



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE
CENTRO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

ANA LÍGIA PESSOA SAMPAIO

**PROPOSTA DE SISTEMA CONSTRUTIVO EM TERRA ENSACADA COM
INCORPORAÇÃO DE MANIPUEIRA EM SUBSTITUIÇÃO À ÁGUA**

NATAL/RN

2020

ANA LÍGIA PESSOA SAMPAIO

PROPOSTA DE SISTEMA CONSTRUTIVO EM TERRA ENSACADA COM
INCORPORAÇÃO DE MANIPUEIRA EM SUBSTITUIÇÃO À ÁGUA

Dissertação apresentada ao curso de Pós-graduação em Engenharia Civil, da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, como requisito final à obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Wilson Acchar.
Coorientador: Prof. Dr. Vamberto Monteiro da Silva.

NATAL/RN

2020

Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN
Sistema de Bibliotecas - SISBI
Catalogação de Publicação na Fonte. UFRN - Biblioteca Central Zila Mamede

Sampaio, Ana Lúgia Pessoa.

Proposta de sistema construtivo em terra ensacada com
incorporação de manipueira em substituição à água / Ana Lúgia
Pessoa Sampaio. - 2020.
159 f.: il.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do
Norte, Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Civil. Natal, RN, 2020.

Orientador: Prof. Dr. Wilson Acchar.

Coorientador: Prof. Dr. Vamberto Monteiro da Silva.

1. Construção em terra - Método - Dissertação. 2. Brickeradobe
- Técnica de construção - Dissertação. 3. Adobe - Técnica de
construção - Dissertação. 4. Manipueira - Uso na construção civil
- Dissertação. I. Acchar, Wilson. II. Silva, Vamberto Monteiro
da. III. Título.

RN/UF/BCZM

CDU 624.01

ANA LÍGIA PESSOA SAMPAIO

PROPOSTA DE SISTEMA CONSTRUTIVO EM TERRA ENSACADA COM
INCORPORAÇÃO DE MANIPUEIRA EM SUBSTITUIÇÃO À ÁGUA

Dissertação apresentada ao curso de Pós-graduação em Engenharia Civil, da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, como requisito final à obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Wilson Acchar – Orientador (UFRN)

Prof. Dr. Vamberto Monteiro da Silva – Coorientador (IFPB)

Prof. Dr. Luiz Alessandro Pinheiro Câmara de Queiroz – Examinador Interno (UFRN)

Prof. Dr. Cláwsio Rogério Cruz de Sousa – Examinador Externo (UFERSA)

Natal, 27 de março de 2020

AGRADECIMENTOS

Para pôr em prática a proposta dessa pesquisa, foram tantas pessoas que abraçaram a ideia junto comigo e me ajudaram da forma como podiam, que sem elas com certeza não teria conseguido sua efetivação.

Primeiramente, agradeço aos meus pais, Maria Lúcia Pessoa Sampaio e Gilton Sampaio de Souza, por, literalmente, tudo! Sempre focados numa formação mais pautada na justiça social e que são os meus grandes espelhos, como pessoas, como acadêmicos, como cidadãos. Provaram que não há limites quando você faz o que você gosta e que nosso dever como pesquisador é propor melhorias para a sociedade.

À minha família, base de tudo, sempre estiveram ali quando precisei e sei que sempre estarão. Devo agradecimentos especiais ao meu irmão Gilton Júnior, a minha Madrinha Auxiliadora que basicamente me criou no sítio e deu suporte a algumas etapas desse estudo e à minha prima Diana Paula que assumiu o papel de minha mãe quando vim morar em Natal aos 14 anos e até hoje é um pouco. À Luizinho, meu primo e “esposo”, com quem fui dividir apartamento quando cheguei em Natal há quase 10 anos e estamos aí até hoje nesse matrimônio nada oficial, me apoiando e ajudando até quando eu não peço. E à Júlia Alves, pelo companheirismo, pela ajuda braçal, na busca por dados, no monitoramento, na modelagem dos corpos de prova e nos ensaios, enfim, por tudo, sem sua ajuda, os obstáculos seriam ainda maiores e alguns eu não sei nem se teria conseguido vencê-los. Tem muito de vocês aqui nessa dissertação comigo.

Aos professores de Arquitetura e Urbanismo da UFRN e alguns profissionais com quem tive a oportunidade de trabalhar, que me formaram e me direcionaram para o tipo de profissional que eu gostaria de ser. Em especial, às professoras Giovana Paiva e Angela Lúcia que me guiaram dentro do curso nesses 5 anos, à arquiteta Viviane Teles, que muito contribuiu na minha introdução à arquitetura de terra, e aos professores Aldomar Pedrini e Bianca Dantas, que me ajudaram a entender a importância do Conforto Ambiental.

Às pessoas que compõem o grupo de pesquisa do LAPFMIC que me abraçaram mesmo sendo de uma formação mais distante e me ajudaram no que eu tinha mais dificuldade, a Rayanderson, Jônatas, Ricardo, João Batista, Hugo, Sérgio, Paulo, Luana, Larissa, Antônio, Ana Paula, Anna Karla, Sheyla, Arielle, João, Jadson e Lisieux. Um obrigado especial a Jonathan e a Batista, que me ajudaram demais na execução dos protótipos e na parte experimental, respectivamente.

Aos servidores da UFRN, entre eles Sandro Ricardo, do laboratório de materiais, com toda a ajuda nessa fase final, vindo até em horários fora do seu horário de trabalho para me ajudar. Ao Professor Luís Alessandro, diretor do Centro de Tecnologia, que garantiu o terreno, a mão de obra e os recursos para a execução dos protótipos. Aos senhores Antônio e Alexandre, servidores que ajudaram a levantar os protótipos com tanto cuidado, mesmo durante as adversidades e as exigências específicas de um trabalho científico. E ao Professor George Marinho, pela disponibilização dos termômetros e pela ajuda no direcionamento da pesquisa.

Obrigada também a Deizinha, Débora, Jemima, Allan, Jeniffer, Maelson, Maria Cecília, Luane, Wesley e Carol pelo companheirismo e receptividade quando entrei no PEC, considerando que eu não era da mesma área.

Não poderia deixar de agradecer também à Sociedade Filarmônica Pauferrense por ter aberto meus olhos a essa possibilidade de pesquisa e à confiança, já que tudo isso aqui é pensando nela e num sistema construtivo eficiente para execução da Casa Filarmônica Pauferrense. Junto a ela, agradeço aos professores Cláwsio e Flávio, da UFERSA - Campus Pau dos Ferros pela parceria que renderá projetos futuros para testes do sistema na área do campus em Pau dos Ferros como parte do projeto Casa Sustentável.

Também quero agradecer ao Instituto Federal da Paraíba por viabilizar a coorientação com o Professor Vamberto e ao incentivo feito também à essa pesquisa.

Por fim, agradeço ao meu orientador, o Professor Wilson Acchar, e ao meu coorientador, o Professor Vamberto, por terem acreditado nesse trabalho junto comigo, sem vocês nada disso teria sido possível.

Muito obrigada!

O barro como material de construção perdeu a sua credibilidade devido ao desconhecimento de suas amplas possibilidades.

Minke (2001, p.16)

RESUMO

O estado do Rio Grande do Norte, apesar de pequeno, é atravessado por duas Zonas Bioclimáticas que possuem uma intensa carga solar como características em comum, mas se contrapõem em pontos como a necessidade de massa térmica e o tamanho das aberturas para se alcançar o conforto térmico, são elas a Zona Bioclimática 07 e a Zona Bioclimática 08, universo de estudo deste trabalho. Nesse contexto, as técnicas construtivas populares modernas não conseguem suprir os requisitos necessários para se atingir o conforto na região, ignorando aspectos que vão desde os socioculturais aos bioclimáticos. A busca de novas formas de se construir no Rio Grande do Norte deveria considerar soluções que fomentem o fortalecimento da identidade local e que valorizem não só sua população, como também elementos intrínsecos e particulares da região, como clima, território e cultura, em oposição às técnicas que incentivam a produção em massa de edificações observada na contemporaneidade. Destaca-se, nesse contexto, o barro como material de construção, abundante e que guarda em suas raízes as respostas para as fragilidades das técnicas atuais, porém bastante estigmatizado no setor da construção civil. Paralelamente, algumas qualidades observadas no estudo da substituição da água por manipueira, resíduo da lavagem da mandioca geralmente descartado, indicam sua potencialidade para ser aplicada junto ao solo, cujo “efeito cimentício” pode equilibrar as suas fragilidades. Logo, o objetivo desse trabalho é propor um sistema construtivo em terra baseado no Brickeradobe com incorporação de manipueira em substituição à água com o intuito de explorar uma técnica que permita empregar o solo para construção, mas que seja adaptável ao padrão de vida contemporâneo, garantindo ainda elevada massa térmica e outras propriedades termoacústicas sem comprometer o custo da obra. Nesse cenário, este trabalho percorreu o sistema construtivo proposto sob duas óticas: quanto ao contexto bioclimático, com foco nas condições climáticas; e quanto às propriedades dos materiais construtivos, estudou-se sua forma, constituição, resistência mecânica e o tratamento das suas superfícies. Para isso, partiu-se de um estudo de referência e de pesquisa experimental em laboratório de forma a se caracterizar os materiais em função de suas propriedades não só físico-mecânicas, mas também químico-mineralógica, em que se levou em consideração a fôrma, o invólucro e a composição química, sendo esta última definida através das propostas de formulações e após realizados os ensaios mecânicos. Para avaliação do desempenho termoacústico, foram construídos dois protótipos de casas com 1 m² de área interna e 1,50 m de altura, em que também se procurou mensurar tempo de execução e custos. Entre os principais ensaios realizados, o de resistência à

compressão simples foi feito aos 07 dias e aos 28 dias, o de absorção de água por capilaridade e de condutividade térmica aos 28 dias para composições de solo e água (SA), solo e manipueira (SM), solo com 10% de cimento e água (CA) e solo com 10% de cimento e manipueira (CM). Todas as formulações apresentaram resultados de resistência à compressão acima de 1 MPa, sendo três delas acima de 2 MPa e a composição SM obteve valores de resistência semelhantes à da formulação de CA, ressaltando-se o potencial da manipueira como acelerador de reações por favorecer algumas trocas catiônicas, além de melhorar a trabalhabilidade do material e facilitar sua compactação, gerando blocos mais densos. Os blocos SA, apesar de boa resistência à compressão, perderam muita massa quando secos, apresentando-se muito esfareláveis. Assim, a utilização da manipueira trouxe melhorias significativas por agir exatamente nas fragilidades do solo ao funcionar como uma resina, melhorando sua compactação e diminuindo a perda de massa. Quanto às propriedades térmicas, foram avaliados ainda a Resistência Térmica, Transmitância Térmica, Fator de Calor Solar e Atraso Térmico dos blocos isolados e no contexto dos protótipos. Observou-se uma considerável diminuição da amplitude térmica no cenário sem ventilação e um comportamento similar com o sistema ventilado. A melhor compactação do material com o uso da manipueira também garantiu um maior isolamento acústico ao bloco e o custo da obra reduziu cerca de 28%.

Palavras-chave: Construção em terra. Brickeradobe. Adobe. Manipueira. Simulação.

