e, ainda, assegurar a durabilidade da pintura.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Definir a melhor condição (tempo/proporção) para extração da mucilagem de xique-xique, de acordo com as características físico-químicas, para testar seu potencial como pintura (tratamento superficial) em paredes de BTC;
- Verificar o grau de interação higrotérmica entre o sistema de paredes em BTC com o tratamento superficial proposto e as variações de temperatura e umidade relativa do ar no meio ambiente definido pelo sistema;
- Avaliar a durabilidade do tratamento superficial proposto.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Construções sustentáveis

A arquitetura e a engenharia exercem um papel importante para o alcance de um desenvolvimento mais sustentável. Num contexto global de urbanização crescente e transformações no espaço urbano, em muitos casos são ocasionados problemas no ambiente urbano e baixa qualidade das edificações. Segundo Scussel e Sattler (2010), esses processos de urbanização desordenada, alteram substancialmente a configuração e promovem rupturas não só no tecido urbano, mas também nas práticas de apropriação e uso desses espaços, comprometendo sua sustentabilidade.

Até pouco tempo o modelo de desenvolvimento ideal era aquele em que se devia alcançar o limite da produção em massa, com alta utilização de energia, consequente emissão de poluentes e exploração dos recursos naturais sem nenhuma preocupação com o meio ambiente e com as gerações futuras. Porém, o desenvolvimento sustentável, é o contraponto a este modelo no qual o desenvolvimento é visto unilateralmente, e há uma perseguição pura e simples do avanço material da sociedade. Além disso, em sociedades com grandes desigualdades sociais, grande parte da população não possui condições e acesso a técnicas e materiais construtivos industrializados, impostos como o modelo ideal. Resultando em habitações com baixa qualidade, e com materiais inadequados ao clima do local.

De acordo com Guerrero (2016), a arquitetura e engenharia tem relação direta com o ambiente, sobretudo na transformação do natural e construído. O autor destaca que a construção civil possui grande dependência dos recursos naturais e devido à condição finita desses, é de extrema importância à criação ou resgate de estratégias que diminuam essa relação de sujeição. De acordo Sattler e Pereira (2006), tão preocupantes quanto os impactos associados ao consumo de matéria e energia são aqueles resultantes dos resíduos gerados, assim como a qualidade do ambiente que se proporciona às gerações atuais e futuras. Tais aspectos ambientais sintetizam as relações entre construção e meio ambiente, e os desafios para todos os envolvidos no setor de arquitetura e engenharia, devem ser traduzidos em estratégias com o intuito de reduzir e otimizar o consumo de materiais e energia; reduzir os resíduos gerados; e preservar e melhorar a qualidade do ambiente natural e construído.

Além de utilizar materiais locais entende-se que, processos e técnicas não poluentes e de baixo impacto ambiental, representam estratégias que possibilitam a autoconstrução trazendo benefícios, sobretudo, a populações de baixa renda. No entanto, é necessário dominar as técnicas e escolher materiais e soluções adequadas ao clima. Corbelha (2009) afirma que arquitetura sustentável é a continuidade mais natural da bioclimática, a qual considera a integração da edificação ao meio ambiente, objetivando a qualidade de vida do ser humano inserido no ambiente construído, em harmonia com o ambiente natural e clima local, reduzindo o consumo de energia compatível com o conforto, repercutindo positivamente no futuro do planeta.

Conforme destaca Eires (2012), as palavras sustentabilidade e ecologia têm sido utilizadas de modo generalizado e abusivo, aplicando estes termos a todo o material que reduza um mínimo de impacto ambiental. A autora cita como exemplo, uma tinta poder ser considerada ecológica apenas por não emitir componentes tóxicos acima dos limites estabelecidos. Porém não quer dizer que o produto em si seja sustentável. A mesma sugere que para classificar um produto como ecológico, alguns requisitos têm que ser considerados, tais como: se o material é de origem natural ou não; se é suficientemente permeável ao vapor d'água para manter um ambiente saudável; a energia consumida para sua fabricação; os custos de transporte; a radioatividade emitida; o impacto na saúde dos trabalhadores durante a fabricação ou na aplicação do produto, a emissão de compostos orgânicos voláteis, etc.

De acordo com Laborel-Préneron *et al.* (2016), os impactos dos edifícios no meio ambiente e na saúde dos seus ocupantes tornaram-se questões prioritárias. A qualidade do ar no interior das edificações é considerada como um importante fator de risco para a saúde humana e pode ser alcançada com a melhoria do desempenho higrotérmico e utilização de materiais de construção seguros e com baixo impacto ambiental.

2.2 Construções em terra crua

Dentre os vários materiais e técnicas mais sustentáveis, ou também, chamados não convencionais, podemos citar a terra, o bambu, os materiais que incorporam resíduos, entre outros. A respeito das construções em terra, Morel *et al.* (2013) citam que, apesar de ser um dos materiais de construção mais antigos do mundo, também, é um dos menos estudados pela comunidade científica e, portanto, um dos menos entendidos. Contudo,

cada vez mais pesquisadores estão se dedicando a estudar as propriedades desse material, resgatando técnicas milenares, desenvolvendo prensas manuais que modernizam o processo de construção, estudando a composição das misturas, e buscando soluções para proporcionar durabilidade e desempenho satisfatório.

Segundo Fabbri *et al.* (2019), a terra é um material de construção disponível e globalmente já utilizado há milhares de anos, e que pode ajudar a lidar com as necessidades de construção da população mundial, economicamente e ecologicamente. Os autores exemplificam tal afirmação, destacando a existência de inúmeras casas de terra construídas na Europa há mais de 80 anos, funcionando como um enorme catálogo de evidências de tais técnicas de construções para inspirar os profissionais de arquitetura a projetarem de acordo com os desafios do século XXI. Na Figura 1 é apresentado um mapa com a distribuição das construções em terra pelo mundo.

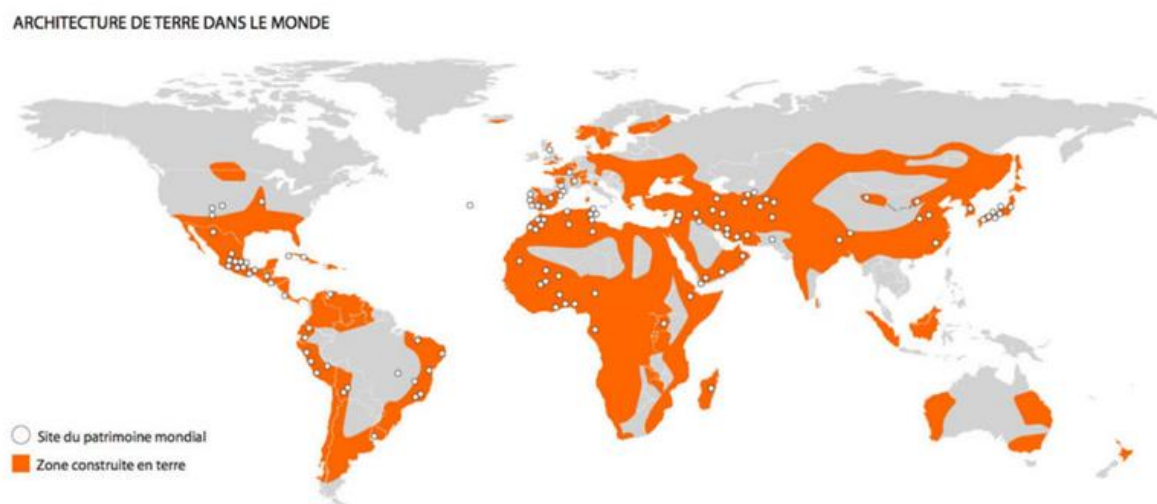


Figura 1– Mapa da distribuição das construções em terra no mundo (Fonte: CRAterre).

São igualmente importantes os benefícios deste material em termos de sustentabilidade, nomeadamente em termos de consumo energético, emissões CO₂ e produção de resíduos. Bem como para a saúde através do comportamento higrotérmico da construção em terra, o bom comportamento acústico, ausência de liberação de compostos orgânicos voláteis, proteção frente a campos eletromagnéticos artificiais e permeância aos naturais e pela menor radioatividade deste material comparado a alguns materiais de construção (EIRES, 2012). Por esses fatores, quem tem a oportunidade de visitar ou viver em edificações construídos em terra crua, sejam totalmente em terra ou parcialmente, relatam uma sensação de conforto nestes espaços.

Maia (2016) afirma que o conforto ambiental possibilitado pela habitação de terra, por meio de um projeto correto e condizente com o material, pode suprir as necessidades térmicas e promover bem-estar e prazer aos seus ocupantes. As características de acondicionamento passivas deixam de utilizar (ou diminuem o uso) da mecanização para tal função e, conseqüentemente, resultam em menor consumo de energia. O autor levanta um questionamento sobre se é possível um caminho que, ao lado da inovação tecnológica, a arquitetura contemporânea renove a estética, a expressão e a imaginação da arquitetura vernacular, e que elimine os preconceitos de ultrapassada e de miséria das construções de terra? E aborda como sugestão para estudos futuros, pesquisar e desenvolver inovações tecnológicas relacionadas à construção com terra. Diversos exemplos de pesquisas e construções com terra em países da Europa e América Latina já demonstram que este caminho é possível.

2.2.1 Técnicas de construções em terra

Atualmente, sabe-se que existem mais de vinte técnicas de construção com terra, além de suas variantes locais (BARBOSA; GHAVAMI, 2007). As mais utilizadas no Brasil são as construções em taipa, adobe e BTC. Na Figura 2, está ilustrado o diagrama estabelecido pelo CRATerre das diferentes tipologias e dos sistemas de construção antigos e modernos, que utilizam a terra como matéria-prima.

Segundo Azeredo *et al.* (2016), uma das técnicas mais recentes, denominada bloco de terra comprimida (BTC), veio unir o tradicional ao moderno. Por se tratar de blocos moldados em prensas mecânicas ou hidráulicas, essa inovação tecnológica consegue produzir blocos densos, com maior resistência à água do que os adobes.

Na fabricação dos blocos BTC, como se diminui o volume de vazios do solo através da prensagem do solo, estes ficam mais resistentes e duráveis do que o adobe. Nesta técnica, a consistência da terra utilizada é semelhante à da taipa e, em comparação com o material para a produção de adobe, tem um teor de água bastante inferior. Outra vantagem do BTC é que se pode fabricá-los com o solo do próprio terreno que, dependendo do tipo de solo, poderá ser necessário a estabilização.

No estudo realizado por Melo *et al.* (2011) observou-se algumas facilidades no processo de construção de um protótipo com blocos BTC, como por exemplo: a composição da família de blocos (bloco inteiro e meio bloco), para realizar seu travamento

durante o assentamento na execução das alvenarias, foi facilmente obtida a partir de cortes feitos no bloco inteiro, com pouco desperdício de material além de tornar o processo mais rápido.

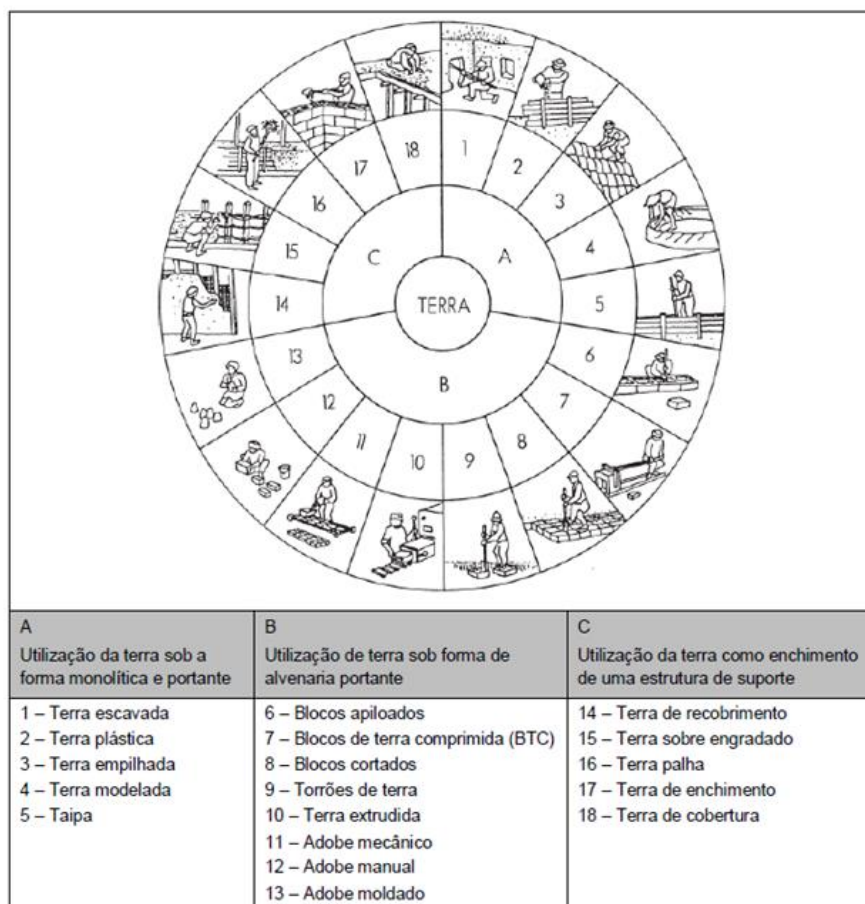


Figura 2 – Diagrama estabelecido pelo CRATerre das diferentes tipologias/sistemas de construção com terra (Fonte: CRATerre).

Outra vantagem é a interação entre os blocos BTC e elementos de concreto tais como cintas ou vigas, demonstrando assim a compatibilidade entre o material não convencional com materiais/processos convencionais (usuais na execução de alvenarias nas construções). Com relação à geração de resíduos nas construções em BTC é praticamente nula. Caso haja resíduos de blocos, os mesmos podem se reintegrar a natureza, diferente do que ocorre com resíduos de tijolos cerâmicos.

2.2.2 Higroscopicidade

No que diz respeito aos benefícios para a saúde humana, Minke (2000) destaca que as construções em terra proporcionam ambientes salubres. O autor considera que para ter um ambiente saudável a umidade relativa do ar deve estar entre 40% e 70%. O mesmo relata que em um experimento realizado em dois ambientes idênticos, construídos com paredes com terra crua e com tijolos cerâmicos convencionais, respectivamente, apresentou um comportamento higrotérmico, com relação à umidade relativa do ar, extremamente diferente. Ou seja, quando a umidade relativa do ar foi elevada subitamente de 50% para 80%, as paredes de tijolo cerâmico absorvem muito menos umidade se comparadas às paredes em terra crua, no mesmo período. Quando ocorre o contrário, isto é, quando a umidade relativa do ar diminui, as paredes com terra crua liberam a umidade absorvida para o ambiente.

Laborel-Préneron *et al.* (2016) realizaram uma revisão do estado da arte da pesquisa sobre a influência dos vários recursos naturais e renováveis incorporados à blocos de terra. Ao analisar cerca de 50 estudos, incluindo a caracterização das partículas e tratamentos, e composições do material, propriedades físicas, mecânicas, higrotérmicas e de durabilidade, os autores observaram a falta de referências sobre propriedades higroscópicas e de durabilidade, recomendando assim que futuras pesquisas sejam realizadas neste âmbito a fim de promover e desenvolver este tipo de material sustentável.

Muitas vezes chamada de higroscopicidade, respirabilidade ou propriedade higrotérmica, a permeabilidade ao vapor d'água corresponde à capacidade de um material de permitir que o mesmo seja absorvido pelo material quando a umidade relativa do ar no ambiente está alta e, devolvido quando a umidade está baixa.

Minke (2001) ressalta que as pinturas nas superfícies de terra expostas têm que ser renovadas periodicamente, pois podem ser desgastadas pelo vento, chuva, geada e raios ultravioletas, e além de permitirem a evaporação da umidade concentrada no seu interior, têm que ser impermeáveis à chuva. Kebao e Kagi (2012) citam que as pinturas com tintas à base de silicone produzem bons resultados em superfícies de terra. Contudo, estas soluções são tipicamente caras, o que pode dificultar o acesso a sua aplicação. Já as pinturas acrílicas e as soluções como o acetato de polivinilo (PVA) provocam uma excessiva impermeabilidade ao vapor d'água.

Cagnon *et al.* (2014) realizaram um estudo acerca das propriedades higrotérmicas dos blocos de terra comprimida (BTC), observando que o conforto e a qualidade do ar

interior estão se tornando parâmetros importantes para a escolha de materiais de construção, o que pode privilegiar o material terra que atende a todos os requisitos, essencialmente, por causa de seu baixo impacto ambiental e suas propriedades higroscópicas. Foram analisados cinco tipos de blocos de terra produzidos no sul da França, estudando-se as propriedades higrotérmicas, tais como, a permeabilidade ao vapor d'água, e a condutividade térmica. A caracterização dos cinco tipos de blocos de terra mostrou diferenças na natureza da argila, porém apesar destas diferenças, as características higrotérmicas foram muito semelhantes em todos os cinco tipos de blocos. Os autores enfatizam a dificuldade de comparar os resultados devido aos poucos estudos similares existentes na literatura. E concluem que as propriedades higrotérmicas dos cinco tipos de blocos de terra confirmaram sua capacidade térmica de regular a umidade do ar interior, corroborando com o resultado apresentado por Minke (2000).

Ainda, Vares *et al.* (2017) realizaram estudos iniciais com 21 corpos de prova, sendo 3 corpos de prova para cada tipo de recobrimento superficial em amostras de argila. Dentre os tratamentos superficiais testados pelos autores, destacam-se a tinta de caseína, tinta de cal e argamassa com celulose. Para estimar as propriedades higroscópicas dos materiais, utilizou-se o método de câmara climática em temperatura ambiente $23 \pm 0,5^{\circ}\text{C}$ e três níveis diferentes de umidade relativa (30%, 50% e 80%). Para descrever o comportamento da umidade (absorvida ou liberada) durante as primeiras horas, os corpos de prova foram pesados em 1, 2, 3, 6, 12, 24, 48, 72 horas, após alterar o seu nível de umidade. Como o fluxo de umidade flutua diariamente e diferentes regimes de umidificação podem ser usados, esse tipo de pesagem permite obter uma visão geral de diferentes combinações de umidade do ambiente e absorção/liberação da umidade pelo material.

Outra alternativa para análise do comportamento higrotérmico de materiais, pode ser alcançada através do método da solução salina saturada, que consiste em expor um material a vários níveis definidos de umidade relativa do ar, regulados por soluções salinas saturadas a uma temperatura constante. No estudo realizado por Laborel-Préneron; Magniont e Aubert (2018), as amostras de terra com diferentes incorporações de fibras originadas de palha de cevada e de espigas de milho, foram expostas a seis condições de umidade relativa do ar controladas por seis soluções diferentes. Primeiramente, as amostras foram secas em estufa a 50°C até atingir massa constante. Em seguida, foram então colocadas em uma caixa hermética para serem sucessivamente expostas as diferentes soluções salinas, correspondentes aos teores de umidade relativa do ar, sempre com

temperatura constante de 20°C. A umidade relativa do ar foi aumentada em etapas, de cerca de 8% a 95%, visando determinar a curva de sorção do vapor d'água pelo material. Em seguida, foi então diminuída de 94% para 8%, a fim de traçar a curva de dessorção. O teor de umidade do material foi calculado em equilíbrio, quando a variação da massa foi menor que 0,1% entre três pesagens consecutivas.

Conforme afirmam Touré *et al.* (2017), na África, o blocos BTC estão sendo cada vez mais utilizados nas construções. Porém, as propriedades mecânicas, térmicas e higroscópicas dos materiais de construção à base de terra disponíveis no mercado africano não são conhecidas com precisão. Os autores realizaram estudos com amostras de oito produtoras de blocos de terra do Senegal, visando analisar as propriedades higroscópicas destas amostras. No estudo foi utilizado o método do copo no interior de uma câmara climática, no qual, a umidade relativa do ar dentro do copo foi controlada a 76% através do uso de solução salina saturada de cloreto de sódio (NaCl); a umidade relativa do ar no interior da câmara climática foi mantida a 50%; e a temperatura do ar foi fixada em 20°C (Figura 3) nos dois ambientes separados pela amostra. Durante o teste, a massa do conjunto, o copo e a amostra, foi registrada duas vezes por dia até atingir taxa constante de mudança de massa, sendo a permeabilidade ao vapor d'água pela amostra determinada com base expressões matemáticas.