ABSTRACT

The state of Rio Grande do Norte, although small, is crossed by two Bioclimatic Zones that have an intense solar radiation as characteristics in common, but they are opposed in points such as the need for thermal mass and the size of the openings to achieve thermal comfort, the zones are Bioclimatic Zone 07 and Bioclimatic Zone 08, universe of study of this work. In this context, modern popular construction techniques fail to meet the necessary requirements to achieve comfort in the region, ignoring aspects ranging from socio-cultural to bioclimatic. The search for new ways to build in Rio Grande do Norte should consider solutions that promote the strengthening of local identity and that value not only its population, but also intrinsic and particular elements of the region, such as climate, territory and culture, as opposed to techniques that encourage the mass production of buildings observed in contemporary times. In this context, clay stands out as a building material, abundant and which has at its roots the answers to the weaknesses of current techniques, although quite stigmatized in the civil construction sector. At the same time, some qualities observed in the study of substituting water for cassava wastewater, the residue of washing cassava that is usually discarded, indicate its potential to be applied close to the soil, whose “cementing effect” can balance its weaknesses. Therefore, the aim of this work is to propose a building system on land based on Brickeradobe with the incorporation of cassava wastewater, instead of water in order to explore a technique that allows the use of soil for construction, but that is adaptable to the contemporary standard of living, ensuring high thermal mass and other thermo-acoustic properties without compromising the cost of the work. In this scenario, this work went through the construction system proposed from two perspectives: regarding the bioclimatic context, with a focus on climatic conditions; and as for the properties of construction materials, their shape, constitution, mechanical strength and the treatment of their surfaces were studied. For this, we started with a reference study and experimental research in the laboratory in order to characterize the materials in terms of their properties, not only physical-mechanical, but also chemical-mineralogical, in which form was taken into account, the casing and the chemical composition, the latter being defined through the formulation proposals and after the mechanical tests have been carried out. To evaluate the thermo-acoustic performance, two prototypes of houses with 1 m² of internal area and 1.50 m in height were built, in which it was also tried to measure the execution time and costs. Among the main tests carried out, resistance to simple compression was done at 07 days and at 28 days, water absorption by capillarity and thermal conductivity at 28 days for soil and

water (SA), soil and cassava wastewater, compositions (SM), soil with 10% cement and water (CA) and soil with 10% cement and cassava wastewater, (CM). All formulations showed results of compressive strength above 1 MPa, three of them above 2 MPa and the SM composition obtained resistance values similar to that of the CA formulation, highlighting the potential of cassava wastewater, as an accelerator of reactions for favoring some cationic exchanges, in addition to improving the workability of the material and facilitating its compaction, generating denser blocks. The SA blocks, despite good resistance to compression, lost a lot of mass when dry, being very crumbly. Thus, the use of cassava wastewater, brought significant improvements for acting exactly on the fragilities of the soil when functioning as a resin, improving its compaction and decreasing the loss of mass. As for the thermal properties, the Thermal Resistance, Thermal Transmittance, Solar Heat Factor and Thermal Delay of the isolated blocks were also evaluated in the context of the prototypes. A considerable decrease in the thermal amplitude was observed in the scenario without ventilation and a similar behavior with the ventilated system. The better compacting of the material with the use of the cassava wastewater, also ensured greater acoustic insulation to the block and the cost of the work reduced by about 28%.

Keywords: Earth Construction. Brickeradobe. Adobe. Cassava Wastewater. Simulation.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1: A influência da velocidade do ar no aumento da temperatura de conforto	25
FIGURA 2: Curva de perda de transmissão para paredes simples.....	27
FIGURA 3: Níveis de ruído em dBa	28
FIGURA 4: a) Zoneamento Bioclimático Brasileiro x b) Zona da Mata x c) Semiárido.....	29
FIGURA 5: Carta Bioclimática de Natal e Estratégias Bioclimáticas	30
FIGURA 6: Zona 07 e Carta Bioclimática de Picos (PI)	31
FIGURA 7: Zona de conforto para Natal segundo Humphreys e Nicol	32
FIGURA 8: Parâmetros de avaliação das vedações para cada Zona Bioclimática	35
FIGURA 9: Construções em terra crua no mundo e as listadas no patrimônio mundial	37
FIGURA 10: Taipa de mão (a) esquema interno (b) foto de execução	38
FIGURA 11: Taipa de pilão (a) esquema de execução (b) (c) fotos de execução	39
FIGURA 12: Adobe (a) produção dos blocos (b) levantamento das paredes	39
FIGURA 13: Superadobe (a) levantamento das paredes (b) Restaurante Camarões em Natal	41
FIGURA 14: Construção em superadobe moderna.....	41
FIGURA 15: Hiperadobe (a) apiloamento lateral (d) detalhe do saco raschel.....	42
FIGURA 16: Brickeradobe (a) fôrma (b) detalhe das fiadas (c) levantamento das paredes	43
FIGURA 17: (a) Interior de casa de adobe moderna (b) Exterior de casa de adobe moderna .	44
FIGURA 18: Processo de desencadeamento da pesquisa.	47
FIGURA 19: Distribuição dos artigos selecionados vs construções em terra crua no mundo .	50
FIGURA 20: Fluxograma do processo de fabricação de farinha	61
FIGURA 21: (a) Produção artesanal em Portalegre x (b) Produção industrial em Brejinho ...	61
FIGURA 22: Perfil esquemático de ocorrência de solos em ambiente tropical	64
FIGURA 23: Solo proveniente de Pium/RN	65
FIGURA 24: (a) Cimento Portland CP-V ARI (b) e (c) Cimento Portland CP-II E 32.....	65
FIGURA 25: Tanque de armazenamento da manipueira em Casa de Farinha de Brejinho	66
FIGURA 26: (a), (b), (c) e (d) Faixas feitas a partir do saco raschel e (e) e (f) fibras a partir do seu fio para a massa.....	67
FIGURA 27: Procedimento metodológico	68
FIGURA 28: Medição da condutividade térmica.....	73
FIGURA 29: (a) e (b) Datalogger da Minipa, MT-600, e (c) sistema de medições.....	75
FIGURA 30: Blocos para ensaios com composições de (a) solo + água, (b) solo + cimento, (c) solo + manipueira e (d) solo + manipueira + cimento.....	76

FIGURA 31: Curva Granulométrica	78
FIGURA 32: Micrografias do solo (a) Laterítico e do (b) Não-Laterítico.....	83
FIGURA 33: Fim do ensaio de absorção por capilaridade amostras CM4, CA4, SA3, SM4..	88
FIGURA 34: Moldagem de bloco de brickeradobe (a) desmoldagem do bloco (b) bloco final	92
FIGURA 35: Esquema feita em computador dos blocos e dos invólucros.	92
FIGURA 36: Esquema da dos pilões, da fôrma e dos blocos	93
FIGURA 37: Blocos com dimensões diferentes de acordo com a necessidade	94
FIGURA 38: (a) Fôrma e pilões (b) Fôrma e detalhe da dimensão móvel (removível).....	94
FIGURA 39: Traçando a massa e compactação do bloco	95
FIGURA 40: Localização do terreno.....	96
FIGURA 41: O terreno	96
FIGURA 42: Simulação de exposição solar: Lado 01	97
FIGURA 43: Simulação de exposição solar: Lado 02	97
FIGURA 44: Chegada do solo	98
FIGURA 45: Início da obra no dia 04 de setembro (a) chegada dos materiais (b) execução das fundações (c) instalação do ponto de água	98
FIGURA 46: Instalação das estacas para cercamento no dia 06 de setembro.....	99
FIGURA 47: Execução das bases (a) locação (b) baldrame (c) aterro e lastro de concreto	99
FIGURA 48: (a) Primeira fiada (b) Levantamento (c) Prumo (d) Finalização	100
FIGURA 49: Protótipos no dia 30 de setembro de 2019.....	100
FIGURA 50: Execução dos blocos (a) A massa (b) Execução dos blocos (c) Secagem	101
FIGURA 51: (a) Produção da argamassa (b) Planejamento da fiada (c) Levantamento.....	101
FIGURA 52: (a) Primeira fiada de teste (b) Amarração	102
FIGURA 53: O levantamento foi limitado pela quantidade de blocos produzidos.....	102
FIGURA 54: Produção de blocos no dia 05 de outubro com proteção para chuva.....	102
FIGURA 55: (a) Amarração (b) Detalhe dos blocos	103
FIGURA 56: Dia 08 de outubro (a) Conferência (b) e (c) Execução da Verga	103
FIGURA 57: (a) Nivelamento da última fiada (b) Chapisco no dia 09 de outubro	104
FIGURA 58: (a), (b) e (c) Caimento do telhado com bloco de dimensões diferenciadas.....	104
FIGURA 59: Reboco com argamassa convencional	105
FIGURA 60: Dias 14 e 15 de outubro (a) Argamassa interna (b) Início do reboco (c) Durante (d) Fim do reboco	105
FIGURA 61: (a), (b) e (c) Finalização do reboco e do capiaço.....	106

FIGURA 62: (a) Finalização do piso (b) Instalação do portão nos dias 17 e 18.....	106
FIGURA 63: (a) Instalação da cobertura (b) Preparação para pintura no dia 21 de outubro ..	106
FIGURA 64: Fim da obra no dia 22 de outubro: aberturas voltadas para leste	107
FIGURA 65: Fim da obra no dia 22 de outubro: costas voltadas para oeste	107
FIGURA 66: Terreno faz limite com a via de acesso para a UFRN	117

LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1: Artigos selecionados por ano e por periódico (total 28).....	49
GRÁFICO 2: Categorização dos trabalhos em aspectos.....	49
GRÁFICO 3: Gráfico de Compactação.....	79
GRÁFICO 4: Limite de Liquidez (LL).....	80
GRÁFICO 5: Difratoograma do solo.....	82
GRÁFICO 6: Valores de resistência à compressão aos 7 e aos 28 dias com desvio padrão....	85
GRÁFICO 7: Condutividade térmica x Umidade do solo (de 09/2014 a 09/2015).....	110
GRÁFICO 8: Monitoramento da temperatura do ar sem ventilação.....	113
GRÁFICO 9: Diferença de temperatura entre T1 e T2 – Sem Ventilação.....	114
GRÁFICO 10: Monitoramento da temperatura do ar com ventilação.....	114
GRÁFICO 11: Diferença de temperatura entre T1 e T2 – Com Ventilação.....	115
GRÁFICO 12: Temperatura da superfície interna das paredes (T1).....	116
GRÁFICO 13: Temperatura da superfície interna das paredes (T1).....	116

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1: Transmitância, atraso e capacidade térmica para alvenaria convencional	35
QUADRO 2: Bom desempenho para alvenarias duplas.....	36
QUADRO 3: Bom desempenho para alvenarias duplas.....	45
QUADRO 4: Quadro comparativo dos sistemas construtivos em terra discutidos.....	46
QUADRO 5: Amostragem total, por ano e por periódico.....	48
QUADRO 6: Ensaio de Resistência à Compressão Simples.....	84
QUADRO 7: Relação Massa x Volume dos blocos	86
QUADRO 8: Ensaio para definição de propriedades térmicas dos blocos	87
QUADRO 9: Ensaio de absorção por capilaridade	88
QUADRO 10: Propriedades térmicas dos blocos.....	109
QUADRO 11: Fator de Calor Solar do Sistema.....	111
QUADRO 12: Atraso térmico dos blocos	112
QUADRO 13: Perda de Transmissão Sonora dos blocos VS tijolo.....	118
QUADRO 14: Custos isolados das casas	119

LISTA DE TABELAS

TABELA 1: Trabalhos selecionados para Aspectos Sócio-Ambientais.	51
TABELA 2: Trabalhos selecionados para Aspectos Técnicos/Materiais.....	53
TABELA 3: Trabalhos selecionados para Aspectos Estruturais.	54
TABELA 4: Trabalhos selecionados para Aspectos Termo-Acústicos.....	56
TABELA 5: Grupos por ano e tendência de crescimento.	57
TABELA 6: Grupos por pergunta e proporções no todo.	57
TABELA 7: Composição da manipueira.....	62
TABELA 8: Nomenclatura das composições que serão produzidas.....	71
TABELA 9: Composição química da manipueira líquida.....	77
TABELA 10: Limites de Atterberg	80
TABELA 11: Resultado da Fluorescência de Raios X.....	81
TABELA 12: Capacidade de Troca Catiônica (CTC) de alguns argilominerais	89

LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ACV	Análise do Ciclo de Vida
ASTM	American Society for Testing and Materials
CAERN	Companhia de Águas e Esgotos do Rio Grande do Norte
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
CBCS	Conselho Brasileiro de Construção Sustentável
CEASA	Centro de Abastecimento do Rio Grande do Norte
CTC	Capacidade de Troca Catiônica
CTE	Construções em Terra Ensacada
DITR	Declaração do Imposto sobre a Propriedade Rural
DRX	Difração por Raios X
EMPARN	Empresa de Pesquisa Agropecuária do Rio Grande do Norte
FAO/STAT	Food and Agriculture Organization of the United Nations
FRX	Fluorescência por Raios X
GGEMMA	Grupo de Pesquisa em Geologia Marinha e Monitoramento Ambiental
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IFPB	Instituto Federal de Ciência e Tecnologia da Paraíba
INSA	Instituto Nacional do Semiárido
ISO	International Organization for Standardization
MEV	Microscopia eletrônica de varredura
MPa	Megapascal
NBR	Norma Brasileira
NR	Norma Regulamentadora
OSHA	Occupational Safety and Health Administration
PICO	Population, Intervention, Control and Outcomes
RN	Rio Grande do Norte
UFRN	Universidade Federal do Rio Grande do Norte
UNESCO	Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura

LISTA DE SÍMBOLOS

f	Frequência [Hz]
Λ	Comprimento de onda [m]
v	Velocidade do som no ar [m/s]
E	Energia
τ	Coefficiente de transmissão
PT	Perda de Transmissão Sonora [dB]
R_A	Índice de Redução Acústica [dB]
L_{eq}	Nível Sonoro Equivalente [dB]
L_{Aeq}	Nível Sonoro Equivalente na Curva A [dB(A)]
N_I	Nível de Intensidade Sonora [dB Ref. 10^{-12} W/m ²]
NPS	Nível de Pressão Sonora [dB Ref. $2,0 \times 10^{-5}$ Pa]
P	Pressão Sonora [Pa]
P_0	Pressão Sonora de Referência [Pa]
S	Área de Superfície [m ²]
D	Isolamento Bruto [dB]
V	Volume [m ³]
R	Resistência Térmica
λ	Condutividade Térmica
e	Espessura
U	Transmitância Térmica
c	Calor Específico
C	Capacidade de Aquecimento Volumétrico
ρ	Massa específica do material
φ	Atraso Térmico
FS	Fator de Calor Solar
α	Absortividade
A_t	Absorção por capilaridade
d	Densidade
α	Difusividade

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	16
1.1. OBJETIVOS DA PESQUISA	21
1.1.1. Objetivo Geral	21
1.1.2. Objetivos Específicos	21
2. REVISÃO DE LITERATURA	22
2.1. NOÇÕES DE CONFORTO AMBIENTAL	22
2.1.1. Temperatura do ar	24
2.1.2. Umidade relativa do ar	24
2.1.3. Movimento do ar	24
2.1.4. Precipitação pluvial	25
2.1.5. Acústica	25
2.1.5.1. <i>Propriedades do Som</i>	26
2.2. CONTEXTO BIOCLIMÁTICO	29
2.2.1. Resistência Térmica (R)	32
2.2.2. Transmitância Térmica (U)	33
2.2.3. Condutividade Térmica (λ)	33
2.2.4. Calor Específico (c) e Capacidade de Aquecimento Volumétrico (C)	33
2.2.5. Atraso Térmico (ϕ)	34
2.2.6. Fator de Calor Solar (FS)	34
2.2.7. Requisitos para as Zonas Bioclimáticas 07 e 08	34
2.3. CONSTRUÇÕES EM TERRA	37
2.3.1. Taipa de Mão	38
2.3.2. Taipa de Pilão	39
2.3.3. Adobe	39
2.3.4. Construções com Terra Ensacada (CTE)	40
2.3.4.1. <i>Superadobe</i>	40
2.3.4.2. <i>Hiperadobe</i>	42
2.3.4.3. <i>Brickeradobe</i>	42
2.3.5. Discussão sobre os sistemas em terra	43
2.3.6. Quadro Resumo dos Sistemas	46

2.4. REVISÃO SISTEMÁTICA DE LITERATURA SOBRE SUPERADOBE E HIPERADOBE.....	47
2.4.1. Classificação dos Trabalhos.....	49
2.4.1.1. Aspectos Sócio-Ambientais.....	50
2.4.1.2. Aspectos Técnicos/Materiais.....	52
2.4.1.3. Aspectos Estruturais.....	54
2.4.1.4. Aspectos Termo-Acústicos.....	55
2.4.2. Discussão.....	57
2.5. MANIPUEIRA NA CONSTRUÇÃO CIVIL.....	59
2.5.1. Manipueira.....	59
2.5.2. Uso na Construção Civil.....	62
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	64
3.1. MATERIAIS.....	64
3.1.1. Solo.....	64
3.1.2. Cimento.....	65
3.1.3. Água.....	66
3.1.4. Manipueira.....	66
3.1.5. Sacos Raschel.....	66
3.2. MÉTODOS.....	67
3.2.1. Beneficiamento dos materiais.....	69
3.2.2. Caracterização dos materiais.....	69
3.2.2.1. Caracterização da Manipueira.....	69
3.2.2.2. Caracterização do Solo.....	70
a) Análise Granulométrica e Sedimentação.....	70
b) Ensaio de Compactação.....	70
c) Limite de Liquidez e Limite de Plasticidade (Limites de Atterberg).....	70
d) Análise química e mineralógica dos materiais.....	70
3.2.3. Composições.....	71
3.2.4. Ensaio para as composições.....	72
3.2.4.1. Definição do Teor Ideal de Água.....	72
3.2.4.2. Moldagem dos Corpos de Prova.....	72
3.2.4.3. Ensaio de Resistência à Compressão Simples.....	72

3.2.4.4. Ensaio de Condutividade Térmica.....	72
3.2.4.5. Densidade dos blocos por composição	73
3.2.4.6. Ensaio de Absorção de Água	73
3.2.5. Protótipos e simulações.....	74
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	76
4.1. BENEFICIAMENTO DOS MATERIAIS	77
4.2. CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS	77
4.2.1. Caracterização da Manipueira	77
4.2.2. Caracterização do Solo	78
a) Análise granulométrica e Massa Específica.....	78
b) Ensaio de compactação	79
c) Limite de Liquidez e Limite de Plasticidade (Limites de Atterberg)	80
d) Análise química e mineralógica dos materiais	81
4.3. ENSAIOS PARA AS COMPOSIÇÕES	83
4.3.1. Definição do Teor Ideal de Água.....	83
4.3.2. Ensaio de Resistência à Compressão Simples	83
4.3.3. Densidade (Massa Volumétrica)	86
4.3.4. Ensaio de Condutividade Térmica	86
4.3.5. Ensaio de Absorção de Água.....	88
5. PROPOSTA DE SISTEMA CONSTRUTIVO E EXECUÇÃO DE PROTÓTIPO	91
5.1. FORMULAÇÃO	91
5.2. INVÓLUCRO.....	91
5.3. FORMA E MOLDAGEM.....	93
5.4. ESCOLHA DO TERRENO E PROJETO	95
5.5. A EXECUÇÃO	98
5.5.1. Avaliação da construção dos protótipos	107
5.6. AVALIAÇÃO TÉRMICA DOS SISTEMAS CONSTRUTIVOS.....	109
5.6.1. Cálculos	109
5.6.1.1. Resistência Térmica (R) e Transmitância Térmica (U)	109
5.6.1.2. Fator de Calor Solar (FS)	111
5.6.1.3. Atraso Térmico (φ)	112

5.6.2. Monitoramento térmico dos protótipos	112
5.7. AVALIAÇÃO ACÚSTICA DOS SISTEMAS	117
5.8. AVALIAÇÃO FÍSICO-FINANCEIRA DOS SISTEMAS CONSTRUTIVOS	119
6. CONCLUSÃO.....	120
6.1. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	122
REFERÊNCIAS	123
APÊNDICE A – PLANTA BAIXA DOS PROTÓTIPOS.....	131
APÊNDICE B – DADOS PARA GRÁFICO SEM VENTILAÇÃO.....	132
APÊNDICE B – DADOS PARA GRÁFICO COM VENTILAÇÃO.....	138
APÊNDICE C – DADOS PARA GRÁFICO PAREDES (T1)	145

1. INTRODUÇÃO

A busca por uma produção em escala industrial de edificações vem motivando cada vez mais projetos e construções padronizadas e sem nenhum compromisso com o contexto em que estão inseridas. Mais do que uma estrutura, esses modelos passam a representar um estilo de vida vendido como superior aos demais, que simbolizam status, contemporaneidade e poder econômico, um padrão de vida.

No entanto, o território brasileiro, apesar de pouco discutido ao se pensar em novos materiais e técnicas construtivas, não é uniforme e possui contextos bioclimáticos específicos para cada região. A norma NBR 15220 (2005), que é dividida em 05 (cinco) partes, traz na Parte 03 o zoneamento bioclimático brasileiro e as diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social, classificando o Brasil em oito zonas bioclimáticas a partir da adaptação de dados climáticos obtidos da Carta Bioclimática de Givoni (1992). Cada zona possui parâmetros e condições particulares para se atingir o conforto, sendo destacados o tamanho e a necessidade de proteção de aberturas, as especificações das vedações externas e estratégias de condicionamento térmico passivo.

Nesse contexto, o Estado do Rio Grande do Norte, mesmo pequeno, é atravessado por duas zonas bioclimáticas, uma que percorre o litoral, a Zona Bioclimática 08, que engloba cerca de 53,7% do território brasileiro e universo de estudo deste trabalho, consistindo na zona de maior área, e outra que enquadra parte do interior do Estado e do país, a Zona Bioclimática 07, englobando 12,6% do território e dividindo o posto de segunda maior com a Zona Bioclimática 06. Funcionando apenas como diretrizes e direcionamentos gerais, não possuindo valor como norma, essas zonas trazem recomendações quase que antagônicas, mas pouco relevadas no processo de criação de materiais e técnicas, uniformizando a produção arquitetônica brasileira, sem realmente adequar-se ao contexto local.

Esse problema se intensifica quando, além das próprias políticas públicas para habitação, os profissionais da área da construção civil não levam em consideração a adoção de estratégias para um melhor conforto como requisito essencial para avaliação da qualidade das nossas edificações. Nos países em desenvolvimento, como o Brasil, uma das principais restrições que afetam a qualidade das habitações é ainda de ordem econômica (EVANS, 2001), considerando que os materiais de qualidade são quase sempre caros, não dispendo de soluções mais acessíveis reconhecidas para resolver problemas relacionados ao desempenho das edificações. Nesse contexto, é importante que alternativas mais econômicas e que levem

em consideração o clima local e estratégias passivas de condicionamento sejam mais difundidas e tenham mais destaque nas discussões sobre qualidade do ambiente construído.

Apesar de lento o processo de normalização do desempenho termoacústico no Brasil, torna-se indispensável a realização de pesquisas de aplicação dessas técnicas para se ter parâmetros de avaliação da eficiência das diretrizes da norma NBR 15220 (ABNT, 2005), destacando a representatividade da qualidade termoacústica em relação às necessidades dos ocupantes.