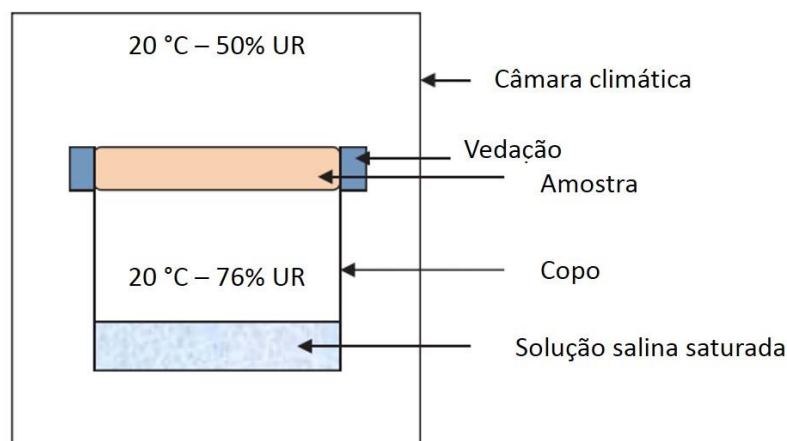


Figura 3– Condições de operação para realização do ensaio de permeabilidade ao vapor d'água pelo método do copo (Fonte: Adaptado de Touré *et al.*, 2017).

Com base nos estudos supracitados, pode-se perceber a utilização de diferentes métodos de ensaios para determinação da higroscopicidade (permeabilidade ao vapor d'água) dos materiais. Ressalta-se que, independentemente do método adotado, é

importante garantir que as condições de temperatura e umidade estejam em conformidade com o que está sendo proposto e descrito, por isso no caso da utilização de soluções salinas saturadas para controle de umidade e/ou utilização de câmaras climáticas, a utilização de sensores ou dataloggers pode ser bastante útil para garantir o controle dos parâmetros.

Outro aspecto que merece destaque é que, apesar de nos últimos anos alguns pesquisadores terem se dedicado a pesquisas relativas a propriedades higroscópicas e de durabilidade de materiais baseados em terra crua, os dados ainda são escassos, sendo assim necessárias mais pesquisas neste sentido, conforme afirmam Laborel-Préneron *et al.* (2016).

2.2.3 Durabilidade

A durabilidade das construções em terra crua pode ser comprovada pela quantidade de exemplares de edifícios construídos em terra que existem há milhares de anos em diversas partes do planeta. No entanto, devido as tecnologias utilizadas no passado terem se perdido ao longo dos anos, além da substituição das construções em terra pelo uso de materiais industrializados, as mesmas passaram em muitos casos a serem construídas sem os devidos cuidados, consequentemente comprometendo a durabilidade destas. Por esse motivo, as construções em terra se tornaram alvos de preconceito, sobretudo com relação a sua durabilidade frente a ação das chuvas.

Ademais, existem vários fatores que influenciam a durabilidade das construções em terra, sendo eles: fatores inerentes ao material, sistema construtivo e soluções arquitetônicas, além de fatores externos como ação dos ventos, ataque de fungos e, principalmente, os ciclos de molhagem/secagem, que segundo Heathcote (2002), a ação de ciclos repetidos de chuva seguida de períodos de secagem é mais prejudicial do que períodos de chuva constante, uma vez que o primeiro caso aumenta as tensões na superfície do material e leva a maior possibilidade de sua degradação.

Heathcote (1995), também afirma que o principal mecanismo que provoca a remoção de material da superfície das paredes de terra crua é a liberação da energia cinética associada a gotas de chuva que afetam a superfície. De acordo com Porter *et al.* (2018), para ganhar aceitação geral, as construções em terra crua devem obter um desempenho proporcional às expectativas do mundo moderno, sobretudo nos requisitos:

segurança, durabilidade, conforto térmico e higiene, resistência a erosão, capacidade de suportar cargas, impermeabilidade à água e isolamento térmico (Figura 4).

Destarte, conforme alegam Eires, Camões e Jalali (2014), se não forem tomadas medidas de proteção, a ação da água pode causar desgaste na camada superficial, diminuição da resistência mecânica e a desagregação do material. Por outro lado, a capacidade da terra crua ser um material permeável ao vapor d'água é um potencial que deverá ser preservado, a fim de manter a salubridade e conforto do ambiente.

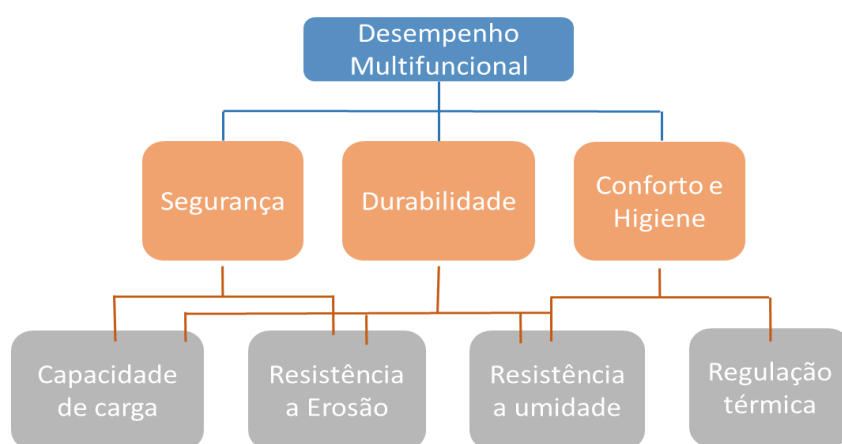


Figura 4 – Parâmetros chave de desempenho para construções de terra crua (Fonte: Adaptado de Porter *et al.*, 2018).

Existem várias formas para contornar este problema, seja recorrendo a meios físicos, através de soluções arquitetônicas que minimizem o contato com a água das chuvas, ou pela utilização de tratamentos superficiais, ou incorporação de materiais que melhorem a estabilização e coesão do solo evitando a sua desagregação. Ressalta-se que, mesmo nos blocos em BTC, estabilizados com cimento, podem ocorrer patologias relacionadas à ação das chuvas, sobretudo em vedações verticais externas, em situações de edificações com mais de um pavimento, ou em casos em que as vedações não são totalmente protegidas pela coberta, como demonstrado na Figura 5. O caso ilustrado (Figura 5) trata de uma edificação situada no Campus I da UFPB, que possui vedações em BTC. Pode-se observar que existe uma degradação do material, sobretudo nas regiões mais expostas e afetadas pelas chuvas, na parte inferior da parede externa, que foi executada com BTC e está rebocada.

Deste modo, enfatiza-se a necessidade de melhorar a durabilidade das construções em terra crua, no entanto, vale ressaltar, que se deve ter cautela ao escolher materiais, a fim de realizar tratamentos superficiais, ou incorporar na própria mistura do material para

confecção de blocos para alvenaria, por exemplo. De fato, deve-se evitar uma impermeabilização excessiva, comprometendo assim o potencial higrotérmico do sistema de vedação executado com terra crua, que certamente possibilita ao ambiente construído salubridade e desempenho térmico satisfatório.

Neste âmbito diversas pesquisas vêm sendo realizadas, com o intuito de melhorar o desempenho e durabilidade das construções em terra crua, sobretudo ao buscar um resgate de soluções ancestrais, que utilizam biopolímeros, analisando suas propriedades/benefícios.

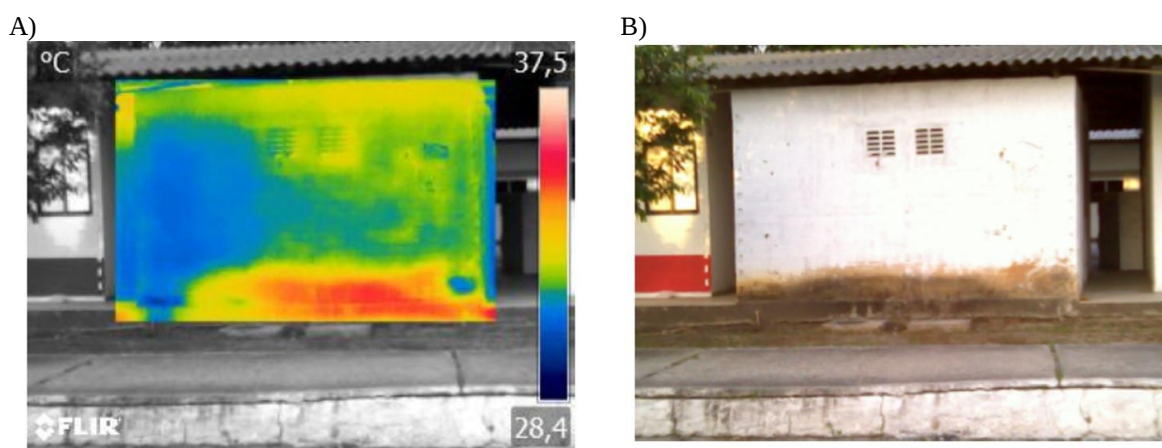


Figura 5 – Construção em BTC com surgimento de desgaste na vedação exposta às intempéries. A) Termograma; B) Imagem (Fonte: Autor, 2019).

2.3 Biopolímeros

Polímeros naturais ou biopolímeros são polímeros produzidos/extraídos de organismos vivos, incluindo proteínas, polissacarídeos e ácidos nucleicos. Segundo Chandra, Eklund e Villarreal (1998), biopolímeros têm sido usados desde a antiguidade para melhorar a durabilidade de argamassas e concretos à base de cal. O autor também cita como exemplo a utilização do látex da seringueira (*Euphoria lacter*) como tinta impermeabilizante em construções de adobe na África e na América do Sul. Em outras regiões, as tintas eram confeccionadas fervendo os caules e folhas da bananeira. No norte de Gana, as paredes eram rebocadas com argamassas de barro misturados com estrume e um extrato obtido de vagens da árvore de alfarroba.

Segundo Eires, Camões e Jalali (2014), os biopolímeros podem ser de origem natural ou artificial, biológica (vegetal ou animal) ou mineral, porém os autores destacam que consideraram em seu estudo como sendo biopolímeros, os polímeros de origem natural

e biológica e sem sintetização em laboratório. Os autores ressaltam ainda que existem diversos exemplos de biopolímeros, que vem sendo adicionados nas construções em terra, a fim de melhorar a impermeabilidade à água e, conseqüentemente, a durabilidade do material frente à ação das chuvas.

Dove, Bradley e Patwardhan (2016), destacam que os biopolímeros oferecem uma solução potencial para o desafio atual mundial de utilizar materiais mais sustentáveis e naturais, visto que os mesmos são componentes orgânicos que podem ser usados para modificar as propriedades de argilas, e potencialmente melhorar a ligação entre as partículas. Os autores afirmam que existe, portanto, um incentivo para melhorar as características e vantagens das construções em terra crua, a fim de impulsionar cada vez mais a utilização do material nas edificações.

2.3.1 Utilização de biopolímeros nas construções em terra crua

Como exemplo de biopolímeros que são utilizados desde longa data nas construções em terra crua, destacam-se as farinhas, amidos, óleos, ceras de gorduras animais, caseína, clara de ovo e mucilagem de cactos, como é o caso da técnica ancestral utilizada pelos povos pré-colombianos (como os Astecas), que consiste no uso da mucilagem do cacto *Nopalea coccinellifera*, para fabricação de tintas à base de cal para proteção frente a ação das chuvas. No Quadro 1, apresentam-se os diversos exemplos de técnicas (antigas) com a utilização de biopolímeros em construções em terra crua.

De acordo com Kanan (2008), tradicionalmente, a durabilidade das argamassas históricas tem sido atribuída a aditivos orgânicos como óleo, sangue, urina e mucilagem. Conforme afirma Sawitzki (2002), o homem, em sua trajetória, sempre se apropriou dos benefícios da utilização dos recursos que a natureza lhe ofereceu. Assim, aprendeu a aproveitar os recursos naturais para aprimorar as propriedades físico/químicas dos materiais utilizados nas construções. Dentre as utilizações de aditivos orgânicos, o autor apresenta que existem relatos orais sobre a incorporação da mucilagem do cacto *Cereus hilmanianus* (variedade do popular mandacaru) às argamassas na construção dos prédios históricos no município de Piratini, no estado do Rio Grande do Sul, basicamente nos séculos XIX e XX.

Atualmente, pesquisadores de diversas partes do mundo têm se dedicado a estudar as propriedades dos mais variados biopolímeros, e o efeito que geram ao serem

incorporados nas construções em terra, sejam adicionados na composição dos blocos de terra crua, na forma de tratamentos superficiais e também como aditivos para argamassas.

Quadro 1 – Biopolímeros utilizados em construções antigas
(Fonte: Adaptado de Eires, 2012).

Local/Autor	Biopolímero (s)	Técnica/ Materiais/ Propriedades obtidas
Brasil Sawitzki (2006)	Mandacaru - cacto <i>Cereus hilmanianus</i>	Incorporação da mucilagem de cactos <i>Cereus hilmanianus</i> como aditivos em argamassas de cal
América do Sul e África Beas (1991)	Látex - Resina natural <i>Hevea Euphorbiacex</i>	Pinturas – Efeito impermeabilizante
América do Sul, em especial Peru Beas (1991)	Palma – cacto <i>Opuntia Ficus Indica</i>	Estabilizante de solo e de argamassas para revestimento. Consolidante. Mais resistente à água quando combinado com a técnica de polimento de superfície
México e povos pré-colombianos CPNT - Consejo de Promocion de Nopal y Tuna (2009)	Palma – cacto <i>Nopalea coccinellifera</i> ou <i>Opuntia ficus-indica</i>	Utilizado na fabricação de tintas à base de cal. O nopal ou palma ainda hoje é utilizado para proteção face à chuva, para permitir a inclusão de outros materiais de decoração nas paredes em terra, como impermeabilizante e, também, como aglutinante para o concreto
México e sudoeste dos EUA Beas (1991)	Agave – <i>Leuchtenbergia principis</i> , <i>Lophanta</i> ou a variação mexicana <i>Caerulens</i> e <i>Lechuguilla</i>	Utilizado em argamassas – a mucilagem é fervida e o extrato é guardado por duas ou três semanas antes da mistura na argamassa de argila
Norte do Gana Beas (1991)	Estrume e vagens – alfarrobeira	Pintura – Efeito impermeabilizante e endurecedor de paredes e pavimentos em laterite
América do Sul e África Beas (1991)	Látex - Resina natural <i>Hevea Euphorbiacex</i>	Pinturas – Efeito impermeabilizante
Índia BASIN e Pratical Action (2002)	Estrume de vaca sem ou com adição de sem ou com adição de urina	“Gohber” – técnica de reboco, utilizado, sobretudo para preenchimento de fissuras. Composição: 1 parte de estrume de vaca e 5 partes de terra (em massa). Impermeabilizante - “a urina atua como endurecedor e melhora a impermeabilidade e a resistência ao impacto”
Malásia, Indonésia e Índia Beas (1991)	Dammar – resina natural Árvores da família <i>Diopterocarpaceae</i>	Argamassas – Efeito impermeabilizante
Egito e Sudão Fathy (2009)	Palha e estrume com fermentação	Adobes e rebocos - Propriedades hidrófugas e maior resistência

Nakamatsu (2017) avaliou a utilização do carragenano como um bioaditivo para melhorar as propriedades físicas e mecânicas das construções de adobe. O carragenano é um polímero natural, biodegradável, obtido a partir de extratos de algas marinhas vermelhas. Os resultados mostram que a sua incorporação na mistura durante a fabricação de blocos, ou como um tratamento superficial em construções de terra existentes, podem modificar positivamente o seu comportamento e proporcionar impermeabilidade à água e resistência à erosão por gotas de água. Os resultados obtidos mostram a viabilidade do uso de compostos naturais e ecológicos para melhorar o comportamento dos materiais de construção tradicionais. No Quadro 2, são apresentados outros exemplos de pesquisas, as quais se utilizam biopolímeros nas construções em terra crua. Destaca-se a notável utilização de cactáceas como fonte para extração dos biopolímeros (mucilagens de cactos), para melhorar as propriedades de materiais, e consequentemente das construções, sobretudo das construções em terra crua.

2.3.2 *Mucilagens de cactos*

A família Cactaceae possui aproximadamente 100 gêneros e 2000 espécies (KIESLING, 2001) e é composta por cactos, os quais são plantas adaptadas a climas áridos (HUGHES *et al.*, 1980). Podem ser facilmente encontrados em diversos países no planeta, sobretudo nas Américas e África, conforme ilustrado na Figura 6.

Esta família é dividida em três subfamílias: Opuntioideae – com espécies arbóreas ou arbustivas e folhas, é dividida em cinco gêneros; Pereskioideae – apresenta árvores sem folhas ou com vestígios de folhas, possuindo 91 gêneros; Cactoideae – esta subfamília possui hastes suculentas sem folhas, com aréolas bem desenvolvidas

Quadro 2 – Exemplos de utilização de biopolímeros em construções em terra (Fonte: Adaptado de Eires, 2012).

Autor	Biopolímero (s)	Técnica /Materiais/Propriedades obtidas
Martínez-Camacho <i>et al.</i> (2008)	Palma – cacto <i>Nopalea coccinellifera</i>	Tratamento das paredes de antigo edifício em adobe com pintura, por aspersão, de mucilagem da palma ou de etanol + mucilagem, melhorando a sua difusão no adobe pela redução da tensão superficial e promoção da interação química com o adobe, tendo uma ação consolidante..
Beas (1991)	Figueira da índia – cacto <i>Opuntia ficus-indica</i>	Argamassas de argila, cal, gesso, argila/cal e gesso/cal. Reduzida absorção de água por capilaridade na estabilização com argila/cal. A permeabilidade ao vapor d'água encontrada foi próximo das misturas de argila sem a mucilagem de cacto. Na resistência à água (teste da gota de água, <i>drop test</i>) não apresenta erosão nas argamassas de cal e argila/cal.
Sawitzki (2006)	Mandacaru - cacto <i>Cereus hildmaniannus</i>	Mucilagem de cacto utilizada em argamassas históricas de cal e areia no estudo reproduzido em laboratorial. Verificando-se o aumento da resistência mecânica (tração e compressão) e diminuição da absorção de água por capilaridade, mas um decréscimo no envelhecimento.
Achenza e Fenu (2006)	Algas marinhas, e resíduos de beterraba e tomate	Estudo de adobes estabilizados com fibras de algas marinhas e resíduos de beterraba e tomate transformados em polpa (10% do solo em fibras e 10% de beterraba e tomate). Estes contêm açúcares, amido e celulose, ácidos orgânicos, carboidratos, etc. Os provetes testados são mais resistentes à imersão em água (mantendo-se firmes após 8 dias, ao contrário dos que não foram estabilizados com polímeros naturais, que se desintegraram). Em teste de queda de gota de água, <i>Geelong test</i> , mostraram menor erosão. Apresentando maior resistência mecânica e absorção de água mais demorada (10 dias) face ao solo não estabilizado que saturou após 1 dia.
Galán-Marín; Rivera-Gómez; Petric, (2010)	Alginato de sódio (obtido de algas castanhas marinhas), resina (da planta <i>lignum vitae</i>) e lã de carneiro	Solo compactado e estabilizado com alginato usado como ligante (19,5 e 19,75%), fibras de lã como reforço (0,25 e 0,5%) e resina da planta <i>lignum vitae</i> , também conhecida como guaiaco ou pau-santo, cujo composto é lignina sulfonato, para melhorar a trabalhabilidade do solo (0,5%). Os resultados comprovam melhores resistências mecânicas e efeito significativo na prevenção de fissura e rapidez de cura, contudo não foram encontrados os dados dos resultados de resistência à água.
Auroville Earth Institute (2008)	Tanino – substância de origem vegetal	Estudo de argamassas em terra para impermeabilização de coberturas com pasta de terra, areia, cimento, cal, tanino e alúmen. Observou-se uma excelente impermeabilização, mas apenas durante cerca de 5 anos.
Browne (2009)	Óleo de cozinha, óleo de motor usado, gordura animal e pelo de cabra	Tratamentos superficiais com os biopolímeros referidos e também cinza, areia e gravilha aplicados em blocos BTC. Mediante o teste de queda de gota de água, <i>Geelong test</i> , os resultados mostram que, no geral, os solos com cimento são mais resistentes à água (com menor erosão), mas são ainda melhorados com o tratamento de qualquer dos biopolímeros testados, sobretudo com óleo de motor.
Minke (2007)	Óleo de linhaça	Incorporação de 6 % de óleo de linhaça cozido em argamassas de terra. Teste de jato de água durante 7 dias sem mostrar erosão.
Čechová (2009)	Óleo de linhaça	Argamassas de cal com 1 e 3% óleo de linhaça do peso da cal, com ou sem adição de pozolanas. Bons resultados em ambos na redução da absorção por capilaridade, sobretudo com 3%. Contudo, com 1%, a resistência mecânica aumentou em relação à argamassa padrão enquanto com 3% apresenta menor resistência.