Um caso clássico como exemplo, sob a ótica do desempenho térmico, um dos principais parâmetros analisados neste estudo, é o recomendado para a Zona Bioclimática 07, que engloba boa parte das cidades do interior do estado. Nela, orienta-se que as aberturas para ventilação sejam pequenas e sombreadas, suas vedações, tanto as paredes quanto a cobertura, pesadas, com elevada massa térmica e como estratégias de condicionamento passivo o resfriamento evaporativo e ventilação seletiva, dependendo da diferença de temperatura entre o meio externo e interno (ABNT, 2003). Ou seja, a recomendação vai de encontro ao que se vem convencionando na construção civil, em que cada vez se busca menor preço, menor tempo e maior lucro através de sistemas mais leves e de pouca massa térmica para se reduzir o peso sobre a estrutura e uma consequente redução nos custos. Esses sistemas vêm chegando indiscriminadamente a todo o Brasil, sem realmente se observar se são adequadas àquele lugar ou não.

Por outro lado, para a Zona Bioclimática 08, que engloba boa parte do litoral brasileiro, recomenda-se aberturas grandes e sombreadas que permita a ventilação cruzada o ano todo, além do uso de paredes e coberturas leves e refletoras. Ou seja, sugestões mais simples e baratas que acabam sendo replicadas no Brasil inteiro sem interessar sua eficiência. Essas estratégias aplicadas à Zona Bioclimática 07 potencializam ainda mais as condições climáticas já intensas da região, setor do estado com menor poder econômico e com mais dificuldade de acesso a estratégias mecânicas de condicionamento climático como tática suplementar para se obter conforto, demandando mais custos para quem menos pode arcar com eles para se viver com qualidade.

Fazendo um paralelo entre essas duas zonas, tem-se as cidades de Pau dos Ferros/RN, próxima às divisas com o Ceará e a Paraíba no extremo oeste do Rio Grande do Norte, e Natal/RN, capital do estado, localizada no extremo leste e banhada pelo oceano Atlântico.

Pau dos Ferros é uma cidade que assume a função de “Pólo Territorial” da região em que está enquadrada, o Alto Oeste Potiguar (BRASIL, 2010), sendo voltada para os setores do comércio, de serviços e financeiros. A razão pela qual foi escolhida essa cidade como ponto

de referência da Zona 07 se deve ao fato deste trabalho ser a continuação de um projeto que se iniciou em 2017 com a parceria da Sociedade Filarmônica Pauferrense (SFP) para se desenvolver uma proposta de Casa Filarmônica para Pau dos Ferros/RN que utilizasse um sistema construtivo em terra, valorizando cultura, as técnicas locais e o conforto ambiental.

Apresentado como Trabalho Final de Graduação em Arquitetura e Urbanismo pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte (SAMPAIO, 2017), fez-se o anteprojeto e a simulação do sistema construtivo em Hiperadobe com a finalidade de se amenizar os problemas decorrentes da tipologia escolhida e da localização que o projeto está inserido, dando-se continuidade com o desenvolvimento do sistema construtivo. A ideia seria analisar o contexto bioclimático mais a fundo, o solo do terreno e a disponibilidade de materiais na região para embasar a proposta, considerando ser uma situação replicável em boa parte das regiões que se enquadram na Zona Bioclimática 07. A possibilidade do sistema ser executado e testado em uma edificação real com tais proporções apresenta ainda restrições particulares e a necessidade de um olhar mais atento ao impacto da proposta, em especial às restrições do mercado regional e do contexto local. Todavia, ressalta-se que, o foco desse estudo foi o sistema construtivo, buscando de uma forma generalista dar uma visão geral do que se observa a seu respeito e de forma que se possa adequar ao maior número de situações possíveis dentro das condições trazidas, não se limitando apenas ao contexto da Casa Filarmônica, mas tirando dela um bom estudo de caso e aplicando-o a uma escala menor.

Assim, ressalta-se, que o sistema aqui proposto foi pensado principalmente para a Zona Bioclimática 07 apesar de ter sido executado inicialmente em Natal, porque a ideia preliminar era fazer um estudo comparativo do desempenho de protótipos executados em Natal e em Pau dos Ferros, destacando a influência de climas diferentes em sistemas construtivos iguais. Todavia, devido a problemas de logística que se demanda a execução de um projeto desse fora da área de influência de sua instituição e aos bons resultados já encontrados na Zona Bioclimática 08, não esperados, os protótipos foram executados até o momento de entrega deste texto apenas em Natal, mas já se iniciou o processo de execução do protótipo em Pau dos Ferros, numa parceria com a Universidade Federal do Semiárido, Campus Pau dos Ferros e que será foco de futuros trabalhos.

Mesmo enfrentando dificuldades, esse olhar sobre a Zona Bioclimática 07 é primordial para uma área habitualmente negligenciada, tanto em políticas públicas, quanto em estudos e pesquisas, tradicionalmente concentradas na capital e cidades próximas. Além disso, fazem parte dessa região cidades que têm no clima, na disponibilidade de água e no acesso a diversos tipos de materiais como alguns dos grandes limitadores históricos de seu

desenvolvimento. Deste modo, um sistema construtivo que reduza a influência desses limitadores e ainda garanta o conforto necessário pode trazer muitas melhorias para a produção arquitetônica da região. Essas barreiras climáticas geraram até o afastamento da população local em um passado não tão distante, reduzindo o potencial construtivo da região e afastando investimentos. Associado a isso, há ainda uma imagem distorcida que relaciona pobreza e um estilo subdesenvolvido de vida à sua produção arquitetônica, como a taipa de mão e de pilão, tornando o barro um material a ser menosprezado em detrimento aos industrializados que pouco se adequam à região.

Numa tentativa de trazer à tona aspectos que vão desde os socioculturais aos bioclimáticos, discute-se aqui formas de se construir no Rio Grande do Norte, levantando soluções mais adequadas, que busquem o fortalecimento da identidade local e que não estigmatize sua população e seus materiais.

Ainda nessa lógica, não há material melhor para se construir em um lugar do que os materiais que foram ali originados, que já passaram por todos os processos de intemperismo físico-químico e se adaptaram a ele, como o solo. A região tem abundância de solos argilosos, cujo potencial construtivo vem sendo atestado por estruturas que estão há séculos em pé no mundo inteiro. É um material com reconhecidas qualidades termoacústicas em relação ao bloco cerâmico convencional, mas pouco aproveitado devido a todo o discurso pejorativo que envolve o material. Técnicas construtivas como o Adobe, o Superadobe, o Hiperadobe e o Brickeradobe vêm como ótimas alternativas, considerando o desempenho térmico do solo argiloso e seu perfil mais local, onde a matéria-prima principal pode ser o solo escavado do próprio terreno ou ser de fácil obtenção, sem necessidade de processamento industrial, fase responsável pelos maiores danos ao meio ambiente.

Outra forma de se reduzir danos ao ambiente é considerar o que se é produzido no estado e seus os resíduos, analisar sua composição e avaliar sua potencialidade de reaproveitamento, não só no segmento da construção civil, mas também em todos os segmentos da sociedade. Nesse cenário, observando estudos prévios e elaborando uma hipótese, esse trabalho propõe a substituição da água de amassamento por manipueira, resíduo da produção da farinha de mandioca, atividade presente em todo o estado, sendo de forma mais artesanal como mais industrial.

A produção da farinha de mandioca, alimento indígena que, devido à sua durabilidade, foi importante durante atividade de penetração do sertão brasileiro, sendo alimento essencial para os Bandeirantes nos séculos XVII e XVIII durante a caça ao ouro (CASCUDO, s.d.). Somado a disso, é historicamente símbolo da luta contra a fome (CAVALCANTE e DIAS,

2010). Nas pesquisas mais recentes, a manipueira, líquido amarelado gerado a partir do beneficiamento das raízes de mandioca no processo de fabricação de farinha, surge como opção de substituição da água na construção de tijolos de solo-cimento (SOUZA, J., 2019), de adobe (ARAÚJO, 2015) e em argamassas (SOUZA, R., 2019).

Como resíduo da produção, a manipueira é geralmente descartada no ambiente em buracos fechados, devido à sua toxicidade nos primeiros dias. Dar uma melhor destinação a esse subproduto resolveria dois problemas de uma vez: diminuir o uso da água na construção civil e o impacto de seu despejo no ecossistema. Ademais, algumas qualidades observadas no estudo de tijolos devido à sua composição levemente ácida e à presença do elemento cálcio (Ca) já vêm sendo estudadas (SOUZA, J., 2019), podendo beneficiar o sistema.

Em síntese, como defendido por Bouchlaghem (2000), este trabalho percorreu o sistema construtivo proposto sob duas óticas. A primeira, quanto ao contexto bioclimático, levando em consideração aspectos referentes ao conforto ambiental com foco nas condições climáticas em que está inserido. E o segundo, mais referentes às propriedades termo-físicas dos materiais construtivos, focando-se na forma, na constituição, na resistência, na resposta às condições climáticas e até no tratamento das superfícies. Logo, considerando toda a problemática aqui disposta, propõe-se, a partir de estudo de referência e pesquisa experimental, um sistema construtivo em terra baseado no Brickeradobe com incorporação de manipueira em substituição à água.

O trabalho foi dividido em quatro partes: na primeira, referente à revisão de literatura, são trazidos noções de conforto, contextos bioclimáticos que o trabalho está inserido para introduzir o tema construções em terra, servindo de base para a revisão sistemática de literatura sobre Superadobe e Hiperadobe para finalizar com a manipueira e seu uso na construção civil; na segunda, é apresentada a metodologia, consistindo nos ensaios e no processo de construção e avaliação dos protótipos; na terceira, são expostos os resultados dos ensaios com algumas considerações sobre eles; e, na quarta, por fim, é detalhado o processo de construção dos protótipos e sua posterior avaliação térmica, acústica e financeira.

Definiu-se uma abordagem mais generalista desses temas, mas que abrangesse o máximo possível as diversas áreas de estudo, seja na avaliação do seu comportamento mecânico quanto no seu desempenho térmico, como uma proposta inicial e uma prova de que é possível se construir com terra de forma viável com qualidade, a baixo custo, com baixo impacto e com o acabamento estético desejado, como qualquer método construtivo moderno, sendo a dificuldade de visualização da técnica nesse grupo uma das principais resistências ao se construir com terra.

1.1. OBJETIVOS DA PESQUISA

1.1.1. Objetivo Geral

Propor um sistema construtivo em terra ensacada com incorporação de manipueira em substituição à água.

1.1.2. Objetivos Específicos

- a) Caracterizar o solo escolhido e a manipueira da região;
- b) Propor modificações no sistema construtivo e analisar o comportamento físico e mecânico do sistema proposto, considerando as propriedades dos materiais;
- c) Avaliar as propriedades físicas e mecânicas do sistema;
- d) Construir protótipos reais e avaliar seu desempenho termoacústico a partir de métodos teóricos e empíricos;

2. REVISÃO DE LITERATURA

Neste capítulo, são introduzidas algumas noções de conforto para se apresentar as condições bioclimáticas das regiões aqui discutidas, as matérias-primas e o sistema construtivo que esse trabalho se baseia para, por fim, ser feita uma revisão sistemática de literatura (RSL) que esclarece o que foi produzido no período de 2008 a 2018 acerca do tema proposto.

2.1. NOÇÕES DE CONFORTO AMBIENTAL

Uma grande parcela dos problemas das edificações, e aqueles gerados por elas, já começam na definição do local e do tipo de projeto, sendo agravados durante sua construção e tendo continuidade desde a ocupação até o encerramento do seu ciclo de vida. A desconsideração do meio físico, a falta de planejamento, a baixa qualidade das matérias primas e a sua incorreta execução tem potencializado sua degradação e gerado prejuízos não só ao próprio empreendimento, mas ocasionando impactos ambientais que extrapolam a área do imóvel (NÓBILE, 2003). Nesse sentido, o problema habitacional no Brasil não se resume apenas às questões quantitativas, já de conhecimento comum, mas também qualitativas (CARVALHO et al., 2004).

No entanto, nem sempre foi assim. A busca por moradias de qualidade acompanha o ser humano desde tempos primordiais como um dos principais sinais de civilização. Até então, o clima e a arquitetura eram indissociáveis. A própria noção de conforto ambiental surge instintivamente no início do século XIX na Europa com as construções vernaculares, já que, como destacado por Brito (2007), a responsabilidade de amenizar as condições climáticas e garantir o conforto adequado ao funcionamento do seu organismo era unicamente da envoltória do edifício. Mas, a partir da década de 1950, com os anos dourados da Arquitetura Moderna, ocorre uma ruptura (CARDOSO, 2002), época em que formas, modelos e materiais eram importados livremente e sem mecanismos que regulassem o consumo de energia e a relação do edifício com o ambiente. Foi nesse período que os edifícios envidraçados começaram a influenciar o mundo como símbolo do moderno, mas indiferentes às condições do clima, também devido à disponibilidade de energia barata e ao surgimento dos sistemas artificiais de condicionamento de ar e iluminação, garantindo ao projetista maior liberdade em ignorar as características climáticas do local (MACIEL, 2002).

Apenas com a crise do petróleo em 1973 que se começou a perceber de forma sistemática o impacto que o homem vinha causando à natureza. Segundo Goulart (1993), foi nesse período que se começou a estabelecer critérios projetuais que denotavam mais preocupação com as condições locais em que se inseria, motivando a criação do termo “Projeto Bioclimático” pelos irmãos Olgyay em 1973 e aplicando a climatologia à arquitetura e às noções de conforto térmico, conceito que vem ganhando destaque significativamente nos últimos anos.

No Brasil, a crise do apagão em 2001 motivou a criação de ações governamentais que visassem uma maior racionalização da energia elétrica e trazendo de volta as discussões quanto à importância da adequação das edificações às condições climáticas locais, mesmo se dispondo de climatização artificial como alternativa complementar, alternativa essa que ainda é inviável para as camadas da população mais vulneráveis economicamente (COSTA, 2011).

Considerando a habitação em suas dimensões fisiológica, filosófica, psicológica e sociológica, referentes à satisfação das necessidades essenciais para o bem-estar do ser humano (CABRITA, 1990), é importante frisar que respeitar a natureza não significa rejeitar o desenvolvimento, mas adaptá-lo (OLIVEIRA, 1990), em que a redução do uso de energia e o aumento da durabilidade das edificações venha atrelado ao bem-estar dos seus ocupantes.

Para isso, é fundamental se definir as principais variáveis climáticas que impactam nas edificações, ferramentas essenciais para o conhecimento e avaliação das condições locais no processo de planejamento de um edifício. Assim, de acordo com Cunha (2005), as variáveis mais significativas são temperatura do ar, umidade relativa do ar, radiação solar, movimento de ar e precipitação de chuva, tendo os dois primeiros maiores impactos para este trabalho. A partir dessas variáveis, os índices de conforto vêm sendo adaptados e revisados frequentemente, porque não há consenso. No entanto, em geral, os índices podem ser classificados em dois grupos principais que são os modelos adaptativos e os baseados no balanço térmico. Enquanto o primeiro procura relacionar as temperaturas médias mensais com a sensação térmica a partir de experiências em campo e considerando a adaptabilidade dos indivíduos, o segundo utiliza o resultado das trocas de calor entre o corpo humano com o meio que está inserido para avaliar a sensação de conforto (CUNHA, 2010).

Alguns conceitos, muitos difundidos no estudo dessa área, são melhor explicados nos itens a seguir, entre eles temperatura, umidade, velocidade do ar e precipitação. Além disso, como área igualmente importante nesse segmento do conforto ambiental, também se dá uma passeada pelos conceitos e cálculos que envolvem a área da acústica.

2.1.1. Temperatura do ar

A temperatura do ar de um lugar está relacionada a dois parâmetros: os fluxos de ar conduzidos por fatores climáticos de ordem mais ampla e fatores climáticos de ordem mais local (PAPST, 2005). A capacidade desses fatores em interferir na temperatura varia ainda de acordo com a velocidade do ar, tendo o seu efeito reduzido em velocidades mais altas e em maiores altitudes, com influência da topografia, da superfície do solo e da vegetação. Além disso, correntes oceânicas e a proximidade de grandes massas de água também interferem na temperatura do ar, além de atenuar a amplitude térmica nesses locais, conforme descrito por Butera (1995).

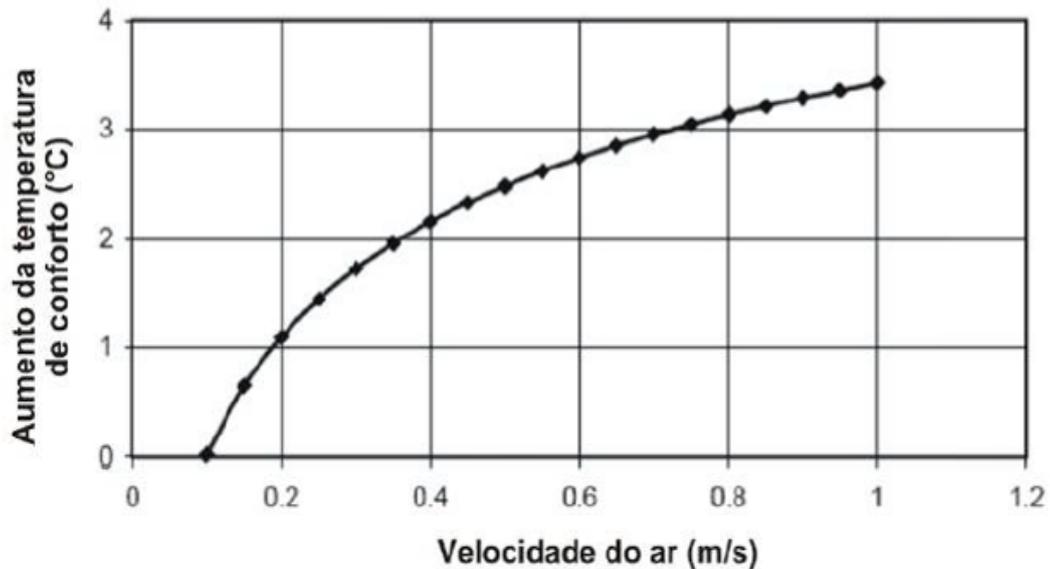
2.1.2. Umidade relativa do ar

A umidade relativa do ar é considerada por Evans e Schiller (1994) como uma das variáveis que mais interferem na sensação de conforto térmico e pode ser definida como a relação entre a quantidade de vapor de água no ar e a quantidade máxima que o ar poderia conter, quando saturado. Quando se há índices de umidade relativa mais alta, dificulta-se a transmissão da radiação solar por ser absorvida em parte pelo vapor de água e espalhado pelas nuvens, de acordo com Papst (2005), diminuindo a amplitude térmica durante o dia e a noite.

2.1.3. Movimento do ar

Gerados a partir de diferenças de pressão entre áreas do globo devido a fenômenos climáticos diversos, o movimento do ar, popularmente chamado de vento, também apresenta variações diárias e características distintas de acordo com a estação. Sua velocidade tem uma tendência a aumentar perto do meio dia, devido ao movimento de convecção do ar quente, que sobe, e do ar frio, que desce devido aos valores mais altos de radiação solar. No final da tarde, há menos ventilação pelo resfriamento do ar. Sua variabilidade e imprevisibilidade dificulta sua avaliação como parâmetro do desempenho térmico dos protótipos, todavia, conforme descrito por Nicol (2004) na Figura 1, com uma ventilação de 1 m/s é possível aumentar o limite da zona superior de conforto em mais de 3 °C.

FIGURA 1: A influência da velocidade do ar no aumento da temperatura de conforto



Fonte: NICOL, 2004.

O gráfico da Figura 1 é limitada em 1m/s não por ser o valor máximo de temperatura a ser somada à zona de conforto, mas por ser o valor que o autor, Nicol (2004) achou mais usual para os usos em estudo.

2.1.4. Precipitação pluvial

Fenômeno conhecido por transformar em água a nebulosidade atmosférica, comumente chamado de chuva, também impactando na sensação de conforto. Como já descrito o potencial da água em diminuir a amplitude térmica, para Sampaio (1999) o fato de o hemisfério norte ter maiores amplitudes térmicas durante o ano em comparação ao sul se deve à quantidade de água. O hemisfério sul é conhecido como hemisfério das águas, diminuindo as variações térmicas.

2.1.5. Acústica

Seja relacionado à iluminação, temperatura, ao olfato, à audição ou qualquer outro parâmetro que interfira na percepção da natureza, atingir um padrão de conforto com adequações ideais desses parâmetros é um dos principais objetivos de qualquer projeto arquitetônico. Como um desses parâmetros, a preocupação com o conforto acústico vem crescendo conforme são estudados os efeitos dos ruídos cada vez mais presentes no dia-a-dia, interferindo na saúde pública com a intensificação de construções de novas rodovias e com a

difusão do uso misto do solo nos bairros antes de uso exclusivamente residencial. Cidades como São Paulo possuem inclusive projetos de lei de incentivo ao uso misto como forma de equilibrar a oferta de habitação e emprego na cidade (PL 688/13).

2.1.5.1. *Propriedades do Som*

Quando se é gerado um estímulo em meio qualquer, fazendo-o vibrar, o som é produzido, devido às variações periódicas na pressão atmosférica em forma de ondas concêntricas e esféricas cujo centro comum é a fonte. Nesse meio, o som se propaga a 330 m/s (AZEVEDO, 2013). Dentro da onda, apesar de ir em todas as direções e preencher todo o volume do espaço em que foi propagado, cada ponto é relativo a um raio sonoro que se movimenta em forma retilínea. Parâmetros como frequência, amplitude e timbre caracterizam os tipos de som e são eles que determinam se um som é agradável ou não, os conhecidos ruídos.