Os membros das subfamílias Opuntioideae e Cactoideae (no quais se inserem as espécies *Pilosocereus gounellei*, *Nopalea coccinellifera* e *Opuntia ficus-indica*) podem ser encontrados em quase todos os habitats terrestres, desde desertos quentes ou frios, pastagens, florestas tropicais ou não, ambientes molhados ou cobertos de neve.



Figura 6 – Distribuição geográfica da família Cactaceae no mundo. (Fonte: http://www.thecompositaeht.com/www_tch/webcurso_spv/familias_pv/cactaceae.html).

Segundo Sáenz *et al.* (2013), plantas da família das cactáceas possuem cladódios, termo designado para um tipo de modificação caulinar que consiste na presença de ramos nas vegetações, que contém mucilagens hidrocolóides de alta viscosidade, o que recentemente tem despertado interesse do setor da construção civil.

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

2.3.3 Xique-xique (*Pilosocereus gounellei*)

Dentre as inúmeras espécies de cactáceas existentes, destaca-se a espécie *Pilosocereus gounellei* (F.A.C.Weber ex K. Schum.), popularmente conhecida como xique-xique, a qual é comumente encontrada no Nordeste do Brasil, exclusivamente em

áreas do bioma Caatinga, com evidência para as Caatingas dos estados do Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe e Bahia. Destaca-se por ser uma cactácea que se desenvolve nas áreas mais secas desta região, e se multiplica regularmente, cobrindo extensas áreas (LUCENA *et al.*, 2015).

Na Figura 7 é possível visualizar esta espécie que tem como característica possuir um tronco ereto e coberto de espinhos, com galhos laterais afastados e apresentando uma cor verde (BARBOSA, 1998). Os cladódios apresentam expressivos conteúdos de umidade, carboidratos, destacando-se fibras solúveis e insolúveis, além de relevante teor de minerais, o que tecnologicamente, poderia atuar como importante agente aglutinante, entre outras propriedades (BEZERRIL, 2017).



Figura 7 – Cacto Xique-xique (Fonte: Autor, 2017).

Atualmente estão sendo realizados diversos estudos utilizando esta espécie para múltiplos fins, sobretudo alimentícios ou medicinais. Almeida *et al.* (2007); Lucena *et al.* (2012) e Nascimento *et al.* (2012) utilizaram a polpa do xique-xique para fabricação de cocada, doces, farinhas, cuscuz. Já Almeida *et al.* (2007), incorporaram a polpa ao trigo para utilização na panificação, enquanto Bezerril (2017) produziu uma geleia.

Alguns estudos com fins medicinais são apresentados, utilizando diferentes partes do vegetal, como: fruto, polpa e raiz (AGRA *et al.*, 2008; ALBUQUERQUE *et al.*, 2007; ROQUE; ROCHA; LOIOLA, 2010). Destaca-se que no processo de beneficiamento das cactáceas para fins alimentícios, são gerados resíduos do vegetal, como é o caso das cascas. Porém não consta na literatura nenhum estudo que utilize as cascas desta espécie para obtenção da mucilagem, sobretudo para fins na área da construção civil. No entanto, pesquisas realizadas com outras espécies de cactos, possibilitaram nortear o presente

estudo, que busca a obtenção da mucilagem a partir do aproveitamento dos resíduos do vegetal, gerados no processo de beneficiamento do cacto xique-xique para fins alimentícios.

2.3.4 Utilização de mucilagens de cactos nas construções

De acordo com Lengen (2004), no seu livro *Manual do Arquiteto Descalço*, misturando-se a mucilagem de cactos com outros materiais de construção, é possível melhorar a qualidade de paredes, pisos e tetos, tornando-os mais resistentes contra patologias causadas pela ação das chuvas.

Andrade (2002) destaca a prática da pintura de casas com a mucilagem da palma (*Nopalea cochenillifera*) associada à cal pelos moradores de um município do interior da Bahia. Acredita-se que além da redução de custos, a pintura atua na prevenção de doenças, pois, supõe-se que esta técnica impeça que insetos, como o Barbeiro, se instalem nas frestas das casas construídas com terra.

Aranda-Jimenez e Suárez-Domínguez (2013) estudaram o efeito da adição da mucilagem de cactos (*Opuntia ficus indica* e *Opuntia rastrera*) com diferentes concentrações em BTC. Verificou-se que blocos de terra comprimida aumentam significativamente resistência à compressão seca e úmida, e a porosidade diminui à medida aumenta-se a concentração de mucilagem.

Magalhães e Almeida (2010) realizaram estudo comparativo entre as mucilagens extraídas do cacto *Opuntia ficus-indica* e do cacto *Nopalea cochenillifera*, na forma de pó e de gel, produzindo placas de gesso com adição de mucilagem nessas duas formas. Os autores verificaram que a adição de mucilagem permitiu a redução do consumo de água nas pastas de gesso, implicando em menores taxas de absorção de água e maiores resistências à flexão estática. Os mesmos ressaltam que desde a etapa de mistura dos materiais, notou-se que a adição da mucilagem possibilitou a preparação de uma pasta consistente, o que não ocorre geralmente nas pastas de gesso sem aditivo. Não foram verificadas diferenças significativas nos resultados analisados das pastas de gesso com mucilagem dos cactos *Opuntia ficus-indica* e *Nopalea cochenillifera*, concluindo assim que ambas as espécies possuem características de aditivos para gesso.

Já Chandra, Eklund e Villarreal (1998) investigaram o uso do extrato (mucilagem) da espécie *Opuntia ficus-indica*, em argamassas de cimento Portland. Os autores

constatarem que as argamassas com adição da mucilagem apresentaram melhor trabalhabilidade, o que pode ser atribuído ao efeito proporcionado pelo polissacarídeo presente na Palma, que reduz a fricção e aumenta a suavidade. A adição de 100% de mucilagem introduziu hidrofobicidade, reduzindo o processo de secagem e consequentemente a formação de fendas, o que implicou no aumento da resistência, sobretudo na resistência aos 90 dias.

Ainda, Hernández-Zaragoza *et al.* (2008) estudaram o aperfeiçoamento das propriedades físicas e mecânicas de concretos utilizando a mucilagem, proveniente do cacto *Nopalea cochenillifera*. Destarte, compararam os resultados obtidos para os ensaios de consistência, tempos de pega, inicial e final, e de resistência das pastas padrão e aditivada com o pó de cacto desidratado em forno. Concluíram então que houve aumento da trabalhabilidade da pasta que continha cacto. Os autores avaliaram ainda a resistência à compressão dessas pastas em idades precoces de 3, 7 e 14 dias, verificando um aumento de até 72% na resistência à compressão em todas as idades na pasta contendo cacto.

Guillen *et al.* (2019), estudaram as propriedades do *Echerhirhu-Block*, como possível substituto para tijolos convencionais. Este bloco foi feito a partir de misturas de solo, celulose (papel reciclado) e extrato de *Opuntia ficus* (mucilagem) usado como aglutinante. As amostras apresentaram uma resistência à compressão de quase 76 kg/cm², enquanto os tijolos convencionais para fins não estruturais mostraram uma resistência à compressão máxima de 60 kg/cm². Além disso, houve uma redução de 17% na absorção de água dos blocos propostos e uma redução de peso de até 25%, a um custo 10% menor, já que nenhuma queima é realizada.

3 MATERIAL E MÉTODOS

No desenvolvimento da pesquisa foram executadas atividades relacionadas ao comportamento higrotérmico e durabilidade do BTC em diferentes escalas (corpos de prova, paredes e protótipos), com aplicação de diferentes tratamentos superficiais no material BTC (terra crua) com interesse na investigação, conforme ilustrado na Figura 8.

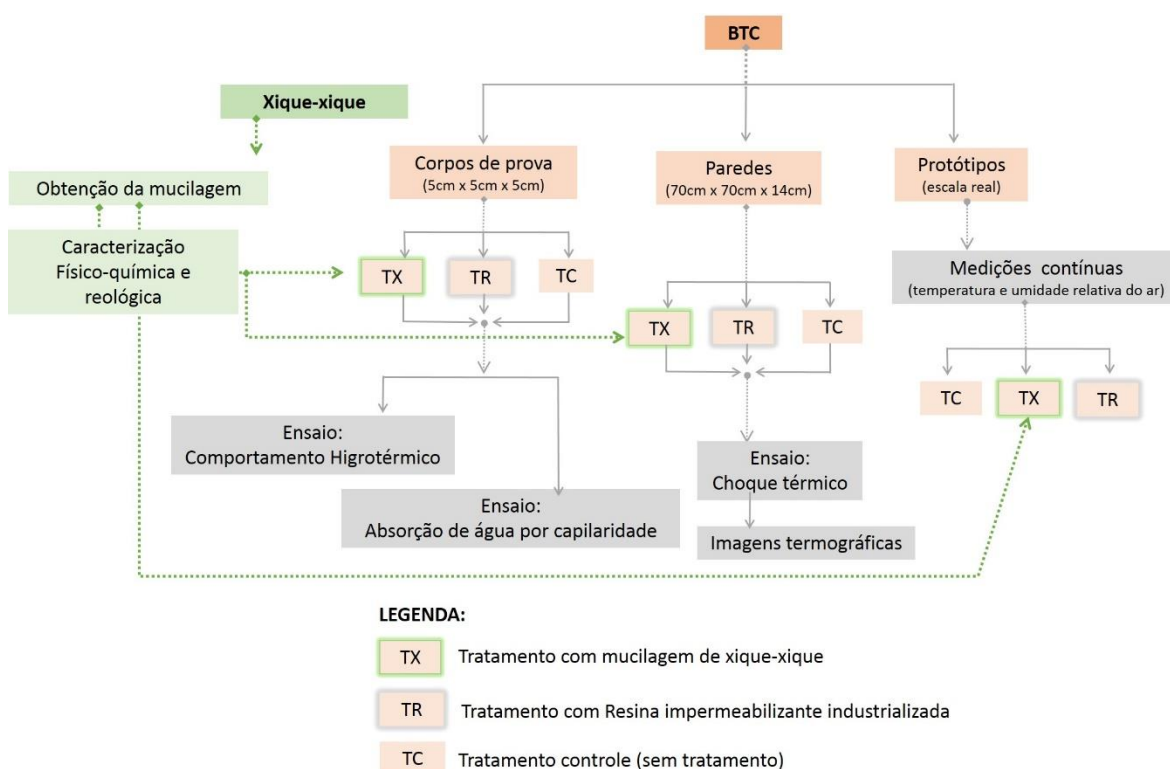


Figura 8 – Fluxograma do desenho experimental (Fonte: Autor, 2019).

3.1 Processo de caracterização da mucilagem de xique-xique como pintura superficial para BTC

3.1.1 Extração da mucilagem do cacto xique-xique

Os cladódios do xique-xique (*Pilosocereus gounellei*) (Fac Weber), com 2 (dois) anos de idade, em média, foram coletados no município de Boa Vista, estado da Paraíba, em uma área de cultivo particular, com localização 07° 15' 32" S 36° 14' 24". O estágio de

maturidade dos cladódios foi definido com base no estudo realizado por Contreras-Padilla *et al.* (2016), que indicam que a mucilagem diminui com a maturidade.

O material vegetal foi depositado, catalogado e identificado pelo Prof. Dr. Leonardo Person Felix, do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal da Paraíba (CCA/UFPB), e a espécie certificada foi depositada no Herbário Profº. Jaime Coelho Moraes (CCA/UFPB), com número do voucher nº 17.562. A coleta do material vegetal foi registrada no Sistema de Informação e Biodiversidade do Brasil (SISBIO) com número de processo (62681) e no Sistema Nacional de Gestão de Patrimônio Genético e Conhecimento Tradicional Associado (SISGEN) número (AA17429).

No laboratório, os cladódios de xique-xique foram lavados em água corrente e sanitizados com imersão em água clorada por 15 minutos, na proporção de 100 ppm. Na Figura 9, estão ilustradas as etapas de tratamento dos cladódios. Inicialmente, os espinhos dos cladódios foram retirados e os mesmos foram cortados com facas e separados em grupos, sendo classificados como: cilindro vascular, talo central, cilindro vascular + talo central e casca, de acordo com metodologia adaptada de Bezerril (2017). Com exceção das cascas, as outras partes dos cladódios foram utilizadas em pesquisas com fins alimentícios no Laboratório de Bromatologia (Departamento de Nutrição/CCS/UFPB), e as cascas que seriam descartadas, foram utilizadas para a extração da mucilagem objeto do presente estudo.

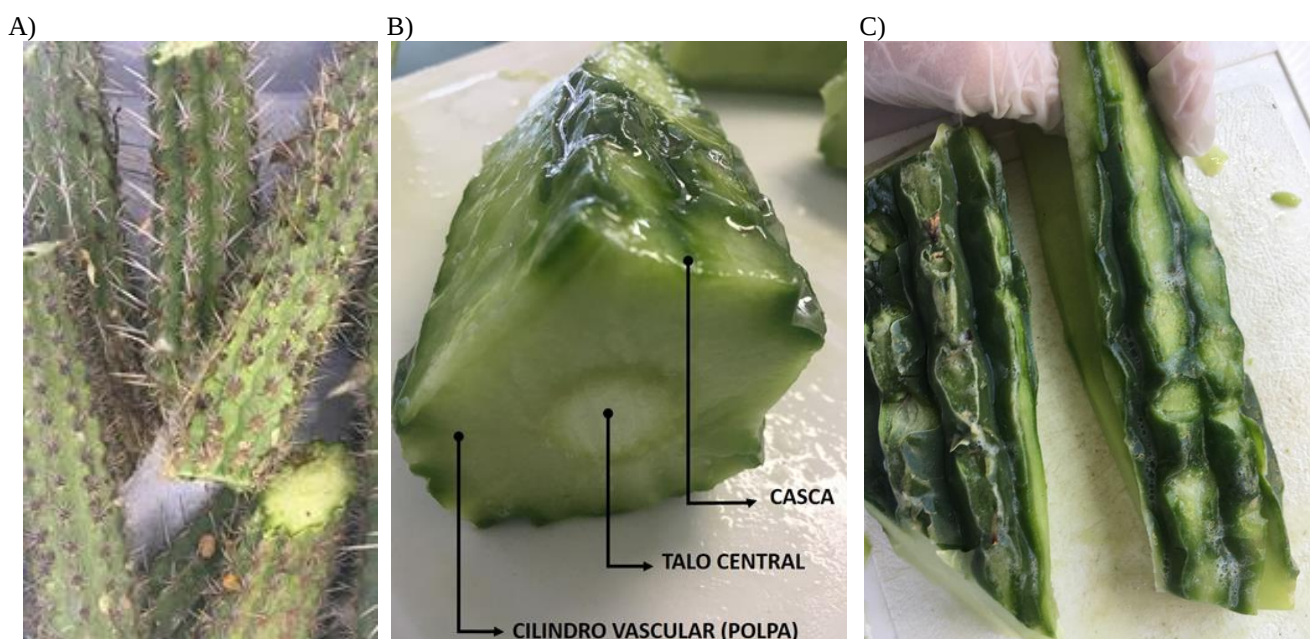


Figura 9 – Cacto (cladódio) xique-xique. A) Cladódio com espinhos; B) Cladódio sem espinhos e sua divisão anatômica; C) Cascas (Fonte: Autor, 2018).

Para obtenção da mucilagem as cascas foram imersas em água utilizando duas diferentes proporções, 1 (um) kg do vegetal para 1 (um) litro de água (TX 1:1) e 1 (um) kg do vegetal para 2 (dois) litros de água (TX 1:2), mantendo-se por 2 dias nessa condição, em temperatura ambiente (Figura 10). Após esse período, realizou-se a separação com auxílio de uma peneira, de modo a obter a mucilagem para à aplicação nas amostras de BTC, de acordo com a metodologia adaptada de Magalhães e Almeida (2010).

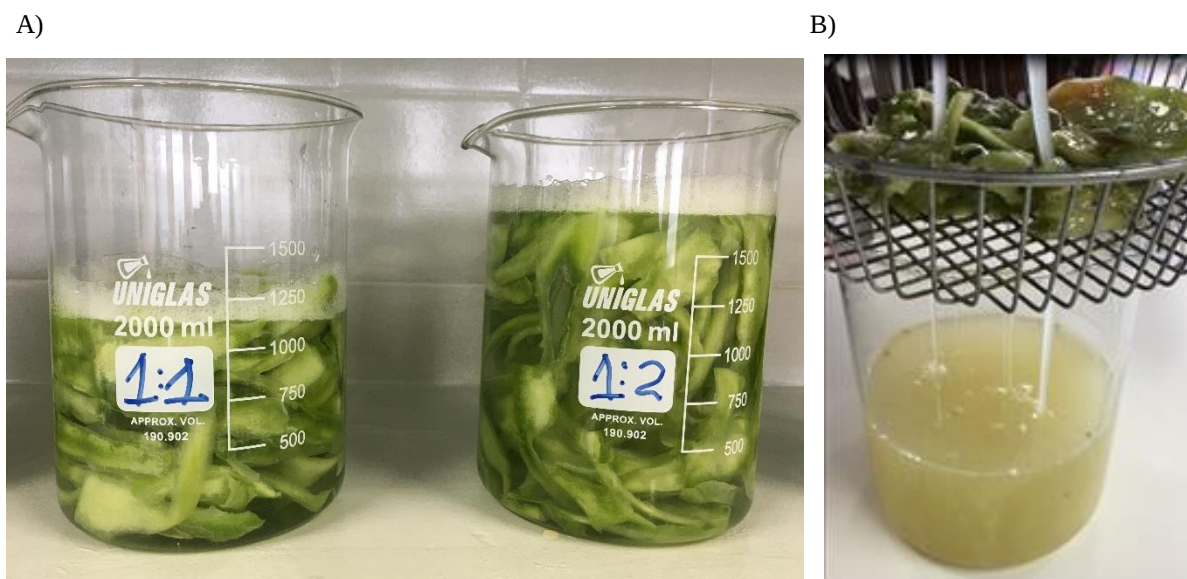


Figura 10 - Extração da mucilagem de xique-xique. A) Cascas imersas em água; B) Separação com peneira para obtenção da mucilagem (Fonte: Autor, 2018).

3.1.2 Caracterização físico-química e reológica da mucilagem de xique-xique

Com a finalidade de caracterizar a mucilagem do xique-xique foram realizadas avaliações físico-químicas e reológica de cada dosagem (1:2 e 1:1), em triplicata, avaliando-se as variáveis atividade de água, sólidos solúveis, pH, umidade, carboidratos, cinzas, acidez, viscosidade e cor conforme metodologia a seguir:

- Atividade de água (Aa): determinada a uma temperatura de 25°C ($\pm 4^\circ\text{C}$) utilizando-se o equipamento AquaLab[®], CX-2, seguindo metodologia descrita em seu manual;
- Sólidos solúveis (°Brix): determinados utilizando refratômetro digital (Hanna[®], HI 96801);

- pH: realizada em potenciômetro digital (Quimis[®], Q 400, Diadema, São Paulo, Brasil);
- Umidade: utilizando secagem em estufa a 105°C, método descrito pela AOAC (2012);
- Carboidratos: a quantificação foi realizada com base no método fenol-sulfúrico conforme Dubois *et al.* (1956);
- Cinzas: obtidas com a incineração em mufla a 550°C até peso constante, método descrito pela AOAC (2012);
- Acidez: baseada na neutralização da amostra com solução padrão NaOH 0,1N determinada por titulometria.
- Viscosidade: determinados os tempos de escoamento (t) das mucilagens utilizando um viscosímetro capilar de Ostwald, segundo Cannon-Fenske, com capilar de número 52023 mm² Schott[®], Modelo: AVS 350. A viscosidade cinemática foi determinada através da expressão: $V = K \cdot t$, onde a constante ($k=0,2326 \text{ mm}^2/\text{s}^2$).
- Cor instrumental: realizada pelo sistema CIELab, sendo L (luminosidade), a* (verde - vermelho) e b* (azul - amarelo), utilizando o colorímetro Konica Minolta[®], CR 400.

A realização destes ensaios teve como objetivo estabelecer um padrão de caracterização, visto que diversos fatores influenciam estas variáveis analisadas, tais como: idade dos cladódios, local da coleta (clima da região), época da coleta, além dos diferentes métodos existentes para obtenção da mucilagem. Estes ensaios também possibilitam a comparação entre as diferentes dosagens ensaiadas, e com os resultados de outros autores que analisaram outras espécies de cactáceas.