A frequência (f), cuja unidade é a Hertz (Hz), refere-se ao número de ciclos em determinado período de tempo que uma onda sonora completa, geralmente representado pelo número de ciclos de uma onda a cada segundo. Sons inferiores a capacidade auditiva do ser humano são chamados de infrassons, que são em torno de 20 Hz para baixo, e os sons superiores são chamados de ultrassons, que estão em torno de 20.000 Hz para cima. As conhecidas bandas de oitava são sons nas faixas de frequência de 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000 e 8000 Hz indicados para análise pelas Normas Internacionais. A Equação 1 descreve como se calcular a frequência de um som:

$$f = v / \Lambda \quad (1)$$

Na Equação 01 tem-se que “f” é a frequência, “ Λ ” o comprimento de onda e “v” a velocidade de propagação. Não foram utilizados os símbolos usuais, por eles estarem sendo usados em outras equações durante o texto. A velocidade (v) varia conforme o meio em que o som se propaga, quanto mais denso e rígido, maior a velocidade de propagação, mas é também influenciada pela umidade do ar e pela temperatura. Além disso, a absorção de um som pelo meio é diretamente proporcional à sua frequência, motivo pelo qual se escuta primeiro, ao se aproximar de fontes sonoras, os sons mais graves que possuem mais energia pela facilidade de transmissão entre os materiais mais rígidos (SIMÕES, 2011). A Equação 02 descreve a Energia (E) transmitida pelo ruído aéreo ao atingir um meio diferente como:

$$E_{\text{total}} = E_{\text{refletida}} + E_{\text{absorvida}} + E_{\text{transmitida}} \quad (2)$$

A partir disso, tem-se que o coeficiente de transmissão (τ) é a relação entre a energia transmitida (E_t) e a energia incidente (E_i), ou seja, com o incremento da energia transmitida, incrementa-se o coeficiente de transmissão do material, como destaca a Equação 2:

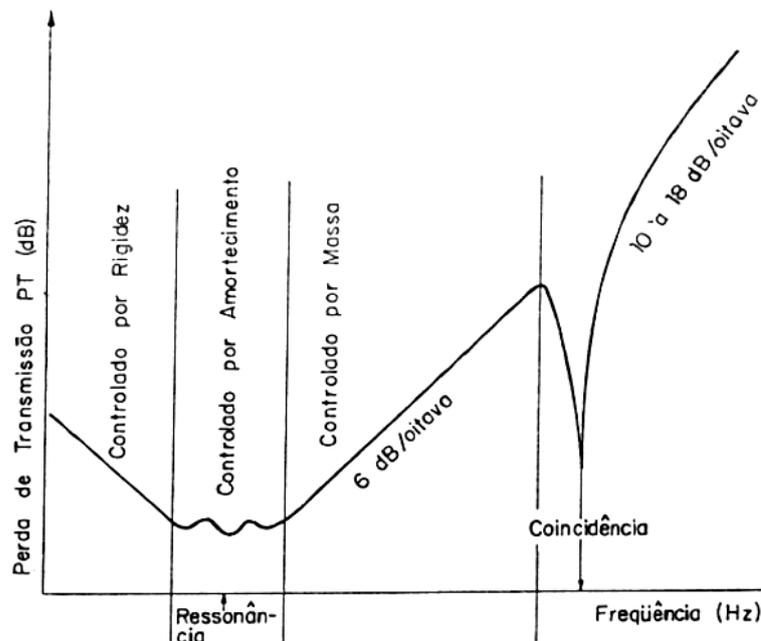
$$\tau = \frac{E_t}{E_i} \quad (3)$$

Obtendo-se o coeficiente de transmissão (τ) de um material, é possível encontrar sua Perda de Transmissão Sonora (PT) ou o Índice de Redução Acústica (R), referente ao seu isolamento em decibéis (dB). Esse valor também pode ser encontrado a partir da frequência (f) do som e da massa (m) do material, como notado na Equação 4:

$$PT = 10 \log \frac{1}{\tau} \quad PT = 20 \log (fm) - 47 \text{ (dB)} \quad (4)$$

Colocando-se a prova a Equação 04 se nota que, ao dobrar a frequência ou a massa por unidade de superfície do material, há um incremento de 4-6dB na Perda de Transmissão, convencionando-se chamar de Lei das Massas (GERGES, 2000). Dessa forma, para paredes simples, o isolamento é função de sua massa e da frequência do som incidente (Figura 2).

FIGURA 2: Curva de perda de transmissão para paredes simples.



Fonte: GERGES (2000).

Dentre essas grandezas, junto com a PT, o principal interesse de observação e quantificação neste trabalho para análise do desempenho acústico do sistema é o Nível de

Pressão Sonora (L_{eq}), que mede a sensibilização do ouvido com o estímulo sonoro e sua unidade pode ser em Pascal (Pa) ou deciBell (dB). Para fins de cálculo, tem-se a relação entre a Pressão Sonora emitida (P) e a Pressão Sonora de Referência (P_0), relativa ao limiar da audição, o equivalente a 20 mPa, ou 2×10^{-5} Pa. A Equação 5 descreve a relação entre as grandezas e a Figura 3 os valores de referência:

$$L_{eq} = 20 \cdot \log \frac{P}{P_0} \qquad L_{eq} = 20 \cdot \log \bar{P} + 94 \quad (5)$$

FIGURA 3: Níveis de ruído em dB

NÍVEIS DE RUÍDO EM dB				
Repousante	Incomodativo	Fatigante	Perigoso	Lesivo
0 dB	50 dB	80 dB	100 dB	120 dB
Dormitório 35 dB	Trânsito 70 dB	Indústria 85 dBA	Britadeira 115 dB	Avião a jato 135 dB

Fonte: Adaptador pelo autor (2020) de SIMÕES (2011).

Devido à variabilidade e não uniformidade de um ruído dentro de um ambiente, o também chamado Nível Sonoro Equivalente (L_{eq}) é utilizado para fins de análise e estudo em que se procura obter o nível sonoro médio durante determinado período de tempo. A leitura é feita pela maioria dos equipamentos de medição e é geralmente feita na Curva A, dB(A), cujo símbolo é " L_{Aeq} ". Assim, considerando que "n" é o número total de leituras e L_i é o nível de pressão sonora lido em resposta rápida, a cada cinco segundos, durante o tempo de medição do ruído, a Equação 6 demonstra como encontrá-lo matematicamente:

$$L_{Aeq} = 10 \log \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n 10^{\frac{L_i}{10}} \quad (6)$$

Nesse contexto, há ainda como se determinar o Isolamento Bruto entre recintos (D) a partir do uso de um decibelímetro para medir a diferença do Nível de Pressão Sonora Equivalente (L_{Aeq}) entre os ambientes (N_1 e N_2) como demonstrado na Equação 7. Ressalta-se que esses valores devem ser corrigidos para um resultado mais preciso.

$$D = N_1 - N_2 \quad (7)$$

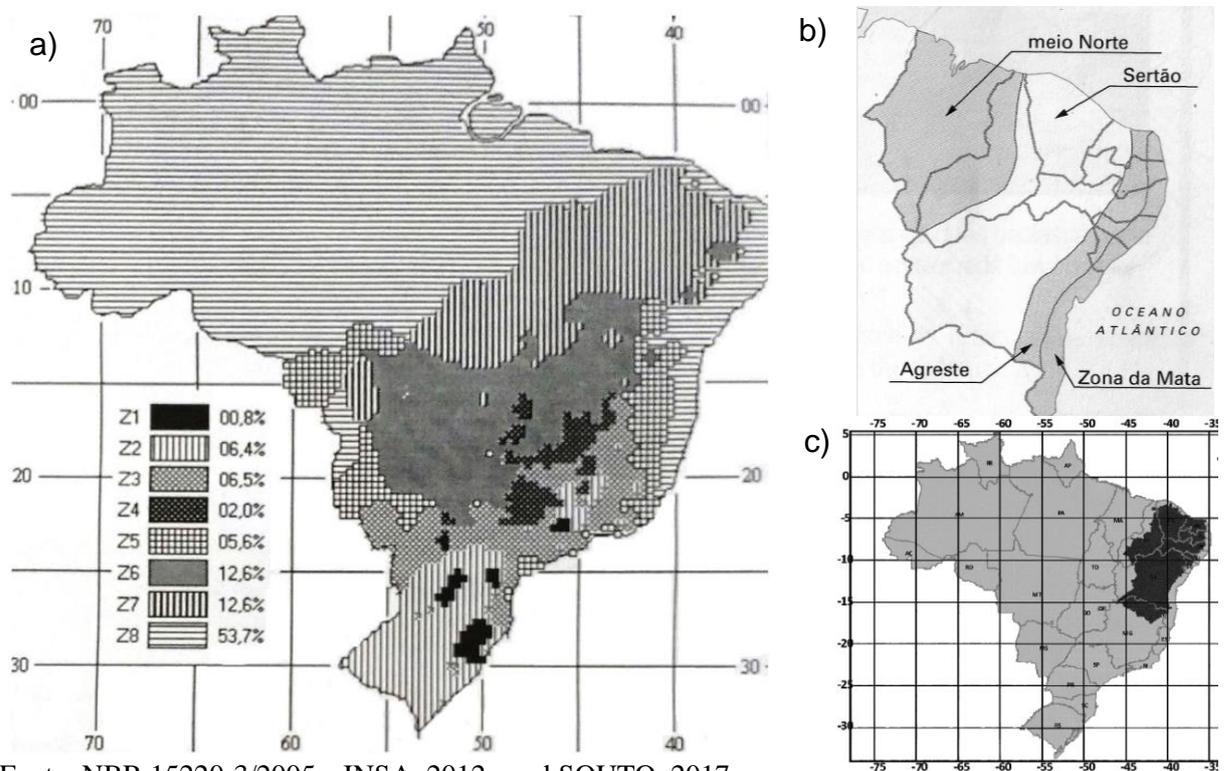
Para fins de análise, estes são os cálculos, fórmulas e teorias que permeiam a área da acústica mais importantes para compreensão do que é trazido aqui, mas ressalta-se que estes se aprofundam com o grau de avaliação e a quantidade de informações desejadas.

2.2. CONTEXTO BIOCLIMÁTICO

Enquanto o município de Pau dos Ferros está enquadrado no Polígono das Secas, conforme Manual de Preenchimento da DITR (Declaração do Imposto sobre a Propriedade Rural) junto a grande parte do Nordeste brasileiro geoeconômico (BRASIL, 2010), tendo sofrido com prolongadas crises de estiagem que dificultaram a vida do sertanejo comum, o município de Natal está no outro extremo do estado, no litoral oriental às margens do oceano Atlântico, apresentado clima também quente, porém úmido e com uma maior influência dos ventos alísios do sudeste.

Com sensações térmicas mais intensas, cerca de 20,4% dos municípios brasileiros estão localizados no Semiárido junto a Pau dos Ferros, segundo dados do INSA (Instituto Nacional do Semiárido, 2012), e conforme pode ser visto na Figura 4 (c). Destes, 1050 dos 1135 municípios integrantes do semiárido são pertencentes à Região Nordeste e 147 dos 167 municípios do Rio Grande do Norte também estão inseridos nessa zona (SOUTO, 2017).

FIGURA 4: a) Zoneamento Bioclimático Brasileiro x b) Zona da Mata x c) Semiárido

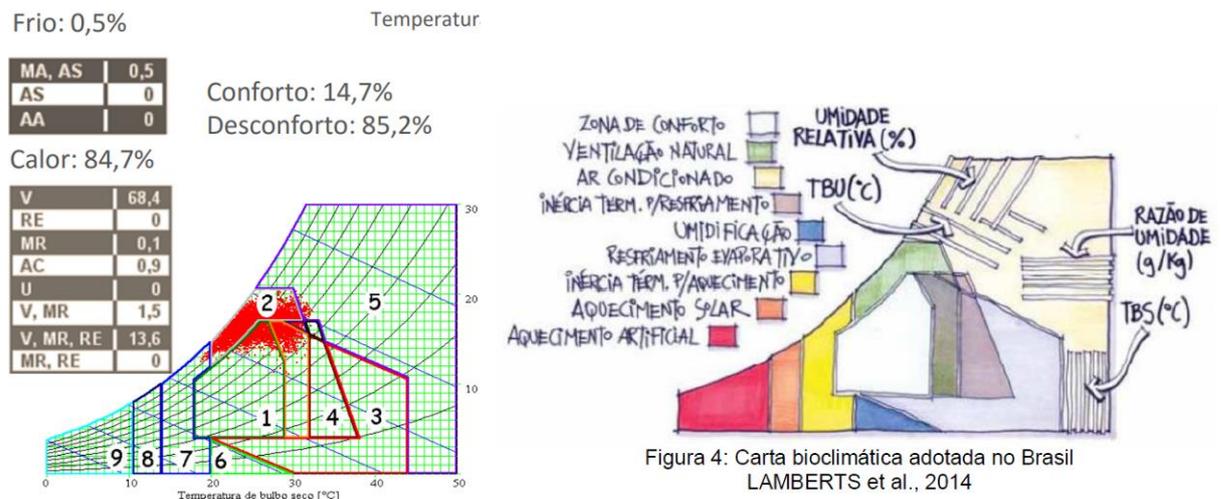


A vegetação predominante nessa região é de plantas resistentes a longos períodos de estiagem, a maioria perde suas folhas para economizar água, adormecendo e acordando ao passo que se chega o período de seca ou de chuvas. Na Figura 3, foi perceptível a interseção

entre a Zona Bioclimática 07 e o espaço geográfico considerado semiárido, além de incluir parte do cerrado brasileiro. Para a Zona Bioclimática 8, que faz interseção com a considerada zona da mata no Nordeste, porém mais abrangente, conhecida por ter a Mata Atlântica como vegetação original e clima tropical úmido.

Com bioclimas diferentes, seria natural que a lógica das construções para as duas zonas fosse diferente, que se focasse em amenizar as condições climáticas locais. No entanto, se observado o interior do estado, é perceptível que as construções mais antigas seguiam essa lógica, mas as mais modernas seguem o mesmo padrão difundido no litoral e no resto do país. A partir dessa percepção, começou-se a categorizar diretrizes que pudessem auxiliar esse processo com base na avaliação do clima desses lugares e classificados por meio da Carta Bioclimática de Givoni (1992), adaptada ao Brasil, cujos principais parâmetros para conforto é temperatura do ar e umidade relativa do ar. Na Figura 5, destaca-se a carta bioclimática de Natal/RN e a estratégia bioclimática relacionada a cada zona de forma didática proposta por Lamberts et al. (2014).

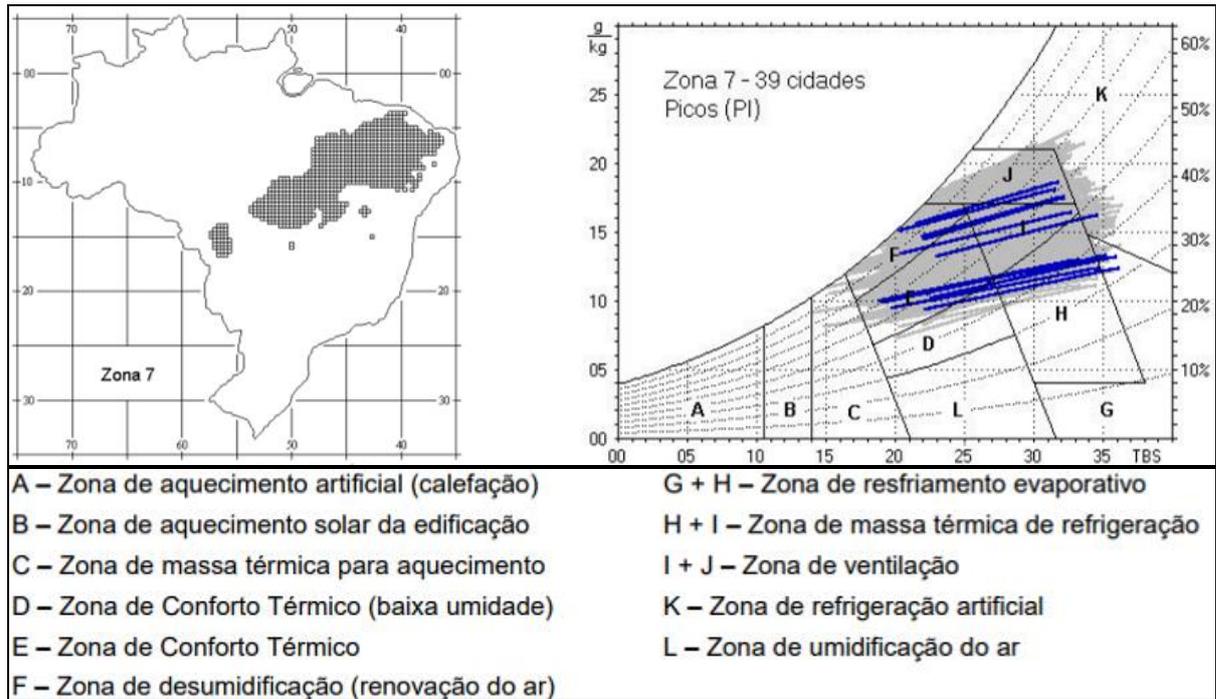
FIGURA 5: Carta Bioclimática de Natal e Estratégias Bioclimáticas



Fonte: LAMBERTS et al., 2014.

Cada ponto vermelho corresponde a um dia do ano, sendo enquadrada em alguma das doze (12) zonas do gráfico que vão de A a L, destacadas na Figura 5, simbolizando estratégias para se reagir a algum desconforto proveniente seja da temperatura, da umidade ou mesmo desses parâmetros combinados. A Zona E é considerada a Zona de Conforto Térmico pela NBR 15220 (Parte 3), ponto que se convencionou como a ideal. Dessas estratégias, destacam-se duas que serão foco deste trabalho: zona de massa térmica de refrigeração e a zona de resfriamento evaporativo. A Figura 6 traz a carta bioclimática de uma cidade da Zona 07.

FIGURA 6: Zona 07 e Carta Bioclimática de Picos (PI)

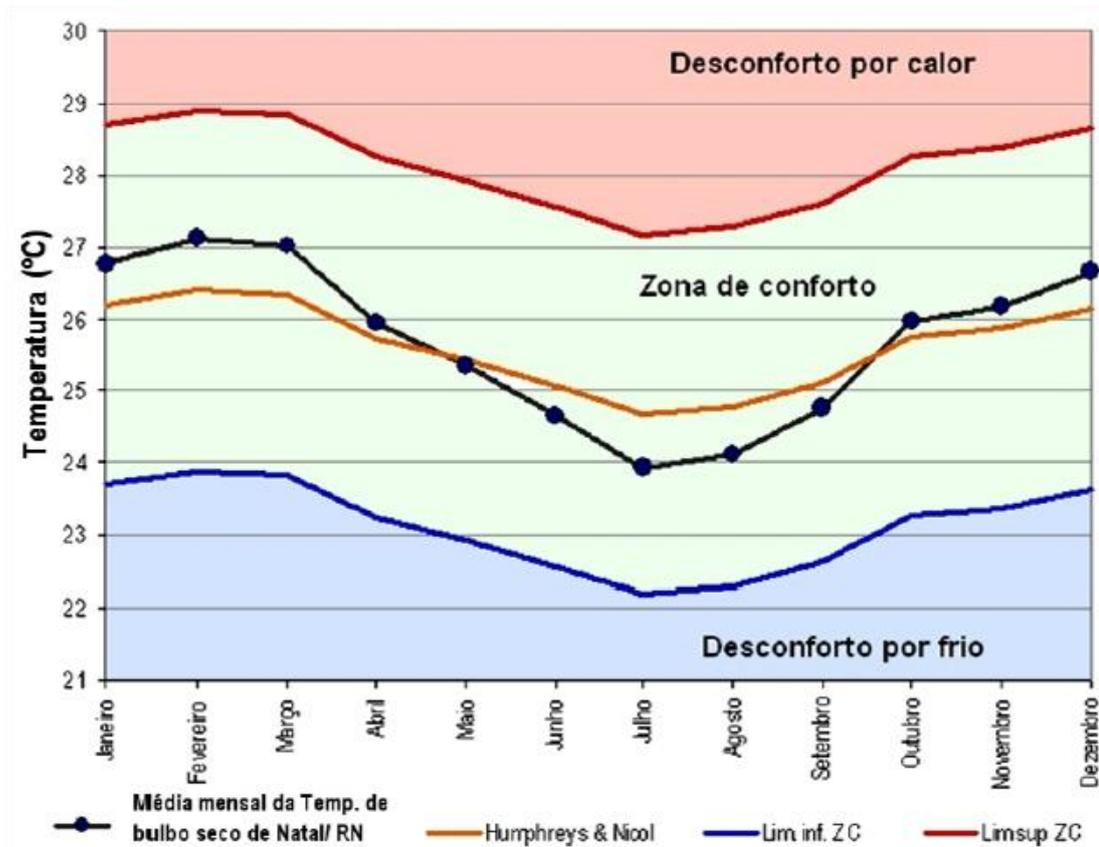


Fonte: ABNT, 2003.

Isso porque, como já destacado, estar na Zona Bioclimática 07 significa que as aberturas para ventilação devem ser pequenas e sombreadas, já que a ventilação pode transportar calor para dentro da edificação, suas vedações, tanto as paredes quanto a cobertura, pesadas, com elevada massa térmica para diminuir a amplitude térmica com o meio externo e gerar um atraso térmico conveniente de acordo com a tipologia da edificação. Além disso, tem-se o resfriamento evaporativo que pode ser obtido através da evaporação de fontes d'água ou se umidificando o ar e as paredes (ABNT, 2003). Esse efeito foi percebido nos conhecidos filtros de barro, cuja refrigeração da água interna se deu pela evaporação da água presente nas paredes do filtro, que capturam calor da água armazenada para isso, eficiente em climas secos e efeito este almejado pelo sistema construtivo aqui proposto.

Com essas duas estratégias em mente, inércia térmica e resfriamento evaporativo, este trabalho utilizou como valores de referência na apresentação dos dados e da avaliação de desempenho a faixa proposta por Humphreys e Nicol para a zona de conforto de Natal (Figura 7) que variam com os meses do ano, chegando a quase 29 °C o limite superior de conforto no verão e caindo para 27 °C no inverno, enquanto que o limite inferior de conforto, ou seja, quando há desconforto pelo frio, vai de quase 24 °C no verão e um pouco mais de 22°C no inverno.

FIGURA 7 : Zona de conforto para Natal segundo Humphreys e Nicol



Fonte: CUNHA (2010).

Foram seguidos alguns parâmetros para a determinação desse sistema com base no descrito na Parte 2 da norma NBR 15220, que introduz os conceitos e as fórmulas de variáveis essenciais para a pesquisa, ajudando a caracterizar o sistema, entre elas: métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos das edificações.

2.2.1. Resistência Térmica (R)

A Resistência Térmica diz respeito à capacidade de um material ou sistema de resistir ao fluxo do calor, sendo obtido através da relação entre a espessura e o Coeficiente de Condutividade Térmica (λ) do material. Em geral, sugere-se que os valores da resistência térmica devem ser obtidos através de ensaios normalizados. Contudo, conforme ISO 6946 (2017), na ausência desses valores recomenda-se que a resistência térmica seja determinada pela Equação 8 a seguir para uma camada homogênea de material sólido.

$$R = e/\lambda \quad (8)$$

Para superfícies de um componente plano constituído de camadas homogêneas, a NBR 15220 (Parte 02) determina que a Resistência Total é obtida pela soma das resistências das n camadas homogêneas, como destacado na Equação 9 a seguir:

$$R_t = R_{t1} + R_{t2} + \dots + R_{tn} + R_{ar1} + R_{ar2} + \dots + R_{arn} \quad (9)$$

2.2.2. Transmitância Térmica (U)

A transmitância térmica, também conhecida como valor U, é a taxa de transferência de calor através de um metro quadrado, dividida pela diferença de temperatura da estrutura. Tem relação direta com a resistência térmica, sendo o inverso desta, conforme Equação 10.

$$U = 1/R_T \quad (10)$$

2.2.3. Condutividade Térmica (λ)

A propriedade física que expõe a habilidade dos materiais de transmitir calor. Pode ser traduzida como a transmissão numa espessura L por quantidade de calor (Q) em direção normal à superfície da área (A). Devido ao gradiente de temperatura ΔT , sob condições de estado fixo e quando a transferência de calor é dependente apenas do gradiente de temperatura.