3.2 Verificação do comportamento higrotérmico do BTC com pinturas superficiais

3.2.1 Medições da permeabilidade ao vapor d'água dos corpos de prova com diferentes pinturas superficiais

Os ensaios para avaliar o comportamento higrotérmico da pintura com a mucilagem de xique-xique aplicada no BTC foram realizados com corpos de prova, que foram extraídos (amostras cúbicas) dos próprios blocos em terra crua comprimida e estabilizada com cimento Portland (BTC) existentes no laboratório. Estes blocos, com dimensões iguais

a 14 cm x 10 cm x 28 cm (largura x altura x comprimento), foram produzidos no ano de 2016, com a utilização de uma prensa manual, conforme descrito por Melo *et al.* (2011). Naquela época, após a moldagem dos blocos, os mesmos foram armazenados em lugar protegido da ação direta de sol, ventos e chuva, através de uma cobertura com lona plástica, para garantir o processo de cura por, no mínimo, 7 dias. A maior parte destes blocos foi utilizada para construção de um dos protótipos em BTC edificadas no LABEME (CT/UFPB), e os blocos restantes foram empilhados e mantidos em local coberto e protegido, até o momento da etapa de extração das amostras cúbicas. As características desses blocos BTC estão descritas no Quadro 3.

Quadro 3 – Características dos blocos BTC (Fonte: Melo *et al.*, 2011).

Bloco de terra estabilizado	
Massa do bloco – 5,35 kg	
Materiais	Solo Limite de liquidez: 22% (NBR 6459 (ABNT, 1984c)) Limite de Plasticidade: 18% (NBR 7180 (ABNT, 1984d)) Índice de Plasticidade: 4% (NBR 7180 (ABNT, 1984d)) Areia: 64% Silte + Argila: 35% Pedregulho: 1%
Cimento Portland	CP II 32 RS
Água	Potável, proveniente do sistema de abastecimento público: 15% em relação à massa de terra, no estado solto e seca
Produção	Mistura manual dos materiais Moldagem dos blocos em máquina do tipo manual Cura dos blocos: Cobrimento com lona plástica no interior do galpão
Parâmetros avaliados do bloco	Absorção de água média aos 7 dias igual a 11% Resistência à compressão média aos 7 dias igual a 2,07 MPa

As amostras foram extraídas dos blocos BTC (Figura 11A), com a utilização de uma serra elétrica circular, de modo a produzir os cortes estabelecidos, tendo como regra sempre escolher as partes centrais sem contato com a superfície dos blocos. No total foram extraídos 24 corpos de prova cúbicos, com as seguintes dimensões: 5 cm x 5 cm x 5 cm (Figura 11B).

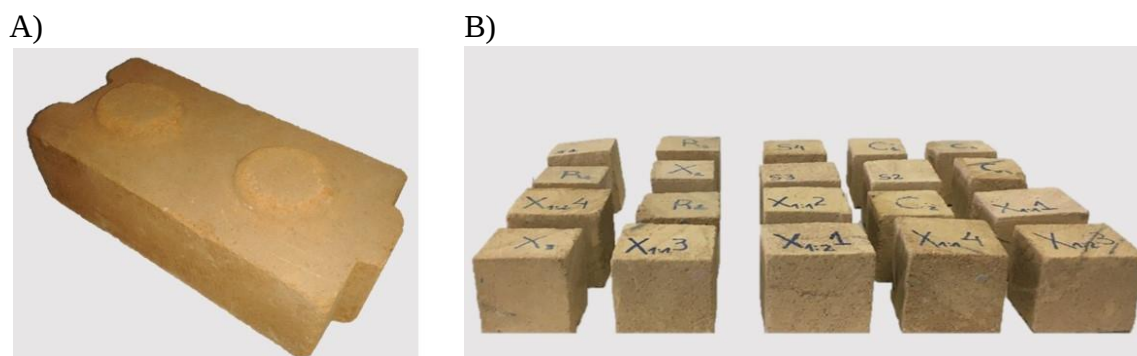


Figura 11 – BTC. A) Bloco BTC; B) Amostras cúbicas extraídas dos blocos BTC (Fonte: Autor, 2018).

Os corpos de prova cúbicos foram divididos em 5 grupos e identificados, de acordo com o tratamento superficial aplicado ou sem aplicação tratamento:

- Tratamento Controle (TC) → sem pintura superficial
- Tratamento Resina (TR) → aplicação de resina acrílica impermeabilizante industrializada
- Tratamento Xique-xique 1 (TX1:1) → aplicação da mucilagem na dosagem 1:1(cacto: água)
- Tratamento Xique-xique 1 (TX1:1i) → aplicação da mucilagem na dosagem 1:1(cacto: água) com imersão da amostra no fluído
- Tratamento Xique-xique 2 (TX1:2) → aplicação da mucilagem na dosagem 1:2 (cacto: água)

Com exceção do grupo TX1:1i, no qual os corpos de prova foram imersos na mucilagem por 30 minutos, os demais tratamentos superficiais (pinturas) foram realizados com o auxílio de um pincel com cerdas 25 mm, aplicando duas demãos, executadas em sentidos cruzados, com um intervalo de 4 horas.

Os corpos de prova foram submetidos a 4 ciclos de 24 horas de duração com diferentes combinações de temperatura e umidade relativa (30% U.R. / 32°C e 80% U.R. / 20°C), a fim de determinar o comportamento higrotérmico, ou seja, a permeabilidade ao vapor d'água. A metodologia utilizada neste ensaio baseou-se nos estudos realizados por Minke (2000); Cagnon (2014) e Vares *et al.* (2017). Ressalta-se que os valores de temperatura e umidade relativa utilizados, simulam um clima com elevada amplitude térmica e higrométrica, como é o caso de algumas regiões do estado da Paraíba de acordo com dados registrados na estação meteorológica da UFCG (Campus Sumé-PB).

Para o controle da temperatura os corpos de prova foram colocados em uma câmara climática MA 415 Marconi[®], e para o controle da umidade adotou-se o método descrito por Greenspan (1977), que descreve o uso de soluções salinas saturadas. As soluções salinas (cloreto de magnésio – 30% U.R. e cloreto de potássio – 80% U.R.) foram dosadas e posteriormente colocadas na parte inferior de dessecadores com 25 cm de diâmetro, e os corpos de prova foram dispostos acima do prato de porcelana padrão dos dessecadores.

As pesagens dos corpos de prova foram realizadas no início e ao final de cada ciclo utilizando uma balança semianalítica BG2000 Quimis[®]. Equipamentos do tipo Datalogger (modelo UX100-003) foram colocados no interior de cada dessecador para assegurar o controle da temperatura e umidade.

3.2.2 Medições da absorção de água por capilaridade pelos corpos de prova com diferentes pinturas superficiais

Os ensaios de absorção de água por capilaridade, foram realizados com base no Procedimento nº II.6 “*Water Absorption Coefficient (Capillarity)*” da RILEM. Inicialmente os corpos de prova cúbicos anteriormente descritos foram secos em estufa ventilada a 60°C, até se obter massa constante (obtenção do valor de massa seca). Após este processo, foram colocados em caixas de plástico, parcialmente imersos em uma lâmina de água com 5 mm acima da face inferior dos corpos de prova. Em seguida as caixas de plástico foram fechadas para evitar a evaporação da água. A periodicidade das pesagens foi realizada conforme o trabalho desenvolvido por Azevedo (2013): 1 min, 3 min, 5 min, 10 min, 15 min, 30 min, 60 min, 8 h e 24 h. A altura da lâmina foi constantemente verificada a fim de manter a altura invariável durante o todo o ensaio.

3.2.3 Medições de temperatura e umidade relativa do ar nos protótipos construídos com BTC

Os protótipos objeto de estudo, localizam-se no LABEME (CT/UFPB), em João Pessoa-PB. Trata-se de dois protótipos iguais confeccionados com BTC, que representam ambientes com pequenas dimensões (3,14 m x 2,65 m) de uma edificação, e ambos

possuem dois pavimentos, cuja única diferença entre os mesmos é o tipo de laje (Figura 13).

De abril de 2017 à maio de 2019, foram realizadas medições sistemáticas, a fim de registrar a temperatura e umidade relativa do ar dos ambientes internos destes protótipos (Figura 12A). As medições tiveram duração de 7 dias contínuos (entre os dias 21 à 28 de cada mês). Os registros foram feitos de forma automática a cada 15 minutos, com o intuito de acumular registros prévios dos dados (temperatura e umidade relativa do ar), para as condições das paredes feitas com BTC sem pintura inicialmente, e posteriormente após aplicação das diferentes pinturas, possibilitando uma comparação entre as duas situações.

Os dispositivos (sensores) utilizados nas medições foram do tipo Datalogger (modelo UX100-003), sendo posicionados de forma suspensa no centro de cada ambiente dos dois protótipos, a 1,5 m de altura do piso (Figura 12B). Também, se utilizou um dispositivo posicionado externamente, localizado no beiral de um dos protótipos, na fachada sul, que é voltada para o outro protótipo (Figura 12C).

De abril de 2017 à abril de 2018, foram coletados e analisados graficamente os dados de temperatura e umidade relativa do ar dos cinco ambientes. A partir de maio de 2018 à maio de 2019, optou-se por restringir a análise aos ambientes inferiores dos protótipos e ambiente externo, focando na umidade relativa do ar.



Figura 12 - Protótipos com paredes de BTC. A) Vista do posicionamento dos protótipos (1), na frente; (2) ao fundo; B) Localização interna do Datalogger; C) Proteção externa para Datalogger, localizado no beiral (Fonte: Autor, 2019).

Na Figura 13, é apresentado um corte esquemático dos protótipos de BTC, com a localização dos Dataloggers, denominados: H1, H2, H3, H4 e H5 (externo).

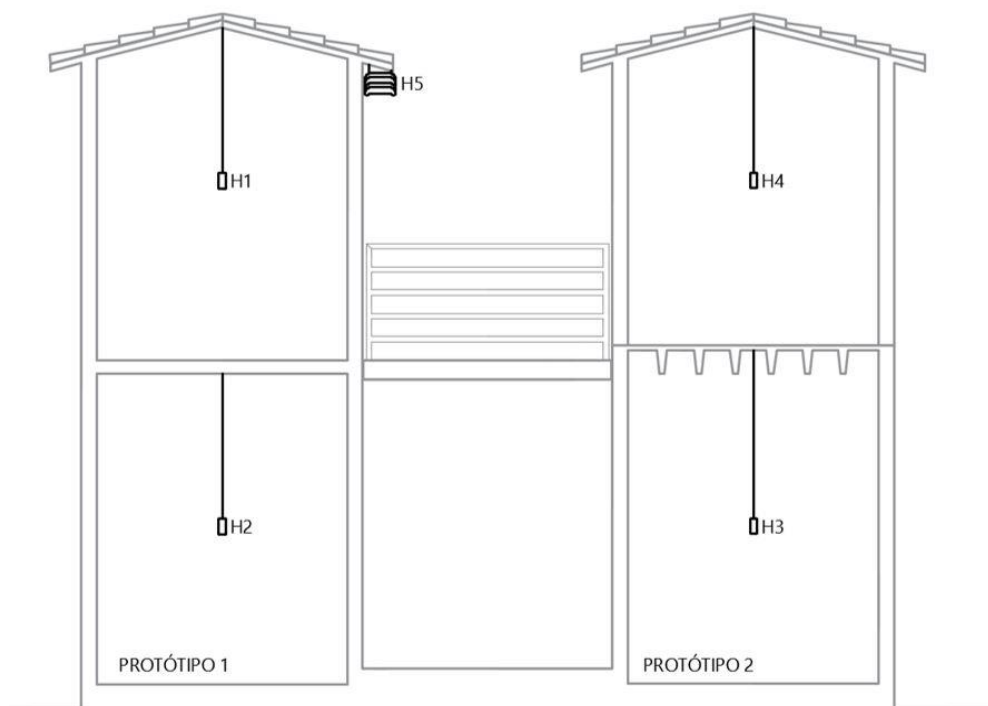


Figura 13 - Corte esquemático dos protótipos e localização dos Dataloggers (Fonte: Autor, 2017).

Através do tratamento dos dados coletados, foi possível identificar o comportamento higrotérmico dos ambientes internos destes protótipos, a fim de definir, em quais vedações seria aplicado o tratamento superficial produzido a partir da mucilagem do xique-xique. Assim, optou-se por aplicar o TR nas superfícies externas do pavimento inferior do protótipo 1, e a TX1 nas superfícies externas do pavimento inferior do protótipo 2. Em seguida, foram continuadas as medições a fim de identificar as diferenças antes e depois da aplicação das diferentes pinturas testadas.

Os dados coletados foram confrontados com os dados meteorológicos da estação meteorológica nº 82798, fornecidos pelo INMET, que se localiza a uma distância linear de cerca de 5 km do local dos protótipos (Figura 14). A esta análise foi incorporado o estudo que simulou, para todos os diferentes períodos das medições, a incidência da insolação e sombreamento nas paredes dos protótipos com o auxílio do software Sketchup, com o objetivo de identificar o grau de exposição à incidência solar das paredes dos protótipos, antes e após as intervenções realizadas com as pinturas.



Figura 14 – Distância linear entre a estação meteorológica e os protótipos localizados na UFPB (Fonte: Adaptado de Google Earth, 2018).

3.3 Ação do calor e choque térmico sobre pinturas superficiais em paredes de BTC

Dentre os ensaios de envelhecimento acelerado para análise da durabilidade de sistemas de proteções nas superfícies das vedações, destacam-se os ensaios de calor e choque térmico. Esse ensaio é interessante pelo fato de simular a ação da chuva e do sol incidindo diretamente nas vedações externas das edificações.

Para a realização dos ensaios de choque térmico, foi seguida a metodologia prevista na NBR 15575-4 (2013). Os ensaios foram realizados em uma câmara de choque térmico, existente no LABEME (CT/UFPB).

Foram confeccionadas três pequenas paredes, com dimensões 14 cm x 70 cm x 70 cm (largura x altura x comprimento), executadas com BTC (blocos de terra crua) disponíveis no laboratório, descritos anteriormente, devendo-se destacar que estes são remanescentes do mesmo lote de BTC, utilizado na construção do protótipo.

Para o assentamento dos blocos na confecção das paredes, utilizou-se uma argamassa obtida através de uma mistura de terra passante na peneira de 2,4 mm, adição de

10% de cimento Portland (em relação à massa da terra) e um teor de água, até se atingir uma consistência fluida. Como este BTC é intertravado ou *interlocking* o processo permite assentar os blocos com menor uso de argamassa. Na Figura 15, é apresentada a imagem imediatamente posterior à conclusão do assentamento dos blocos, resultando nas 3 paredes idênticas.



Figura 15 – Paredes confeccionada com blocos BTC (Fonte: Autor, 2018).

Após 28 dias a partir da data da confecção das paredes, as mesmas receberam os diferentes tratamentos superficiais:

- Parede TC → Tratamento Controle (sem tratamento)
- Parede TR → Tratamento Resina
- Parede TX → Tratamento Xique-xique (1:1)

A opção por realizar adotar tratamento TX (1:1), como tratamento de uma das amostras, deve-se ao fato de que este obteve os melhores resultados nos ensaios de absorção capilar e comportamento higrotérmico, como será apresentado posteriormente. As aplicações dos tratamentos foram realizadas com o auxílio de trinchas com cerdas 100 mm, aplicando duas demãos dadas em sentidos cruzados, com um intervalo de 4 horas (Figura 16).

A)



B)

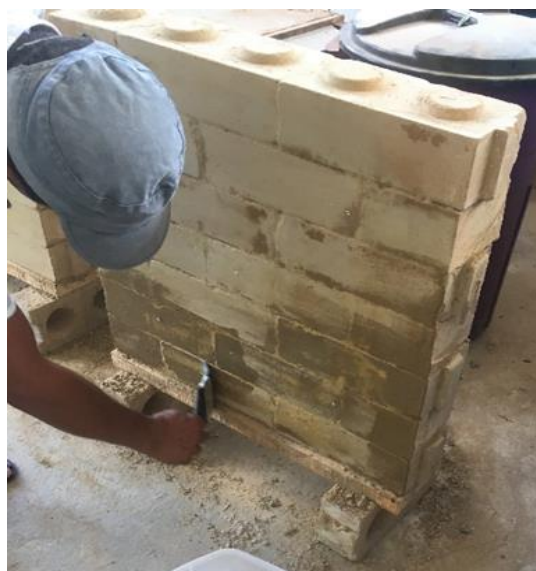


Figura 16 – Aplicação da pintura xique-xique na Parede TX. A) Homogeneização da mistura; B) Aplicação da primeira demão na horizontal (Fonte: Autor, 2019).

O mesmo procedimento foi adotado para a realização da aplicação da resina acrílica impermeabilizante (TR), como observado na Figura 17A. Observa-se na Figura 17B a superfície em que foi aplicado o Tratamento TR, com destaque para a mudança na característica visual da parede.

A)



B)



Figura 17 – Parede TR. A) Aplicação da resina acrílica impermeabilizante na parede; B) Detalhe da superfície após aplicação (Fonte: Autor, 2019).

Após 10 dias da aplicação da pintura, tiveram início os ensaios de calor e choque térmico nas amostras. A Parede TR foi a primeira amostra ensaiada, após 24 horas do início deste primeiro ensaio, realizou-se o ensaio na Parede TC. E por último, após 48 horas do início do primeiro ensaio, realizou-se o ensaio na Parede TX. Todas as amostras foram submetidas a 10 ciclos automáticos, contínuos e alternados entre calor e aspersão com água, a fim de produzir o choque térmico. Cada ciclo teve início com uma temperatura superficial nas paredes igual a $27 \pm 3^{\circ}\text{C}$ e durante a ação do calor atingiu-se a temperatura superficial igual a $80 \pm 3^{\circ}\text{C}$, quando se manteve neste patamar por 1 hora. Imediatamente após a supressão do calor, resfriou-se a mesma face da parede através de jatos de água aspergidos em sua superfície, até atingir a temperatura superficial inicial igual a $27 \pm 3^{\circ}\text{C}$.

Para o sistema de aquecimento, utilizou-se um painel metálico composto por quatro resistências blindadas, com potência de 750 W cada, totalizando 3000 W. A aspersão de água foi realizada através de uma tubulação de CPVC perfurada, instalada horizontalmente na altura equivalente ao topo das amostras, permitindo a completa molhagem das paredes (Figura 18).

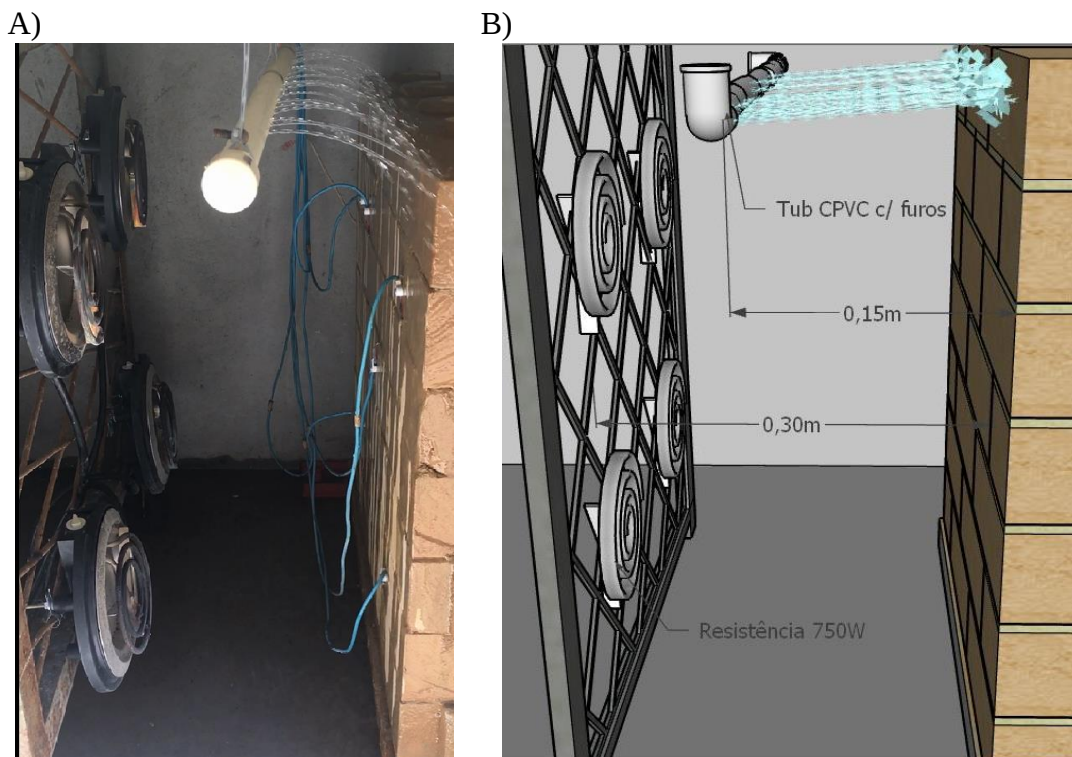


Figura 18 – Câmara de choque térmico A) Resfriamento da parede através da aspersão com água; B) Desenho esquemático da câmara (Fonte: Autor, 2019).

Esta tubulação de CPVC foi conectada a um reservatório que possui isolamento térmico, propiciando que a temperatura da água se mantivesse constante, embora acima do exigido pela norma $(20 \pm 3)^{\circ}\text{C}$, o que não é possível sem um sistema de resfriamento, levando em consideração a temperatura da água no clima da cidade de João Pessoa-PB. O acesso à câmara se deu através de uma porta do tipo corta fogo (metálica com preenchimento com placas de isopor) com duas folhas, com vedação em borracha na interface entre as folhas e os batedores. Na Figura 19, apresenta-se um desenho esquemático com as dimensões correspondentes ao volume da câmara, e posicionamentos dos elementos que a compõem.

A realização automática dos ciclos foi possível devido a criação e instalação de um sistema elétrico. O desenvolvimento deste sistema de automação foi realizado no decorrer da presente pesquisa. O sistema é composto por equipamentos como Termostato, Contactores e Timer que foram conectados as resistências (fonte de calor), a um Termopar de controle, e a uma Válvula Solenoide que regula o fluxo da água. Este sistema possibilita um maior controle e exatidão dos ciclos de calor e choque térmico, além de permitir uma maior rapidez nos ensaios (Figura 20).

A instrumentação das paredes foi realizada através da utilização de cinco sensores de temperatura, instalados na superfície que simula a face externa da alvenaria durante o teste (Figura 21). Os sensores de temperatura serão Termopares do tipo T (cobre + constantan) conectados a um sistema de aquisição de dados (840AMX), que possibilitou a coleta das informações, e registro das temperaturas atingidas em todos os ciclos de aquecimento e resfriamento (molhagem).

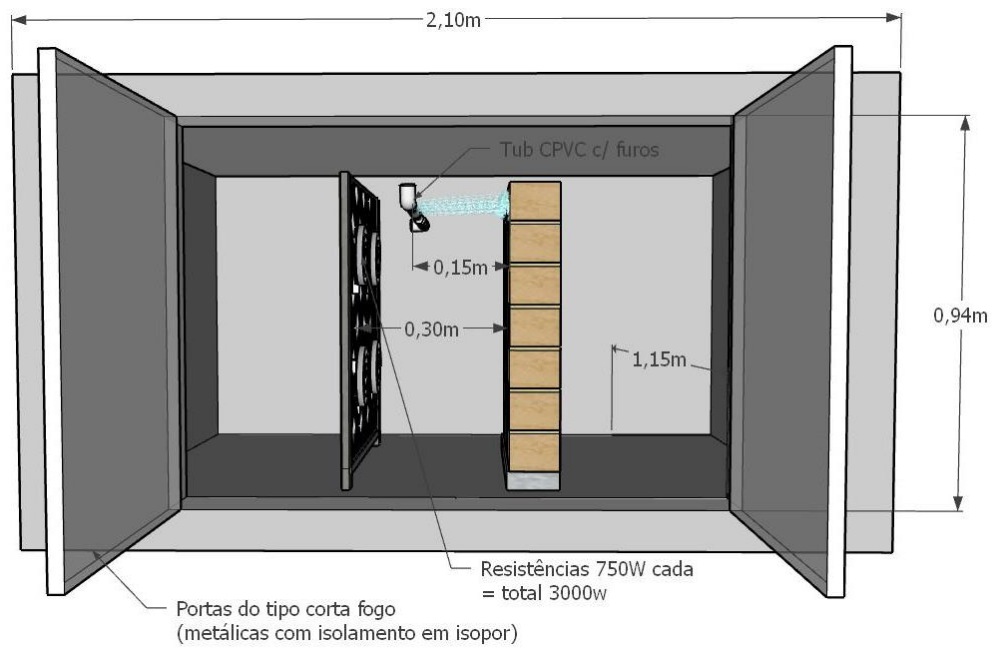


Figura 19 – Desenho esquemático da câmara com dimensões e posicionamento dos elementos (Fonte: Autor, 2019).

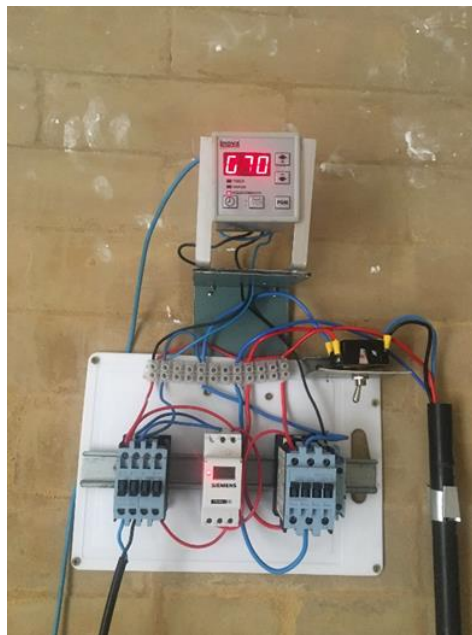


Figura 20 – Sistema de automação da câmara de choque térmico (Fonte: Autor, 2019).

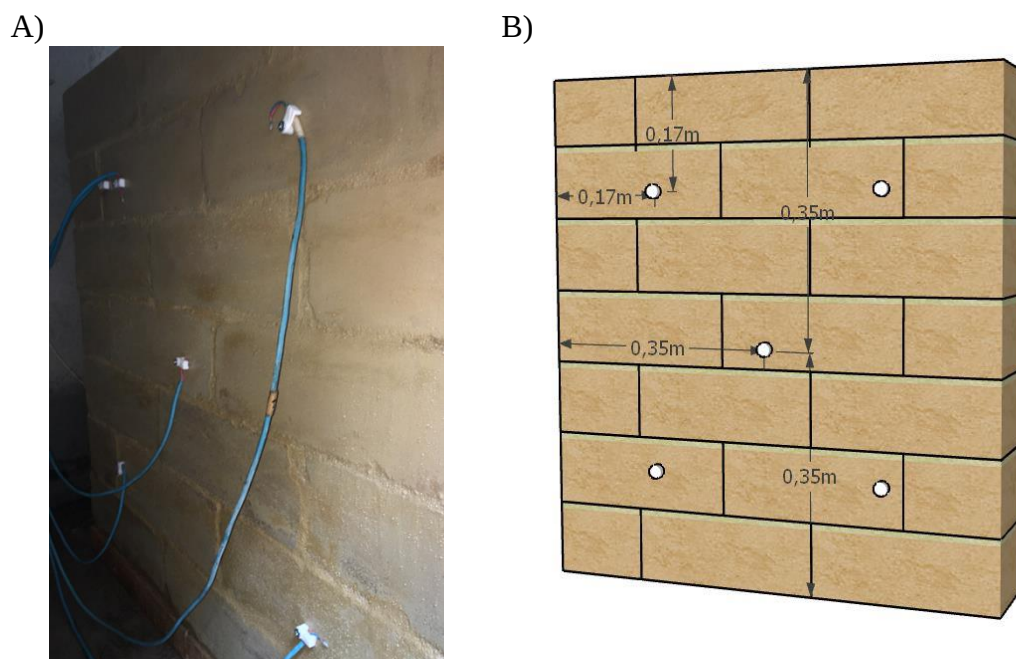


Figura 21 – Sensores de temperatura A) Instalação na superfície da parede; B) Desenho esquemático do posicionamento dos sensores (Fonte: Autor, 2019).

Ao final dos ensaios foi observada a ocorrência ou não de: falhas, como fissuras, destacamentos, empolamentos, descoloramentos e outros danos que possam comprometer a durabilidade dos dois sistemas de pinturas comparados. Foram realizados registros fotográficos a fim de comparar possíveis alterações na superfície das paredes expostas ao aquecimento e molhagem.

A fim de complementar a análise comparativa entre as amostras, principalmente no que diz respeito a presença e concentração de umidade, foram realizadas imagens termográficas através da utilização de uma Câmera Termográfica, modelo FLIR B-400 da FLIR SYSTEMS®. No Quadro 4 estão apresentadas algumas das especificações referentes a este equipamento. Posteriormente à aquisição das imagens foi realizado o tratamento destas com o auxílio do software FLIR Tools, que permite medir temperaturas em determinados pontos ou áreas, alterar a paleta de cores ou até ajustar parâmetros como a emissividade, umidade relativa e temperatura.

Quadro 4 - Dados técnicos da câmara de termografia utilizada (Fonte: FLIR, 2010).

Especificações da Câmera Termográfica	FLIR B 400
Resolução	320 x 240 pixels
Sensibilidade Térmica	< 0,05 °C à 30 °C
Precisão	± 2 °C
Faixa de temperatura	-20 °C à 350 °C
Faixa espectral	7,5 µm - 13 µm

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

O processo de produção da mucilagem de xique-xique desenvolvido e sua aplicação como sistema de proteção superficial em BTC proporcionou o depósito de uma patente de invenção, sob o título: “Processo e produto impermeabilizante à base de mucilagem de cacto” sob número BR 10 2019 008108 2 (ANEXO A).

4.1 Características da mucilagem de xique-xique utilizada como pintura para BTC

Na Tabela 1 estão descritos os valores médios das propriedades físico-químicas da mucilagem de xique-xique obtida a partir de diferentes dosagens (cacto:água). Como era esperada, a menor concentração de água (1:1) utilizada promoveu um menor teor de umidade e, conseqüentemente, maior valor de carboidratos, com também efeitos na viscosidade e na cor do produto final. A maior viscosidade na dosagem 1:1, que é mais concentrada, permite uma melhor trabalhabilidade em comparação com a dosagem 1:2, que apresenta consistência mais líquida.

Tabela 1 – Valores médios das variáveis físico-químicas para as duas dosagens (concentrações) da mucilagem do xique-xique testadas.

Variáveis	Concentrações*	
	1:1	1:2
Umidade (%)	99,09 ±0,00	99,37 ±0,00
Carboidratos (%)	0,21±0,00	0,09±0,00
Cinzas (%)	0,38 ±0,01	0,35 ±0,02
Acidez (%)	0,76±0,05	0,51±0,00
Atividade de água	0,92 ±0,02	0,93 ±0,02
SST (°Brix)	0,90 ±0,20	0,60 ±0,20
pH	5,05 ±0,00	5,08 ±0,00
Viscosidade (mm ² /s)	3,79±0,06	2,26±0,02
Cor		
L	13,93±0,29	24,85±0,87
A	-0,04±0,02	-0,07±0,03
B	0,41±0,02	0,19±0,08

(*proporção casca de xique-xique em kg/água em litros)

Os resultados obtidos demonstram valores inferiores aos citados por Soria et al (2015), em seu estudo com cactácea da espécie *Opuntia amyclaea Tenore*, considerando as variáveis da composição físico-química, no entanto, há semelhança em relação ao valor do pH. Tais diferenças, provavelmente, estão relacionadas aos distintos processos adotados para a obtenção das respectivas mucilagens. Os valores de pH estão também similares aos descritos por Contreras-Padilla *et al.* (2016), que confirmam ser o produto final ligeiramente ácido.

Quanto maior a concentração de nutrientes (sobretudo carboidratos) na mucilagem, maior poderá ser suas propriedades funcionais, como impermeabilizantes e elásticas, em resposta a sua maior disponibilidade de polissacarídeos hidrocolóides (VARGAS-RODRIGUES, *et al.* 2016). Algumas pesquisas indicam que a composição principal deste composto consiste em seis açúcares neutros: arabinose, galactose, ramnose, xilose, ácido urônico e ácido galacturônico (LÉON-MARTINEZ; MÉNDEZ-LAGUNAS; RODRIGUES-RAMIREZ, 2011).

Vale ressaltar que, a falta de padronização e as diferentes formas de extração da mucilagem relatadas pelos pesquisadores dificultam as comparações dos parâmetros acima expostos, visto que alguns pesquisadores utilizam solventes para realizar a extração da mucilagem, outros utilizam a mucilagem em forma de pó após um processo de centrifugação. Além disto, a maioria dos trabalhos citam estudos realizados com outras cactáceas, principalmente com os gêneros *Opuntia* e *Nopalea*, visto que não existem dados na literatura sobre o uso e viabilidade tecnológica com o gênero *Pilosocereus*, que está sendo aqui testado.

4.2 Análises do comportamento higrotérmico do BTC com pinturas superficiais

4.1.1 Variação da permeabilidade ao vapor d'água dos corpos de prova com diferentes pinturas superficiais

A partir do ensaio de comportamento higrotérmico foi possível determinar a permeabilidade ao vapor d'água observando as diferenças entre as amostras, em função do tratamento aplicado. O gráfico do comportamento higrotérmico é apresentado na Figura 22, no qual as amostras com os diferentes tratamentos superficiais são comparadas em função da variação de massa ao longo dos ciclos.

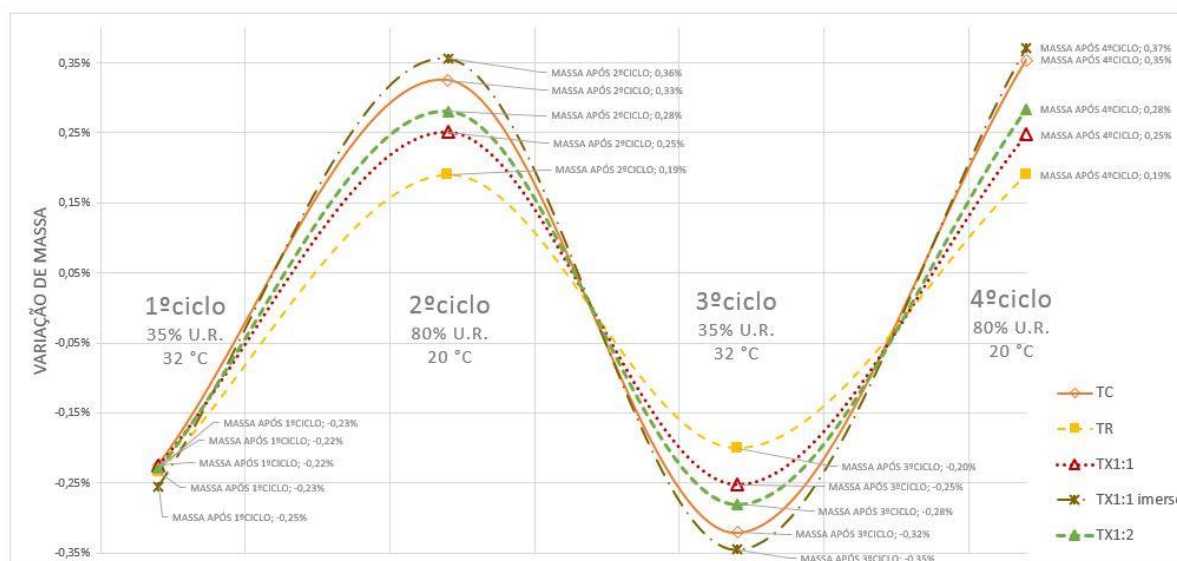


Figura 22 – Comportamento higrotérmico das amostras com diferentes tratamentos superficiais, em função do percentual de variação de massa dos corpos de prova.

As amostras que receberam o tratamento TX1:1_{imerso}, curiosamente, foram as que tiveram maior permeabilidade ao vapor d'água (maior variação de massa entre os ciclos), obtendo uma variação de massa em torno de 17% maior do que as amostras TR, que apresentaram a menor variação de massa entre todas comparadas, indicando que o tratamento com resina acrílica impermeabilizante cria uma barreira no corpo de prova em BTC, diminuindo a sua capacidade de “respirar”. As amostras TC tiveram comportamento mais aproximado com as amostras TX1:1_{imerso}, embora com uma variação de massa 5% menor, o que sugere que as amostras TX1:1_{imerso} apresentaram maior permeabilidade ao vapor d'água quando comparado com as amostras de controle (TC) que não tiveram nenhum tratamento superficial. O fenômeno não foi suficientemente compreendido, necessitando de adicionais investigações, no futuro, sobre o caso específico. As amostras TX1:1 obtiveram uma variação de massa 8% maior do que as amostras TR, o que indica claramente que a pintura com mucilagem de xique-xique, na dosagem de 1:1 (casca de xique-xique: água), comparativamente à resina acrílica impermeabilizante mantém a maior permeabilidade ao vapor d'água, com potencial de preservar melhor a capacidade do material (BTC) respirar.

4.2.2 Variação da absorção de água por capilaridade pelos corpos de prova com diferentes pinturas superficiais

Com os resultados obtidos nas pesagens dos corpos de prova, obteve-se a curva de absorção de água por capilaridade, que expressa a quantidade de água absorvida por unidade de superfície (g/cm^2), em função do tempo decorrido durante os ensaios.

Na Figura 23, visualizam-se as curvas de absorção de água por capilaridade para as amostras submetidas aos diferentes tratamentos superficiais (pinturas) aplicados. Pode-se observar que as amostras TR apresentaram uma menor absorção de água, sobretudo na primeira hora de ensaio. As amostras que receberam os tratamentos com a mucilagem de xique-xique apresentaram absorção de água intermediária entre as amostras TR (pintura com resina acrílica impermeabilizante) e TC (controle sem tratamento superficial). O caso a destacar é o resultado obtido com as amostras, nas quais foram aplicadas pinturas com mucilagem de xique-xique na dosagem mais concentrada (TX1:1), que demonstraram um comportamento mais próximo ao obtido pelas amostras com a resina comercial acrílica impermeabilizante (TR) aplicada. Os maiores valores de ganho de massa dos corpos de prova, correspondente à água absorvida por capilaridade, como era esperado, ocorreu para as amostras de controle (TC), que não receberam nenhum tratamento superficial, visando à impermeabilização.

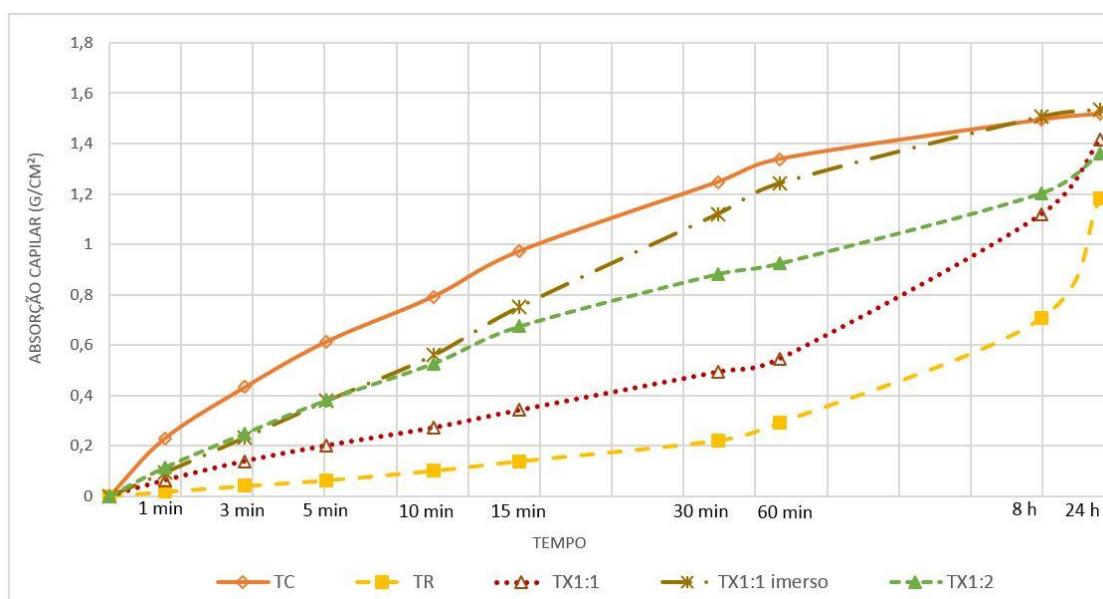
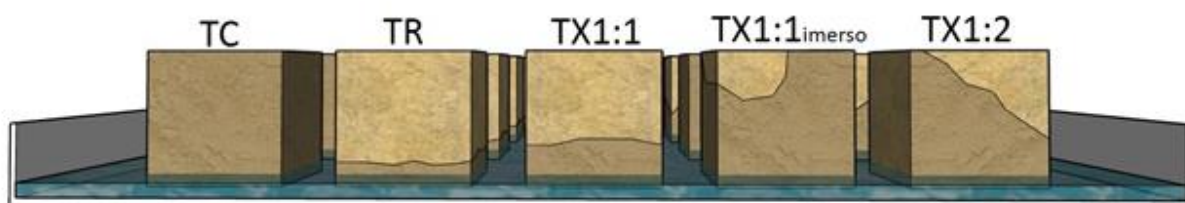


Figura 23 – Curvas de absorção de água por capilaridade das amostras com diferentes tratamentos superficiais.

Após 60 minutos de ensaio, enquanto as amostras TC alcançaram um acréscimo na absorção de água da ordem de $1,4 \text{ g/cm}^2$, nas amostras TR e TX1: 1 os acréscimos foram de apenas $0,3 \text{ g/cm}^2$ e $0,5 \text{ g/cm}^2$, respectivamente. Como é possível observar na Figura 24, no que diz respeito a ascensão capilar da água, visualmente observou-se que os corpos de prova TC, TX1:1imerso e TX1:2 tiveram uma ascensão capilar mais rápida do que TR e TX1:1, corroborando os resultados do acréscimo de massa apresentados anteriormente. Portanto, pode-se afirmar que o esperado efeito de proteção superficial do material (BTC), em relação ao contato com a água, é da mesma ordem de grandeza para ambos os tipos de pinturas aqui comparados, a resina comercial acrílica impermeabilizante (TR) e a mucilagem de xique-xique (TX1:1), preparada na dosagem mais concentrada. Este resultado sugere que a mucilagem de xique-xique, especialmente como proposto (TX1:1), tem potencial como pintura de proteção superficial de parede externa, executada com BTC (terra crua), frente à incidência de chuvas.

Figura 24 – Desenho esquemático dos resultados da ascensão capilar da água nos diferentes corpos de prova após 60 minutos de ensaio



4.2.3 Variações de temperatura e umidade relativa do ar nos protótipos construídos com BTC

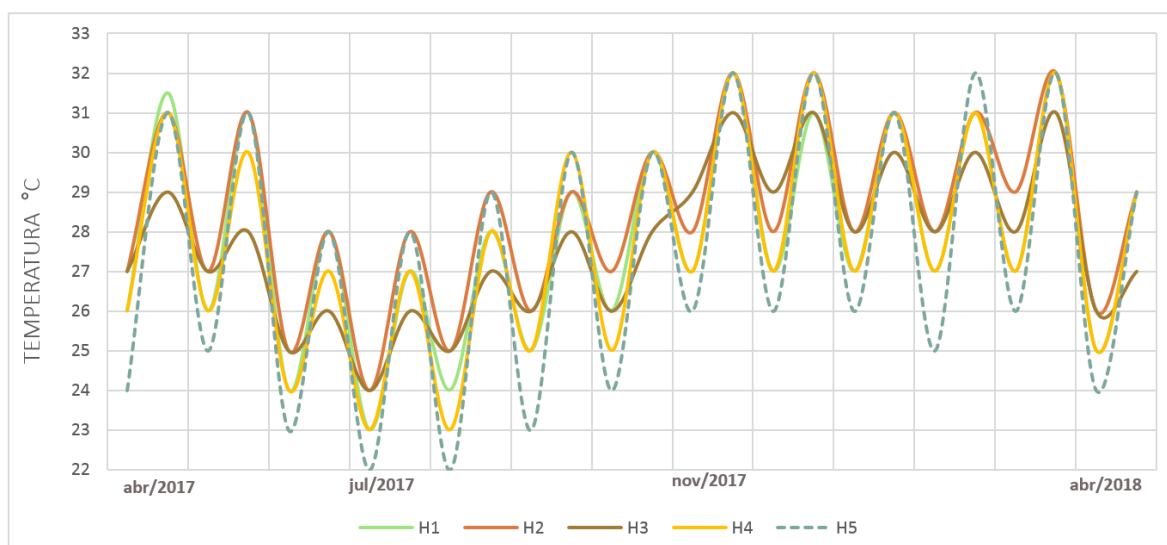
Os dados obtidos durante o período de monitoramento dos protótipos em BTC apresentaram situações distintas entre os diferentes ambientes analisados. Nas Figuras 31A e 31B são apresentados os gráficos com as medições referentes aos meses, entre abril de 2017 e abril de 2018, os quais possibilitaram a percepção de diferentes comportamentos de temperatura e umidade relativa do ar, sobretudo nos ambientes inferiores (H2 e H3) em comparação com os ambientes superiores (H1 e H4, ambos sem forro com madeiramento aparente), constatando assim que o fato dos ambientes inferiores serem enclausurados, os mesmos não ficaram expostos a grandes variações de temperatura e umidade, sobretudo no

ambiente H3, que demonstra uma amplitude térmica baixa, principalmente no parâmetro umidade.

Os registros feitos no térreo do protótipo 2 (H3), comparados aos obtidos nos demais ambientes, sempre apresentam as T_{máx} médias (referente aos 7 dias de leituras contínuas) mais baixas, notadamente nos meses junho e julho (cerca de 26°C), que coincide com o período mais chuvoso em João Pessoa-PB (Figura 25A). As menores amplitudes térmicas, considerando as T_{máx} e T_{mín} médias diárias, entre os dias 21 e 28 de cada mês, durante todo o período do ano na cidade, cujo clima é marcado por duas estações predominantes (inverno/chuvoso e verão/seco), também são destacadas pelos resultados registrados no H3.

As variações nos registros da URar nos ambientes internos são bem menores nos térreos dos dois protótipos (H2 e H3), sendo as médias (referentes aos 7 dias de leituras) mantidas mais altas nas medições feitas no protótipo 2 (H3). Por outro lado, é notável como a variação da URar no lado externo aos protótipos influencia os registros internos (em menor proporção nos ambientes do piso inferior, H2 e H3), tanto nos meses mais chuvosos quanto naqueles mais secos. Deve-se lembrar de que nos 7 dias de cada mês os registros contínuos foram sempre realizados com as portas dos ambientes (superior e inferior) dos protótipos fechadas (Figura 25B).

A)



B)

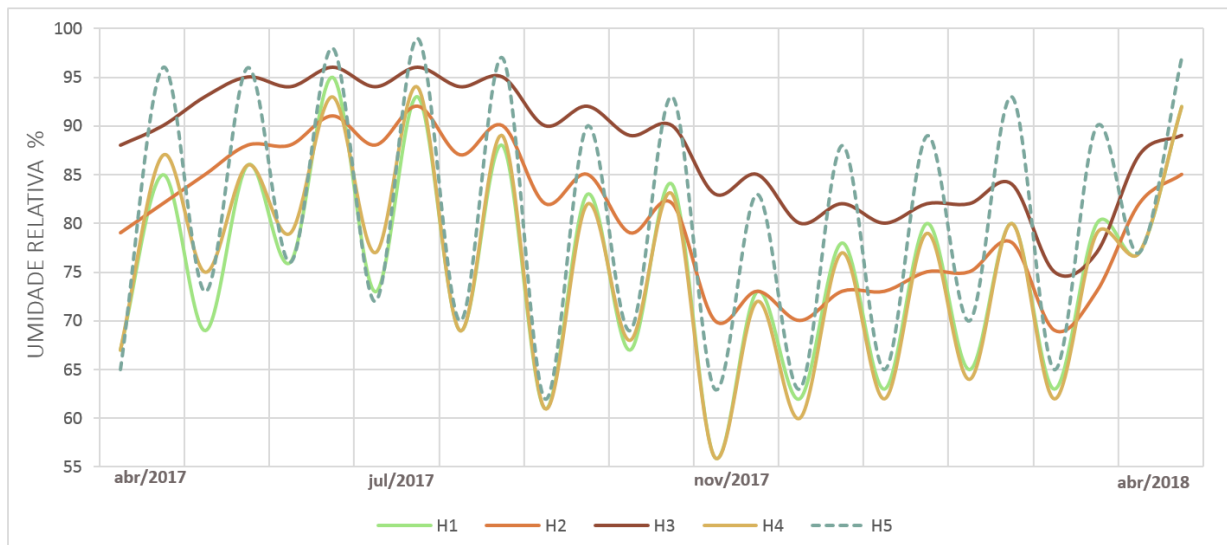


Figura 25 – Comparações entre registros em ambientes internos e externo aos protótipos.
A) Variação de temperatura do ar (T) nas datas/meses de realização dos registros; B) Variação de umidade relativa do ar (URar) nas datas/meses de realização dos registros.

As diferenças observadas se devem, possivelmente, a alguns aspectos relevantes, tais como, os ambientes superiores internos (H1 e H4) dos dois protótipos não possuem forro nem laje de cobertura e, desta forma, é justificável que haja uma interação mais forte com o meio externo pelas cobertas, que são executadas apenas com madeiramento aparente e telha cerâmica vermelha. Logo, os comportamentos térmicos nestes ambientes internos (H1 e H4) foram similares ao ambiente externo (H5).

Outro fator importante pode ser observado através das simulações da incidência solar nas fachadas, que foram realizadas com o auxílio do software Sketchup, as quais possibilitaram a percepção de que as diferenças térmicas (temperaturas) entre os ambientes inferiores (H2 e H3) dos dois protótipos podem ser atribuídas, principalmente, as distintas intensidades de incidência solar nas fachadas dos mesmos. O ambiente inferior (H2) do protótipo 1 recebe maior insolação (Figura 26) durante a maior parte do ano, de modo que o gradiente de sua temperatura interna foi mais alto do que o registrado no ambiente inferior (H3) do protótipo 2. Com relação à umidade relativa do ar, o ambiente inferior (H3) do protótipo 2 apresentou valores mais elevados, sempre em torno de 80%. O mesmo ocorreu para os diferentes turnos do dia e estações do ano, se mantendo sempre mais alta em todos os períodos.



Figura 26 – Exemplo de simulação da incidência da insolação nos protótipos feita com auxílio do software Skecthup (Fonte: Autor, 2018).

Com base nestas análises supracitadas, optou-se por delimitar o objeto de estudo apenas para os ambientes inferiores (H2 e H3) dos dois protótipos, sempre os comparando com os registros feitos no ambiente externo (H5). Além disso, o foco passou a ser então a umidade relativa do ar, buscando entender o comportamento higrométrico destes ambientes no decorrer dos meses seguintes (a partir de maio 2018). A análise comparativa sempre foi feita, utilizando dados do mesmo período do ano anterior. Também, foram utilizados dados da pluviosidade (mm) registrado numa base meteorológica em João Pessoa-PB, a fim de complementar o entendimento.

O comportamento padrão referente à redução da URar nos ambientes térreos dos dois protótipos está coerente com o esperado para a transição entre o período chuvoso e seco em João Pessoa-PB (maio a novembro), no qual a URar do ambiente externo, também, se reduz (Figura 27). Contudo, deve-se observar que há eventos combinados como potenciais influenciadores na redução da URar nos ambientes térreos dos dois protótipos (H2 e H3), quando se compararam os registros nos mesmos períodos, após realizar a impermeabilização dos pisos (no mês de agosto), dos dois anos, 2017 e 2018. Ou seja, a partir de agosto de 2018, se pode inferir que tenha ocorrido uma adicional redução

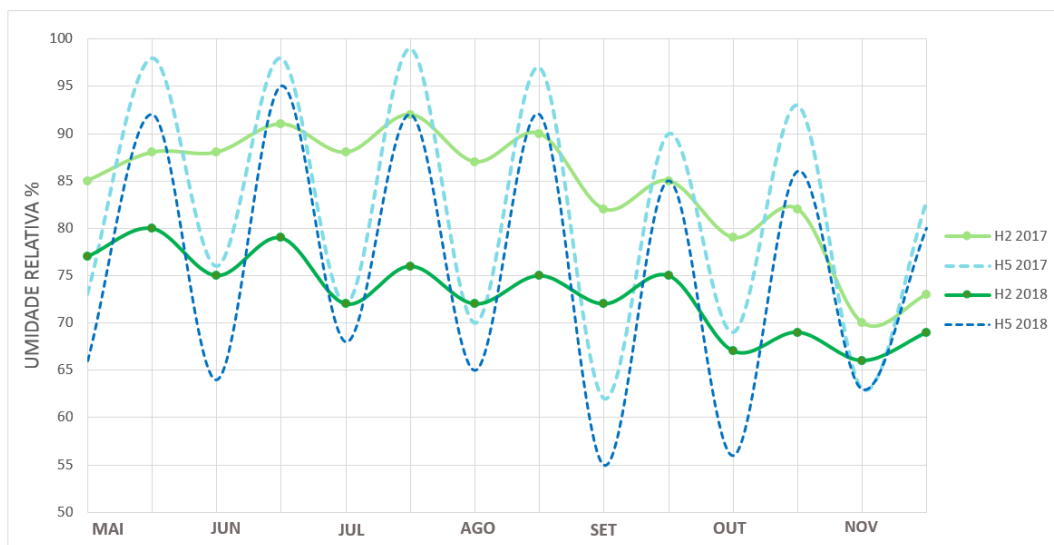
da URar interna, devido a eventual contribuição que seria proveniente do piso quando era apenas cimentado.

Além de a URar externa (H5) apresentar-se sempre menor em 2018 (sugere menor ocorrência de chuvas nas mesmas datas de medições/mês), pode-se ver que nos meses setembro e outubro de 2018 elas apresentaram as mais baixas URar (Figuras 27A e 27B), comparado aos demais registros, ou seja, coincide também com os meses imediatamente após serem realizadas as pinturas impermeabilizantes nos pisos dos ambientes térreos dos dois protótipos.

Cabe lembrar que a instalação de forro de gesso comum (executado com placas 60 cm x 60 cm), ocorrida apenas no térreo do protótipo 2 (a 25 cm de distância da laje nervurada) foi feita no mês de julho de 2018, o que certamente já teria influenciado na redução dos registros de URar pelo H3. Portanto, em que pese haver dificuldade para identificar se a pintura impermeabilizante teve influência nos resultados, é possível perceber que os valores mais baixos da URar tendem a ser mais próximos nos dois protótipos em novembro de 2018 (diferentemente de 2017), sugerindo que tal variável poder ter contribuído, pelo menos, para uniformizar os registros de UR nos dois ambientes internos comparados, quando associado à condição de baixa URar no ambiente externo.

A comparação entre os registros da variação da URar, no interior de cada protótipo, indica claramente que a URar aparece com tendência de crescimento, no período considerado (fevereiro/maio), apenas no protótipo 2, no qual teve aplicada (em janeiro de 2019), na superfície externa da parede do térreo, a pintura com a mucilagem de xique-xique (Figuras 28A e 28B). Isto é, a aplicação da resina comercial acrílica na superfície externa da parede do térreo do protótipo 1 parece ter criado um efeito de barreira à URar, na medida em que pode ter contribuído para dificultar a absorção da URar externa pelas paredes executadas com blocos de terra crua (BTC) e, dessa forma, ter menor influência na variação da URar internamente. Evidentemente, ainda não se pode concluir sobre o fenômeno, necessitando de adicionais ensaios, mais específicos, para investigar o caso, no prosseguimento das pesquisas.

A)



B)

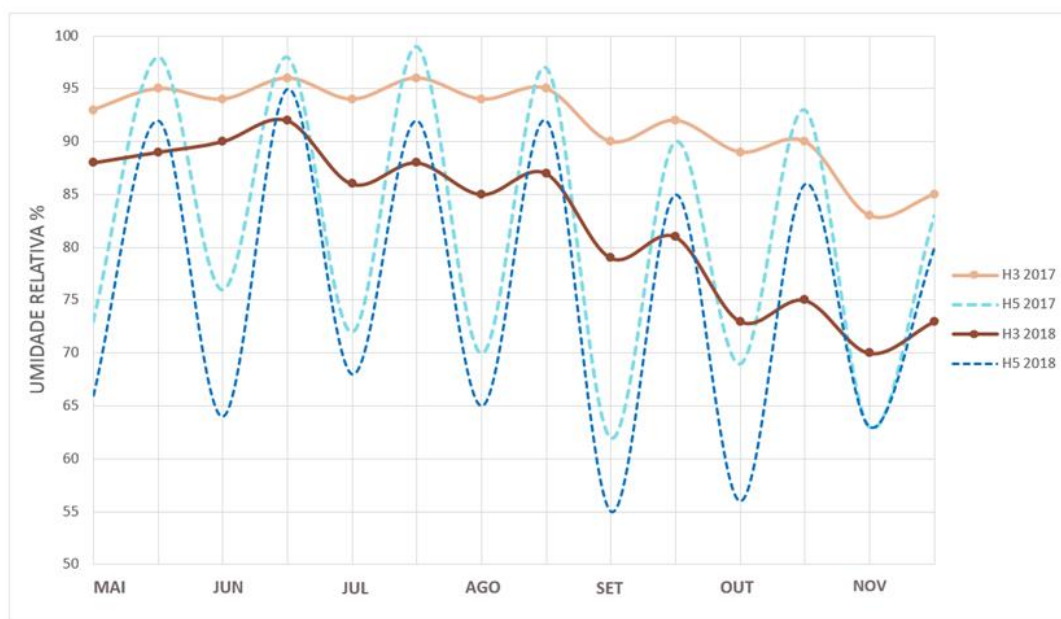
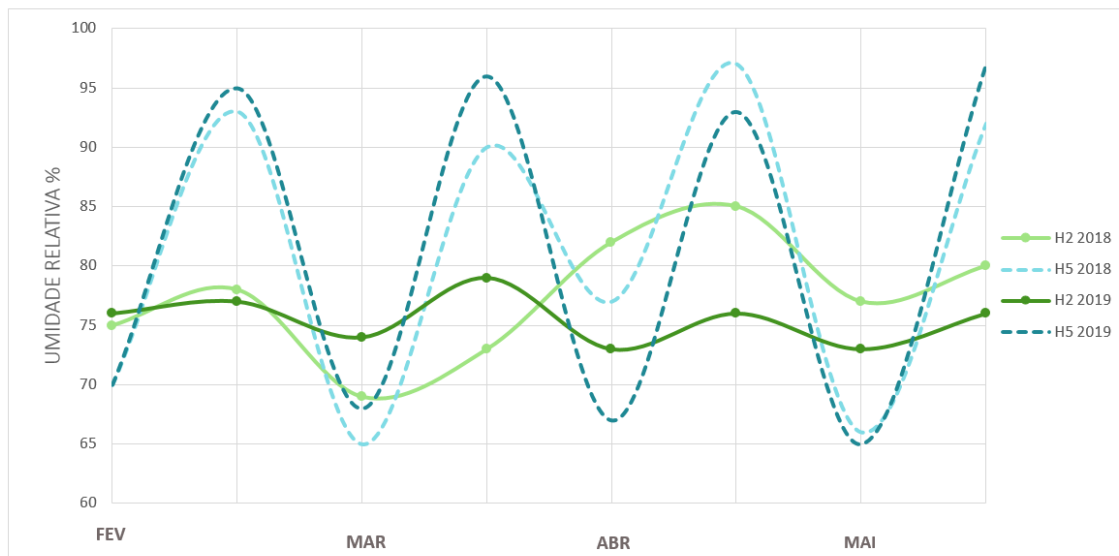


Figura 27 – Avaliação do efeito da impermeabilização dos pisos nos térreos dos dois protótipos, realizada em agosto de 2018. A) Protótipo 1; B) Protótipo 2.

A)



B)

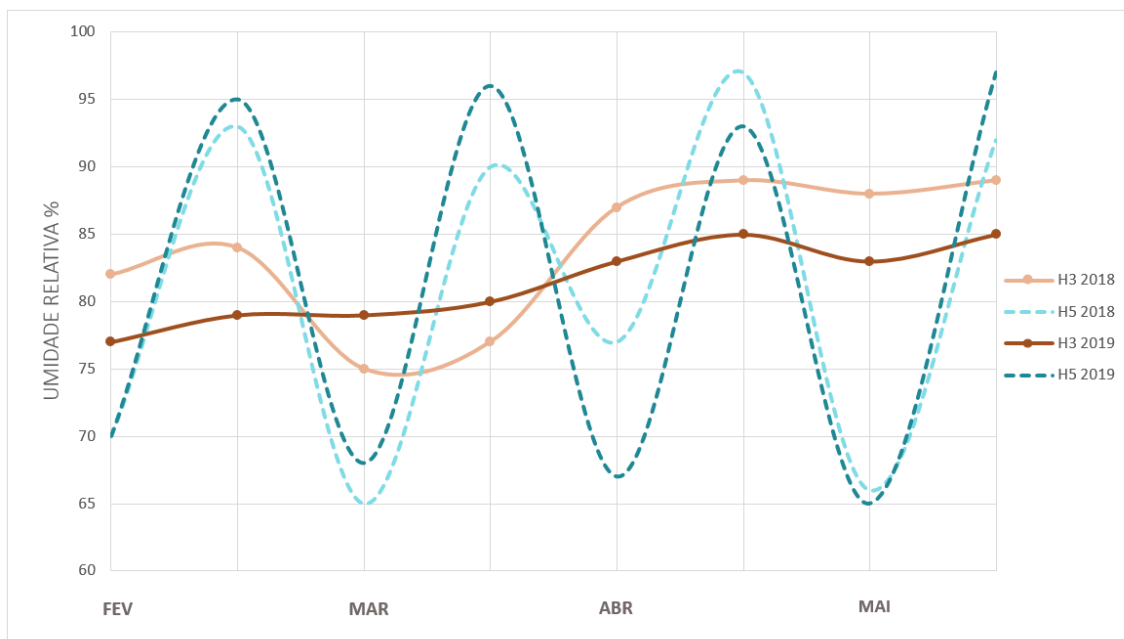


Figura 28 – Variação da URar após a pintura da impermeabilização dos pisos e a aplicação dos tratamentos superficiais diferentes nas fachadas em cada protótipo. A) Protótipo 1 com pintura de resina comercial na superfície externa no térreo; B) Protótipo 2 com pintura de xique-xique na superfície externa no térreo.

4.3 Envelhecimento acelerado das pinturas superficiais aplicadas em paredes de BTC

A avaliação do envelhecimento acelerado das pinturas superficiais testadas nas amostras pequenas paredes com BTC foi baseada na reprodução de ciclos alternados de molhagem e secagem. A primeira fase do ciclo corresponde ao aquecimento (calor) da amostra até a sua temperatura superficial alcançar 80 ± 3 °C, que teve duração de 60 minutos; em seguida a amostra permanece neste patamar de temperatura superficial por mais 60 minutos. A fase de resfriamento é realizada através da molhagem (choque térmico) da amostra até a redução da temperatura superficial para 27 ± 3 °C, que teve duração de 15 minutos. Dessa forma, cada ciclo teve duração de 135 minutos e, no total, os 10 ciclos contínuos de aquecimento e molhagem (calor e choque térmico) tiveram duração de 1350 minutos para cada amostra de pequena parede (Figura 29).

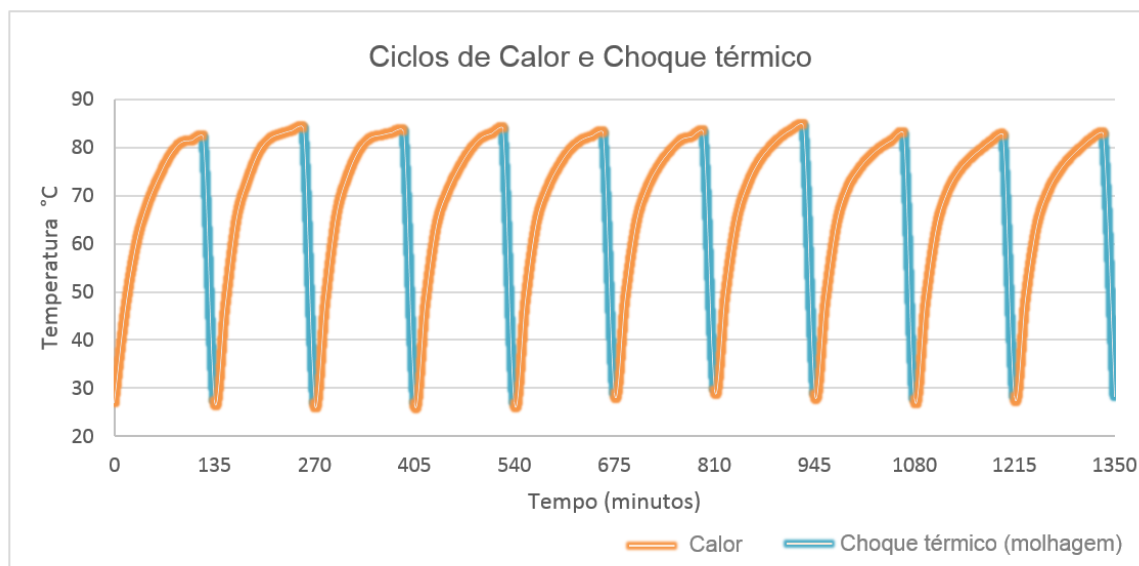
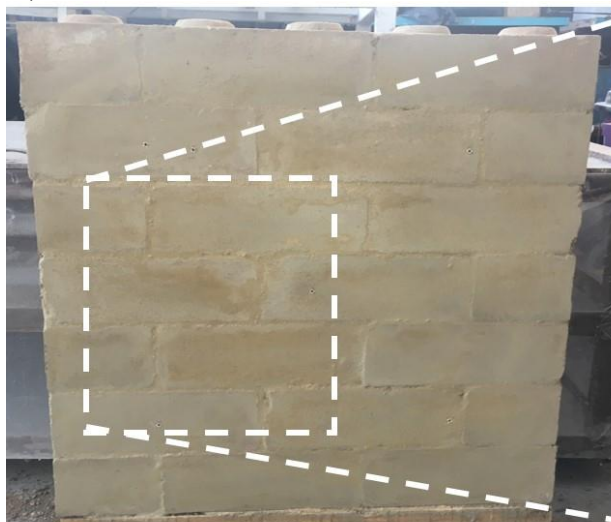


Figura 29 – Temperaturas superficiais das pequenas paredes de BTC nos 10 ciclos de calor e choque térmico.

Antes e após a realização dos referidos ensaios, foi feita uma análise visual e com registros fotográficos das superfícies das amostras pequenas paredes, a fim de identificar eventuais surgimentos de patologias, ou quaisquer alterações decorrentes dos 10 ciclos de ação do calor e choque térmico. Na Figura 30 estão apresentadas as imagens comparativas da pequena parede TC, antes (Figura 30A) e após o ensaio (Figura 30B). Observa-se um desgaste superficial localizado com aparecimento de manchas brancas (possivelmente

eflorescências), além de áreas mais escuras que indicam ter concentrações diferenciadas de teor de umidade, devido à água absorvida pelos blocos de BTC da amostra TC.

A)



B)



Figura 30 – Pequena parede TC – Tratamento Controle. A) Antes do ensaio; B) Após o ensaio; Imagens com detalhes ampliados no lado direito.

Na Figura 31, estão apresentadas as imagens comparativas da pequena parede (TR), na qual foi aplicada a pintura com resina comercial acrílica, sendo as imagens antes do ensaio na Figura 31A e após o ensaio na Figura 31B. Pode se observar que, apesar de seguidas as instruções de aplicação fornecidas pelo fabricante da resina, uma patologia surgiu no referido sistema de proteção superficial após o ensaio, visto que ocorreu o surgimento de bolhas em diversos pontos da pequena parede, o que deve comprometer a

durabilidade da proteção superficial. Por outro lado, é perceptível como a aparência em termos de cor da pequena parede TR, após o ensaio, é mais homogênea comparado à imagem da TC, o que sugere que TR teve uma absorção de água mais uniforme em toda a sua superfície.

A)



B)



Figura 31 – Pequena parede TR – Tratamento com pintura com resina comercial acrílica. A) Antes do ensaio com detalhe ampliado ao lado; B) Após o ensaio com detalhe ampliado ao lado.

Na Figura 32, são apresentadas as imagens comparativas da pequena parede TX, na qual foi aplicada a pintura com mucilagem de xique-xique. A Figura 32A as imagens são de antes do ensaio de calor e choque térmico, e as imagens após o referido ensaio

aparecem na Figura 32B. Observa-se também o surgimento de algumas manchas esbranquiçadas, porém é notável como esta amostra (TX) parece ter um comportamento intermediário entre as duas anteriores (TC e TR), sendo possível identificar menores pontos de concentração de umidade, marcadas pelas manchas escuras. O resultado sugere que, neste caso, pode ser necessária a aplicação de um maior número de demãos com a pintura de mucilagem de xique-xique para melhorar sua eficiência na proteção da superfície do BTC em relação à absorção de água. Destaca-se ainda que praticamente não houve formação de bolhas, como aquelas vistas na amostra TR. Assim, o potencial da aplicação do tratamento com a pintura da mucilagem do xique-xique em paredes executadas com BTC parece ser factível, inclusive contando com a possibilidade de proporcionar durabilidade ao sistema de proteção superficial.

A)



B)



Figura 32 – Pequena parede TX – Tratamento com pintura de mucilagem de xique-xique. A) Antes do ensaio com detalhe ampliado ao lado; B) Após o ensaio com detalhe ampliado ao lado.

No termograma apresentado na Figura 34B é possível perceber as diferentes temperaturas e manchas de umidades superficiais entre as três pequenas paredes, sendo as amostras TX, TC e TR fotografadas com 1 dia, com 2 dias e com 3 dias, após encerrados os respectivos ensaios de calor e choque térmico. As amostras TX e TR apresentam temperaturas superficiais semelhantes, mas TX parece estar um pouco menos úmida, o que sugere esta ter absorvido menos água, ou mesmo já perdido a pouca umidade acumulada durante o ensaio. Deve-se destacar os diferentes tempos de espera de cada amostra, após a finalização do ensaio, para se realizar a imagem termográfica. A amostra TC, mesmo depois de 2 dias do encerramento do ensaio, ainda se apresenta bastante úmida.

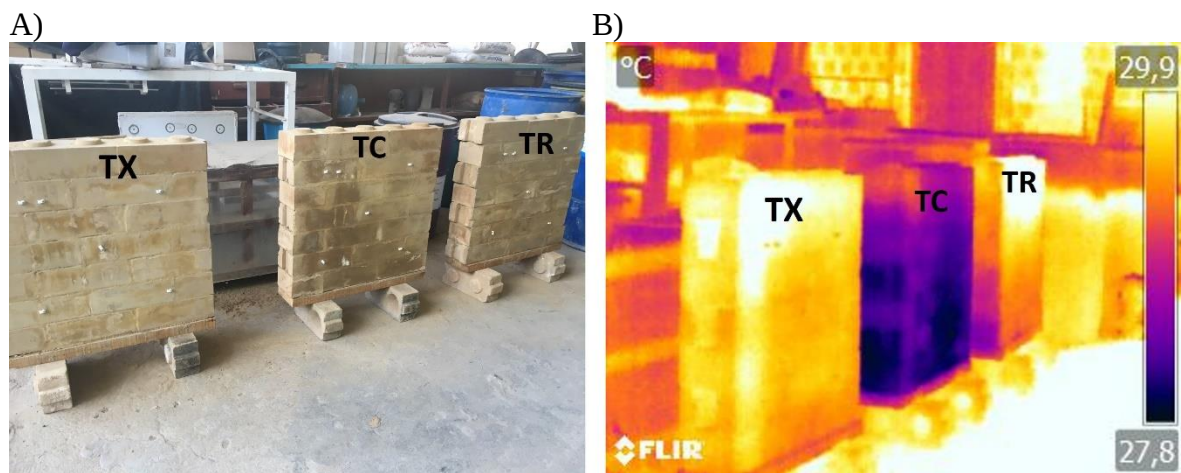


Figura 33 – Pequenas Paredes TX, TC e TR A) Imagem; B) Termograma.

5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Com base no estudo realizado e na análise possível dos resultados alcançados durante a fase experimental, conclui-se que:

- Em relação às variáveis físico-químicas da mucilagem obtida a partir de diferentes proporções (cacto: água), a menor incorporação de água (1:1) utilizada promoveu um menor teor de umidade e, consequentemente, maior valor de carboidratos, com efeito na viscosidade e na cor. A maior viscosidade alcançada permite uma melhor trabalhabilidade e eficiência da aplicação do produto como pintura, em comparação com a dosagem 1:2, que apresenta consistência mais líquida.
- A permeabilidade ao vapor d'água foi menor nas amostras que receberam o tratamento com resina acrílica (TR), o que confirma a criação uma barreira superficial no BTC, diminuindo a sua capacidade de “respirar”.
- As amostras com aplicação de pintura com mucilagem de xique-xique (TX1: 1) mostraram que há possibilidade de reduzir em até 8% o efeito de barreira ao vapor d'água do ambiente na superfície do BTC, preservando melhor a sua capacidade de “respirar”.
- Em relação à absorção de água por capilaridade pelas amostras de BTC, aquelas nas quais foram aplicadas pinturas com mucilagem de xique-xique na dosagem mais concentrada (TX1: 1) apresentaram um comportamento mais próximo ao obtido pelas amostras com a resina comercial acrílica impermeabilizante (TR). A desejada proteção superficial do material (BTC), em relação ao contato com a água, parece ser da mesma ordem de grandeza para ambos tipos de pinturas aqui comparados, confirmando o potencial de ambas como sistema de proteção superficial de parede externa, executada com BTC, frente à incidência de chuvas.
- Os resultados confirmaram que, a pintura com mucilagem de xique-xique (TX1: 1) sobre o BTC se mostrou mais adequada, visando combinar a redução da absorção de água por capilaridade, sem redução significativa da higroscopicidade do material BTC.
- A aplicação da resina comercial acrílica na superfície externa da parede executada com BTC parece ter contribuído para dificultar a absorção da URar

externa pelas paredes e, dessa forma, ter influenciado menos na variação da URar no ambiente interno ao protótipo. O interessante é que há indícios de que a pintura das paredes de BTC com mucilagem de xique-xique não parece produzir o mesmo efeito.

- O potencial da aplicação do tratamento com a pintura da mucilagem do xique-xique em paredes executadas com BTC parece ser factível, inclusive contando com a possibilidade de proporcionar durabilidade ao sistema de proteção superficial.

Prosseguimento das pesquisas

Como recomendações para estudos futuros sugerem-se:

- Realização de ensaios visando aumentar a concentração dos compostos que compõem a mucilagem de xique-xique para avaliação de sua eficiência;
- Investigação das características microbiológicas da mucilagem ao longo do tempo de exposição, a fim de verificar se há algum desenvolvimento de micro-organismos; bem como realizar a caracterização dos componentes químicos, com ênfase no perfil de açúcares e de minerais;
- Realização ensaios de microscopia eletrônica de varredura e/ou microscopia ótica, com a finalidade de avaliar a interação entre o biopolímero e a matriz (terra crua), sobretudo, o comportamento e penetração da mucilagem nos corpos de prova, se há formação de filme, cristais, etc.;
- Avaliação da utilização da mucilagem do xique-xique incorporada na matriz dos blocos BTC, levando em consideração a resistência à compressão, e demais parâmetros mecânicos e físicos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACHENZA, M. E.; FENU, L. On earth stabilization with natural polymers for earth masonry construction. *Materials and Structures*, v. 39, p. 21-27, RILEM, 2006.
- AGRA, M. F. *et al.* Survey of medicinal plants used in the region Northeast of Brazil. *Brazilian Journal of Pharmacology*, v. 18, n. 3, p. 472-508, 2008.
- ALBUQUERQUE, U. P. *et al.* Medicinal plants of the caatinga (semi-arid) vegetation of NE Brazil: a quantitative approach. *Journal of Ethnopharmacology*, v. 114, n. 3, p. 325-354, 2007.
- ALMEIDA, C. A. *et al.* Características físicas e químicas da polpa do xique-xique. *Revista Ciência Agronômica*, v. 38, n. 4, p. 440-443, 2007.
- 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.
- AOAC – Association Of Official Analytical Chemists. *Official Methods of Analysis*. 19 th ed, Washington D.C USA, 2012.
- ARANDA-JIMÉNEZ, Y. G.; E. J. SUÁREZ-DOMÍNGUEZ. Efecto de la impermeabilidad del mucílago de Nopal en bloques de tierra comprimidos. *Revista Electrónica Nova Scientia*, n. 11, v. 6, p. 312-323, 2013.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15575-4. *Edificações habitacionais — Desempenho. Parte 4; Requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas — SVVIE*. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.
- AUROVILLE EARTH INSTITUTE. Stabilised Earth Waterproofing, Auroville Earth Institute UNESCO Chair Earth Architecture - Representative for Asia, Auroville, India. Disponível em http://www.earth-auroville.com/about_us_en.php. Acesso em fev 2018.
- AZEREDO, G. *et al.* Comportamento Estrutural de Alvenarias Construídas com Blocos de Terra Compactados (BTC). In: *Avaliação de desempenho de tecnologias construtivas inovadoras: materiais e sustentabilidade*. Porto Alegre: ANTAC, 2016. p. 271-294.
- AZEVEDO, J. M. C. B. *Absorção por Capilaridade de Soluções Aquosas Salinas em Materiais Porosos*. 2013 Dissertação (Faculdade de Engenharia, Curso de Mestrado – Especialização em Construções) Universidade do Porto, Portugal, 2013.
- BARBOSA, H. P. *Tabela de composição de alimentos do Estado da Paraíba: setor agropecuário*, 2. ed. João Pessoa: UFPB, 1998. 221 p.
- BARBOSA, N. P., GHAVAMI, K., *Terra Crua para Edificações. Materiais de Construção Civil e princípios da Engenharia de Materiais*. 1. ed. São Paulo. IBRACON, 2007, v. 2, p. 1505-1538.

BASIN & PRATICAL ACTION, MUD PLASTERS AND RENDERS. BASIN - Building Advisory Service and Information Network, Appropriate Technology magazine Volume 26/Number 1 Junho de 1999 ATBrief n.28, Editado por Practical Action Publishing The Schumacher Centre for Technology & Development, 2002. Disponível em <http://www.worldwidehelpers.org/wwhweb/uploads/files/Mud%20Plasters%20and%20Renders.pdf>. Acesso em fev 2018.

BEAS, M. I. G., *Traditional architectural renders on earthen surfaces*, Dissertação de mestrado em Ciência, em Preservação Histórica, University of Pennsylvania, 1991.

BEZERRIL, F. F. *Caracterização nutricional do xique-xique (Pilosocereus gounellei (A. Weber ex. K. Wchum.) Bly. ex Rowl.) e sua utilização no processamento de geleia*. 2017, 66f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Universidade Federal da Paraíba, 2017.

BROWNE, G. Stabilised interlocking rammed earth blocks: alternatives to cement stabilisation, *Proceedings.... 11th International Conference on Non-conventional Materials and Technologies (NOCMAT 2009)* 6-9, Bath, UK, Setembro, 2009.

CAGNON, H. *et al.* Hygrothermal properties of earth bricks. *Energy and Buildings*, v. 80, p. 208-217, 2014.

ČECHOVÁ, E. *The effect of linseed oil on the properties of lime-based restoration mortars*, Doutorado em Ciência para a Conservação, Universidade de Bolonha, 2009. Disponível em <https://core.ac.uk/download/pdf/11012440.pdf>. Acesso em fev 2018.

CHANDRA, S.; EKLUND, L.; VILLARREAL, R. R. Use of Cactus in Mortars and Concrete. *Cement and Concrete Research*, v. 28, n. 1, p. 41-51, 1998.

CHIAPPERO R. O.; SUPISICHE M. C. *Arquitectura de tierra: breves consideraciones sobre la conservación y restauración*. Nobuko ed. Argentina, 2006.

COLONETTI, V. C. *Caracterização da mucilagem do fruto e cladódio de Cereus hildmaniannus K. Schum.* Dissertação. 82 f. (Mestrado Engenharia Química) - Universidade federal de Santa Catarina, 2012.

CONTRERAS-PADILLA, M. *et al.* Physicochemical and rheological characterization of *Opuntia ficus* mucilage at three different maturity stages of cladode. *European Polymer Journal*, v.78, p. 226–234, 2016.

CORBELLA, O. *Em busca de uma arquitetura sustentável para os trópicos: Conforto ambiental*. 2 ed. Rio de Janeiro: Revan, 2009, 308p.

CPNT - Consejo de Promocion de Nopal y Tuna, Usos y Aplicaciones del Nopal, Disponível em <http://www.cpnt.org.mx>. Acesso em fev 2018.

DOVE, C. A.; BRADLEY, F. F.; PATWARDHAN, S. V. Seaweed biopolymers as additives for unfired clay bricks. *Materials and Structures/Materiaux et Constructions*, v. 49, n. 11, p. 4463–4482, 2016.

DUBOIS, M., *et al.* Colorimetric method for determination of sugars and related substances, *Analytical Chemistry*, v. 28, n. 3, p. 350-356. 1956

EIRES, R. M. G. *Construção em Terra : Desempenho melhorado com incorporação de biopolímeros*. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Escola de Engenharia, Universidade do Minho, Portugal, 2012.

EIRES, R.; CAMÕES, A.; JALALI, S. Materiais e técnicas antigas para melhorar a durabilidade dos edifícios em terra. In: Congresso Luso-Brasileiro de Materiais de Construção Sustentáveis, *Anais...* Congresso Luso-Brasileiro de Materiais de Construção Sustentáveis, 2014, Guimarães, Portugal.

FABBRI, A. *et al.* Analysis of the water absorption test to assess the intrinsic permeability of earthen materials. *Construction and Building Materials*, v. 199, p. 154-162, 2019.

FATHY, H. *Arquitetura para os pobres – Uma experiência no Egito rural*. 1ª ed. Editora Dinalivro, 2009.

GALÁN-MARÍN, C.; RIVERA-GÓMEZ, C.; PETRIC, J. Clay-based composite stabilized with natural polymer and fibre. *Construction and Building Materials*, v. 24, p. 1462-1468, 2010.

GREENSPAN, L. Humidity Fixed Points of Binary Saturated Aqueous Solutions. v. 81, n. 1, 1977.

GUILLEN, J. *et al.* Study of the properties of the Echerhirhu-Block made with Opuntia ficus mucilage for use in the construction industry. *Case Studies in Construction Materials*, v. 10, n. 2018, 2019.

GUERRERO, R. E. L. *Escolhas sustentáveis em sistemas de vedação: construção de uma métrica de avaliação relativa*. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Universidade Federal da Paraíba, 2016.

HEATHCOTE, K. A. Durability of earth wall buildings. *Construction and Building*, v. 9, n. 3, p. 185-189, 1995.

HEATHCOTE, K. A. *An investigation into the erodibility of earth wall units*. Thesis. University of Technology Sydney. 2002. Disponível em: <https://opus.lib.uts.edu.au/bitstream/10453/20153/2019/01Front.pdf>. Acesso em mar 2017.

HERNÁNDEZ-ZARAGOZA, J. B. *et al.* 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.

HUGHES, J.; RAMOS, G.; MOYNA, P. Main components in *Cereus peruvianusepicuticular* wax. *Journal of Natural Products*, v. 43, n. 5, p. 564-566, 1980.

INGLESE, P. *et al.* *Crop ecology, cultivation and uses of cactus pear*. Rome. Italy: FAO, 2017.

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

KEBAO, R.; KAGI, D. Integral admixtures and surface treatments for modern earth buildings. *Modern Earth Buildings*, p. 256-281, 2012.

- KIESLING, R. Cactaceas de la Argentina Promisorias Agronomicamente. *Journal of the Professional Association for Cactus Development*, v. 4, p. 11-14, 2001.
- LABOREL-PRÉNERON, A.; MAGNIONT, C.; AUBERT, J. E. Hygrothermal properties of unfired earth bricks: Effect of barley straw, hemp shiv and corn cob addition. *Energy and Buildings*, v. 178, p. 265-278, 2018.
- LABOREL-PRÉNERON, A. *et al.* Plant aggregates and fibers in earth construction materials: A review. *Construction and Building Materials*, v. 111, p. 719-734, 2016.
- LENGEN, J. V. *Manual do Arquiteto Descalço*. Porto Alegre: Livraria do Arquiteto, 2004.
- LEÓN-MARTÍNEZ, F.M.; MÉNDEZ-LAGUNAS L.L.; RODRÍGUEZ-RAMÍREZ, J., Spray drying of nopal mucilage (*Opuntia ficus-indica*): effects on poder properties and characterization, *Carbohydrates Polymers*, v. 81, p. 864-870, 2011.
- LUCENA, C. M. *et al.* Conhecimento botânico tradicional sobre cactáceas no semiárido do Brasil. *Gaia Scientia*, v. 9, n. 2, p. 77-90, 2015.
- LUCENA, C. M. *et al.* Conhecimento local sobre cactáceas em comunidades rurais na mesorregião do sertão da Paraíba (Nordeste, Brasil). *Biotemas*, v. 25, n. 3, p. 281-291, 2012.
- MAGALHÃES, A. C. V.; ALMEIDA, J. G. O uso da mucilagem de cacto em pastas de gesso: efeitos na absorção de água e na resistência à flexão estática. *Ambiente Construído*, v. 10, n. 1, p. 139-151, 2010.
- MAIA, L. R. *Contribuição às construções em terra comprimida e influência no conforto*. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, 2016.
- MARTÍNEZ-CAMACHO, F. *et al.* Texture of nopal treated adobe: restoring Nuestra Señora del Pilar mission, *Journal of Archaeological Science*, 35, 1125-1133, 2008.
- MELO, A. B. *et al.* Desempenho estrutural de protótipo de alvenaria construída com blocos de terra crua estabilizada. *Ambiente Construído*, v. 11, n. 2, p. 111-124, 2011.
- MINKE, G. *Manual De Construccion En Tierra: la tierra como material de construcción y su aplicación en la arquitectura actual*, 2001.
- MINKE, G. *Building with earth – 30 years of research and development at the university of kassel*, CESB 07 PRAGUE Conference, Session T1A, 2007.
- MINKE, G. *Earth construction handbook: The building material earth in modern architecture*. [S.I.] 2000.
- MONTEIRO, E. R. *et al.* Genetic diversity and structure of populations in *Pilosocereus gounellei* (F.A.C.Weber ex K.Schum.) (Cactaceae) in the Caatinga biome as revealed by heterologous microsatellite primers. *Biochemical Systematics and Ecology*, v. 58, n. 1, p. 7-12, 2015.

MOREL, J. C. *et al.* Some observations about the paper “Earth construction: Lessons from the past for future eco-efficient construction” by F. Pacheco-Torgal and S. Jalali. *Construction and Building Materials*, v. 44, p. 419-421, 2013.

MOREL, J.; CHAREF, R. What are the barriers affecting the use of earth as a modern construction material in the context of circular economy? *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, v. 225, p. 012053, 2019.

MURMU, A. L.; PATEL, A. Towards sustainable bricks production: An overview. *Construction and Building Materials*, v. 165, p. 112-125, 2018.

NAKAMATSU, J. *et al.* Eco-friendly modification of earthen construction with carrageenan: Water durability and mechanical assessment. *Construction and Building Materials*, v. 139, p. 193-202, 2017.

NASCIMENTO, V. T. *et al.* Famine foods of Brazil’s seasonal dry forests: Ethnobotanical and Nutritional Aspects. *Economic Botany*, v. 66, n.1, p. 22-34, 2012.

NIROUMAND, H.; ZAIN, M. F. M.; JAMIL, M. A guideline for assessing of critical parameters on Earth architecture and Earth buildings as a sustainable architecture in various countries. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 28, p. 130-165, 2013.

PACHECO-TORGAL, F.; SAIDJALALI, A. Earth construction: Lessons from the past for future eco-efficient construction. *Construction and Building Materials*, v. 29, p. 512-519, 2012.

PORTER, H. *et al.* Rammed earth blocks with improved multifunctional performance. *Cement and Concrete Composites*, v. 92, n. April, p. 36-46, 2018.

RILEM TC 25-PEM Recommended tests to measure the deterioration of stone and to assess the effectiveness of treatment methods. *Materials and Structures*, v. 13, p. 204-209, 1980.

ROQUE, A. A.; ROCHA, R. M.; LOIOLA, M. I. B. Uso e diversidade de plantas medicinais da Caatinga na comunidade rural de Laginhas, município de Caicó, Rio Grande do Norte (nordeste do Brasil). *Revista Brasileira de Plantas Medicinais*, v. 12, n. 1, p. 31-42, 2010.

SÁENZ, C. *et al.* *Opuntias as a natural resource. Agro-industrial utilization of cactus pear*. Rome: FAO. Cap. 1, pp. 1-5. 2013.

SÁENZ, C.; SEPÚLVEDA, E.; MATSUHIRO, B. Opuntia spp mucilage’s: a functional component with industrial perspectives. *Journal of Arid Environments*, v. 57, n. 3, p. 275-290. 2004.

SATTLER, M. A.; PEREIRA, F. O. R. *Coletânea Habitar - Construção e Meio Ambiente*. 7. ed. Porto Alegre: ANTAC, 2006.

SAWITZKI, R. L. *Argamassas históricas no município de Piratini, Rio Grande do Sul: sua composição e a comprovação dos benefícios da adição da mucilagem dos cactos Cereus hildmaniannus em sua composição*. 1v. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Faculdade de Arquitetura, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2002.

SAWITZKI, R. L. O estudo da adição da mucilagem de catos às argamassas no município de Piratini - Rio Grande do Sul, ARC - Revista Brasileira de Arqueometria Restauração Conservação, Edição Especial, Nº 1, março 2006, AERPA Editora. *Anais.... III Simpósio de Técnicas Avançadas em Conservação de Bens Culturais – Olinda*, 2006.

SCUSSEL, M. C. B. S.; SATTTLER, M. A. Cidades em (trans)formação: impacto da verticalização e densificação na qualidade do espaço residencial. *Ambiente Construído*, v. 10, n. 3, p. 137-150, 2010.

SORIA, P.T. *et al.* La baba y el mucílago de nopal, una alternativa natural para la conservación de acabados arquitectónicos de tierra. *Antropología. Boletín Oficial del Instituto Nacional de Antropología e Historia*, n. 99, 2015.

TOURÉ, P. M. *et al.* Mechanical and hygrothermal properties of compressed stabilized earth bricks (CSEB). *Journal of Building Engineering*, v. 13, n. August, p. 266-271, 2017.

VARES O. *et al.* Determination of hygrothermal performance of clay-sand plaster: influence of covering on sorption and water vapour permeability, *Energy Procedia*, v. 132, p.267-272, 2017.

VARGAS-RODRÍGUEZ, L. *et al.* Propiedades físicas del mucílago de nopal. *Acta Universitaria*, v. 26, p. 8–11, 2016.

APÊNDICES

APÊNDICE A – RESULTADOS (ACRÉSCIMO DE MASSA DAS AMOSTRAS CÚBICAS) AO DECORRER DO ENSAIO DE ABORÇÃO DE ÁGUA POR CAPILARIDADE

AMOSTRAS	Massa inicial (g)	acrécimo de massa após 2 min	acrécimo de massa após 3 min	acrécimo de massa após 5 min	acrécimo de massa após 10 min	acrécimo de massa após 15 min	acrécimo de massa após 30 min	acrécimo de massa após 60 min	acrécimo de massa após 8 horas	acrécimo de massa após 24 horas
C1	167,38	0,26	0,46	0,62	0,80	1,00	1,31	1,43	1,61	1,62
C2	195,12	0,58	0,99	1,36	1,62	1,64	1,68	1,63	1,66	1,73
C3	200,07	0,20	0,41	0,60	0,78	0,94	1,18	1,25	1,38	1,42
C4	193,55	0,11	0,27	0,39	0,50	0,62	0,79	0,86	1,31	1,32
R1	239,44	0,01	0,03	0,05	0,08	0,10	0,15	0,17	0,48	0,98
R2	175,31	0,01	0,03	0,05	0,09	0,12	0,19	0,37	0,56	1,00
R3	236,82	0,02	0,04	0,06	0,10	0,13	0,21	0,24	0,67	1,33
R4	199,15	0,02	0,06	0,09	0,14	0,20	0,33	0,38	1,12	1,42
X1:1i 1	208,49	0,12	0,26	0,41	0,62	0,87	1,42	1,61	1,74	1,77
X1:1i 2	218,22	0,12	0,29	0,50	0,76	1,03	1,45	1,55	1,64	1,66
X1:1i 3	271,88	0,06	0,15	0,23	0,34	0,45	0,69	0,76	1,39	1,40
X1:1i 4	239,86	0,08	0,23	0,37	0,52	0,65	0,93	1,05	1,25	1,30
X1:1 1	275,13	0,08	0,16	0,22	0,29	0,35	0,46	0,51	0,93	1,31
X1:1 2	265,63	0,05	0,12	0,18	0,25	0,33	0,52	0,58	1,31	1,52
X1:1 3	279,81	0,10	0,27	0,43	0,67	0,88	1,26	1,33	1,52	1,55
X1:1 4	305,72	0,13	0,45	0,78	1,17	1,46	1,49	1,50	1,52	1,52
X1:2 1	297,7	0,11	0,24	0,36	0,51	0,64	0,95	1,05	1,49	1,52
X1:2 2	313,36	0,09	0,17	0,25	0,32	0,44	0,51	0,55	0,93	1,34
X1:2 3	287,13	0,14	0,34	0,54	0,76	0,94	1,18	1,18	1,18	1,22
X1:2 4	266,39	0,14	0,46	0,77	1,16	1,41	1,43	1,42	1,43	1,44

APÊNDICE B – RESULTADOS (MASSAS DAS AMOSTRAS CÚBICAS) AO DECORRER DO ENSAIO DE ABORÇÃO DE ÁGUA POR CAPILARIDADE E ÁREA DA BASE DAS AMOSTRAS

AMOSTRAS	Massa inicial (g)	2 min (g)	3 min (g)	5 min (g)	10 min (g)	15 min (g)	30 min (g)	60 min (g)	8 horas (g)	24 horas (g)	a	b	Área amostras (a X b)
C1	167,38	172,09	175,61	178,60	181,84	185,40	191,00	193,05	196,31	196,48	4,50	4,00	18,00
C2	195,12	209,74	219,95	229,22	235,64	236,10	237,00	235,84	236,65	238,45	5,00	5,00	25,00
C3	200,07	204,09	208,36	212,31	215,89	219,20	224,00	225,40	228,03	228,78	4,50	4,50	20,25
C4	193,55	196,04	199,52	202,25	204,88	207,60	211,33	212,80	222,99	223,14	5,00	4,50	22,50
R1	239,44	239,81	240,17	240,60	241,41	242,00	243,25	243,65	251,45	264,05	5,00	5,00	25,00
R2	175,31	175,75	176,26	176,94	177,96	178,93	181,00	186,61	192,15	205,48	5,50	5,50	30,25
R3	236,82	237,20	237,86	238,34	239,28	240,08	242,12	242,90	253,69	270,12	5,00	5,00	25,00
R4	199,15	199,77	200,67	201,45	202,64	204,25	207,50	208,71	227,14	234,62	5,00	5,00	25,00
X1:1i 1	208,49	211,53	215,05	218,68	224,00	230,20	244,00	248,62	252,10	252,71	5,00	5,00	25,00
X1:1i 2	218,22	221,40	226,20	231,97	239,00	246,60	258,00	260,87	263,40	263,80	5,00	5,50	27,50
X1:1i 3	271,88	273,76	276,40	279,00	282,40	285,80	292,97	295,20	314,60	315,06	5,80	5,30	30,74
X1:1i 4	239,86	241,88	245,73	249,19	252,80	256,20	263,00	266,12	271,00	272,36	5,00	5,00	25,00
X1:1 1	275,13	277,41	279,90	281,80	283,90	285,60	289,00	290,30	303,10	314,40	6,00	5,00	30,00
X1:1 2	265,63	266,96	268,88	270,53	272,50	274,80	280,00	281,70	301,53	307,40	5,50	5,00	27,50
X1:1 3	279,81	282,78	287,87	292,70	300,18	306,50	317,85	319,90	325,93	326,60	5,50	5,50	30,25
X1:1 4	305,72	310,02	320,12	330,64	343,00	352,30	353,40	353,66	354,27	354,34	5,50	5,80	31,90
X1:2 1	297,70	301,16	305,26	309,20	313,84	318,15	328,00	331,00	345,20	346,10	6,00	5,30	31,80
X1:2 2	313,36	316,39	319,00	321,49	323,82	328,00	330,20	331,40	344,19	357,60	6,00	5,50	33,00
X1:2 3	287,13	291,84	298,36	304,82	312,05	318,00	326,10	326,00	326,11	327,36	6,00	5,50	33,00
X1:2 4	266,39	270,70	280,10	289,61	301,20	308,80	309,18	308,90	309,37	309,60	6,00	5,00	30,00

APÊNDICE C – RESULTADOS (MASSA DAS AMOSTRAS CÚBICAS) AO DECORRER DO ENSAIO DE PERMEABILIDADE AO VAPOR D'ÁGUA - COMPORTAMENTO HIGROTÉRMICO

		06/08/2018	ciclo 24hs	ciclo 24hs	ciclo 24hs	ciclo 24hs
			30% U.R. - 32 °C TEMP.	80% U.R. - 20 °C TEMP.	30% U.R. - 32 °C TEMP.	80% U.R. - 20 °C TEMP.
AMOSTRAS	MASSA INICIAL(g)	MASSA APÓS 1ºCICLO	MASSA APÓS 2ºCICLO	MASSA APÓS 3ºCICLO	MASSA APÓS 4ºCICLO	
CONTROLE	C1	167,84	167,51	168,06	167,53	168,15
	C2	195,77	195,28	195,91	195,27	195,93
	C3	200,52	200,18	200,75	200,22	200,77
	C4	193,98	193,68	194,36	193,73	194,33
RESINA COMERCIAL	R1	240,06	239,56	239,99	239,59	239,91
	R2	175,96	175,50	175,85	175,44	175,87
	R3	237,30	236,87	237,26	236,96	237,22
	R4	199,51	199,16	199,53	199,16	199,43
XIQUE XIQUE 1:1 IMERSO	X1:1i 1	209,32	208,75	209,56	208,81	209,55
	X1:1i 2	219,01	218,49	219,20	218,47	219,32
	X1:1i 3	272,41	271,92	272,64	272,02	272,66
	X1:1i 4	240,41	239,98	240,68	240,01	240,62
XIQUE XIQUE 1:1	X1:1 1	275,99	275,35	276,08	275,38	276,05
	X1:1 2	266,47	265,89	266,52	265,85	266,52
	X1:1 3	280,40	279,93	280,66	279,95	280,67
	X1:1 4	306,30	305,84	306,73	305,92	306,71
XIQUE XIQUE 1:2	X1:2 1	298,69	298,08	298,86	298,09	298,83
	X1:2 2	314,24	313,59	314,26	313,50	314,26
	X1:2 3	287,79	287,32	287,95	287,43	288,07
	X1:2 4	267,00	266,64	267,41	266,67	267,35

ANEXO

ANEXO A – DOCUMENTO EMITIDO PELO INPI (INSTITUTO NACIONAL DE PROPRIEDADE INDUSTRIAL) RELATIVO AO DEPÓSITO DE PATENTE – PROCESSO E PRODUTO IMPERMEABILIZANTE À BASE DE MUCILAGEM DE CACTO



22/04/2019 870190037832
10 21
29409161903904217

Pedido nacional de Invenção, Modelo de Utilidade, Certificado de Adição de Invenção e entrada na fase nacional do PCT

Número do Processo: BR 10 2019 008108 2

Dados do Depositante (71)

Depositante 1 de 1

Nome ou Razão Social: UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAIBA

Tipo de Pessoa: Pessoa Jurídica

CPF/CNPJ: 24058477000110

Nacionalidade: Brasileira

Qualificação Jurídica: Instituição de Ensino e Pesquisa

Endereço: Cidade Universitária

Cidade: João Pessoa

Estado: PB

CEP: 58059-900

País: Brasil

Telefone: (83) 32167558

Fax:

Email: inova@reitoria.ufpb.br

Dados do Pedido

Natureza Patente: 10 - Patente de Invenção (PI)

Título da Invenção ou Modelo de Utilidade (54): PROCESSO E PRODUTO IMPERMEABILIZANTE À BASE DE MUCILAGEM DE CACTO

Resumo:

A presente invenção se insere no campo da tecnologia de materiais de construção civil e refere-se a um processo e produto impermeabilizante, obtido a partir da mucilagem de cacto da espécie xique xique (*Pliococcum gounierii*), a qual apresenta excelentes características tecnológicas devido ao conteúdo de água, polissacarídeos e minerais. A presença destes constituintes contribui, principalmente, para a impermeabilidade à água e permeabilidade ao vapor de água, assegurando a durabilidade sem extinguir as propriedades térmicas e higroscópicas de materiais, como por exemplo vedações verticais externas em BTC (Bloco de Terra Comprimida). A metodologia de preparo pode ser executada facilmente, apresenta um baixo custo de produção, favorecendo a inclusão dessa matéria prima, a qual é facilmente encontrada e cultivável, sustentável, eco eficiente, e portanto, de forte impacto ambiental positivo de sustentabilidade pelo uso de tecnologia verde.

Figura a publicar: 1

PETICIONAMENTO
ELETRÔNICO

Esta solicitação foi enviada pelo sistema Peticionamento Eletrônico em 22/04/2019 às 10:21, Petição 870190037832.

Petição 870190037832, de 22/04/2019, pág. 1/14

PETICIONAMENTO
ELETRÔNICO

Esta solicitação foi enviada pelo sistema Peticionamento Eletrônico em 22/04/2019 às 10:21, Petição 870190037832.

IN 870190037832, de 22/04/2019, pág. 2/14