2.2.4. Calor Específico (c) e Capacidade de Aquecimento Volumétrico (C)

O calor específico de um material descreve a quantidade de energia exigida para se aumentar a temperatura de 1g desse elemento em 1 °C. De acordo com o Sistema Internacional de Unidades (SI), sua unidade é cal/g°C e cresce linearmente em função da temperatura. A Capacidade de Aquecimento Volumétrico é a relação entre a Capacidade Calorífica do elemento e seu volume, definindo a quantidade de calor necessária para se aumentar a temperatura de 1 cm³ do material em 1 °C, representada pela unidade cal/cm³ °C e pela Equação 11, em que "C" é a capacidade de aquecimento volumétrico, "ρ" é a massa específica do material e "c" a sua capacidade calorífica:

$$C = \rho \cdot c \quad (11)$$

2.2.5. Atraso Térmico (ϕ)

O Atraso Térmico quantifica o tempo que se leva para que, a partir de uma ocorrência da temperatura máxima do ar no exterior e no interior da edificação, se verifique um fluxo de calor através de um componente construtivo submetido a uma variação periódica da temperatura do ar no exterior (ABNT, 2003). Em uma superfície homogênea, com espessura “e”, o atraso térmico pode ser estimado pela Equação 12, em que “ λ ” é a condutividade térmica do material, “ ρ ” é a densidade de massa aparente, “c” é o calor específico, “ R_T ” é a resistência térmica de superfície a superfície do componente e “ C_T ” a capacidade térmica:

$$\phi = 1,382.e.\sqrt{\rho.c/3,6.\lambda} \quad \phi = 0,7284.\sqrt{R_T.C_T} \quad (12)$$

Quando se tem um sistema constituído por diferentes materiais perpendiculares ao fluxo de calor, o atraso térmico varia conforme a ordem das camadas. Para calor específico quando em (kJ/(Kg.K)), o atraso térmico é determinado através da Equação 13, que não será fruto de aprofundamento neste trabalho, mas que é apresentada como mais uma alternativa às opções anteriores pela norma (ABNT, 2003):

$$\phi = 1,382.R_T.\sqrt{B_1 + B_2} \quad (13)$$

2.2.6. Fator de Calor Solar (FS)

Quanto ao Fator de Calor Solar, este diz respeito ao quociente da energia solar absorvida por um componente pela energia solar total incidente sobre a superfície externa do mesmo (ABNT, 2003), como destacado a seguir pela Equação 14:

$$FS = 4.U.\alpha \quad (14)$$

2.2.7. Requisitos para as Zonas Bioclimáticas 07 e 08

Apresentados os principais parâmetros a serem observados para desenvolvimento do sistema, traz-se aqui as recomendações da Zona Bioclimáticas para cada um. A Figura 8 destaca a faixa ideal para a Transmitância Térmica, o Atraso Térmico e o Fator de Calor Solar para as vedações externas, que este trabalho procura alcançar.

FIGURA 8: Parâmetros de avaliação das vedações para cada Zona Bioclimática

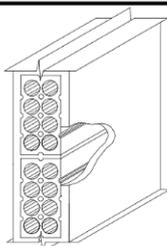
MÉTODO	TIPO	PARÂMETROS								
		ZONAS BIOCLIMÁTICAS								
		1	2	3	4	5	6	7	8	
Norma de Desempenho Térmico	Método Simplificado	$U \leq 3,00 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$	$U \leq 3,00$	$U \leq 3,60$	$U \leq 2,20$	$U \leq 3,60$	$U \leq 2,20$	$U \leq 2,20$	$U \leq 3,60$	
		$\phi \leq 4,3 \text{ horas}$	$\phi \leq 4,3$	$\phi \leq 4,3$	$\phi \leq 6,5$	$\phi \leq 4,3$	$\phi \leq 6,5$	$\phi \leq 6,5$	$\phi \leq 4,3$	
		$\text{FCS} \leq 5,0\%$	$\text{FCS} \leq 5,0$	$\text{FCS} \leq 4,0$	$\text{FCS} \leq 3,5$	$\text{FCS} \leq 4,0$	$\text{FCS} \leq 3,5$	$\text{FCS} \leq 3,5$	$\text{FCS} \leq 4,0$	
Projeto de Norma de Desempenho de Edifício de até Cinco Pavimentos	Método Simplificado	$U \leq 2,50 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$		$\alpha < 0,6$	$U \leq 3,70$					
				$\alpha \geq 0,6$	$U \leq 2,50$					
		$C_T \geq 130 \text{ kJ/m}^2 \cdot \text{K}$						$C_T \geq 45$		
Projeto de Norma de Desempenho de Edifício de até Cinco Pavimentos	Método por desemp	M	Verão	Temp. máxima interna \leq Temp. máxima exterior						
			Inverno	Temp. mínima $> 12 \text{ }^\circ\text{C}$				Sem verificação do critério		
		I	Verão	Temp. máxima interna $\leq 29 \text{ }^\circ\text{C}$					Tem. Máxima interna $< 28 \text{ }^\circ\text{C}$	
			Inverno	Temp. mínima $\geq 15 \text{ }^\circ\text{C}$					Sem verificação do critério	
		S	Verão	Temp. máxima interna $\leq 27 \text{ }^\circ\text{C}$					Temp. máxima interna $\leq 26 \text{ }^\circ\text{C}$	
			Inverno	Temp. mínima $\geq 17 \text{ }^\circ\text{C}$					Sem verificação do critério	
Horas de desconforto	Método por desemp	Verão e inverno	Quantidade anual de horas de temperatura interna fora dos intervalos de $18 \text{ }^\circ\text{C}$ e $29 \text{ }^\circ\text{C}$ devem ser < 1.000 horas							

U = Transmitância térmica
 ϕ = Atraso térmico
 FCS = Fator de calor solar
 α = Absorvitividade
 C_T = Capacidade térmica
 M = Desempenho mínimo
 I = Desempenho intermediário
 S = Desempenho superior

Fonte: GIGLIO e BARBOSA (2006).

Para se ter uma melhor noção do que esses valores representam em termos de construções reais, o Quadro 1 destaca de forma simplificada os valores para cada um desses parâmetros em uma parede de alvenaria comum, constatando rapidamente sua ineficiência para a Zona 07.

QUADRO 1: Transmitância, atraso e capacidade térmica para alvenaria convencional

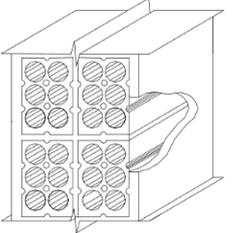
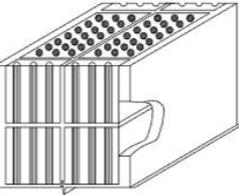
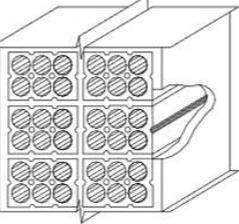
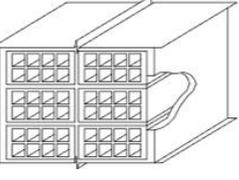
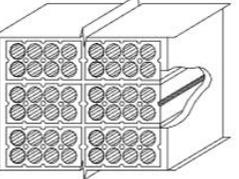
Parede	Descrição	U [$\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$]	C_T [$\text{kJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$]	ϕ [horas]
	Parede de tijolos de 8 furos circulares, assentados na menor dimensão Dimens. tijolo: 10,0x20,0x20,0 cm Espessura arg. de assent.: 1,0 cm Espessura arg. de emboço: 2,5 cm Espessura total da parede: 15,0 cm	2,24	167	3,7

Fonte: ABNT, 2003.

No entanto, é possível se atingir os requisitos exigidos pela norma com alvenaria, mas necessitaria de mais massa e, conseqüentemente, mais custos com tijolos e argamassa, tornando a obra mais cara e menos apelativa a quem vem investindo nessas edificações. O

Quadro 2 ilustra exemplos retirados da NBR 15220 (Parte 3) de sistemas que se adequariam à Zona Bioclimática 07, mas que não foram bem absorvidos pelo mercado.

QUADRO 2: Bom desempenho para alvenarias duplas.

	Parede dupla de tijolos de 6 furos circulares, assentados na menor dimensão Dimens. tijolo: 10,0x15,0x20,0 cm Espessura arg. de assent.: 1,0 cm Espessura arg. de emboço: 2,5 cm Espessura total da parede: 26,0 cm	1,52	248	6,5
	Parede dupla de tijolos de 21 furos circulares, assentados na menor dimensão Dimens. tijolo: 12,0x11,0x25,0 cm Espessura arg. de assent.: 1,0 cm Espessura arg. de emboço: 2,5 cm Espessura total da parede: 30,0 cm	1,54	368	8,1
	Parede dupla de tijolos de 6 furos circulares, assentados na maior dimensão Dimens. tijolo: 10,0x15,0x20,0 cm Espessura arg. de assent.: 1,0 cm Espessura arg. de emboço: 2,5 cm Espessura total da parede: 36,0 cm	1,21	312	8,6
	Parede dupla de tijolos de 8 furos quadrados, assentados na maior dimensão Dimens. tijolo: 9,0x19,0x19,0 cm Espessura arg. de assent.: 1,0 cm Espessura arg. de emboço: 2,5 cm Espessura total da parede: 44,0 cm	1,12	364	9,9
	Parede dupla de tijolos de 8 furos circulares, assentados na maior dimensão Dimens. tijolo: 10,0x20,0x20,0 cm Espessura arg. de assent.: 1,0 cm Espessura arg. de emboço: 2,5 cm Espessura total da parede: 46,0 cm	0,98	368	10,8

Fonte: ABNT, 2003.

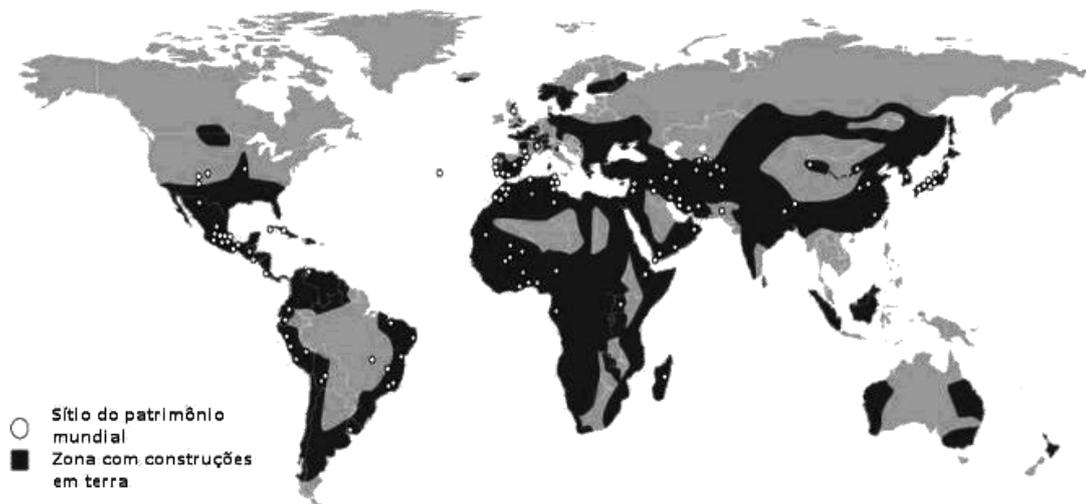
É insustentável investir em mais massa térmica quando esta potencializaria a degradação ambiental causada pelas edificações e intensificaria o uso de recursos naturais ao se aumentar a necessidade de blocos cerâmicos e cimento para a mesma área de parede. É nesse sentido que o solo surge como uma solução viável por ser uma matéria-prima abundante, de baixo custo e com boas propriedades térmicas.

2.3. CONSTRUÇÕES EM TERRA

As construções em terra são tão antigas quanto a própria noção de civilização, constituindo um conjunto de técnicas que tem como matéria-prima principal o solo. São vários os exemplos de edificações em terra que se mantém através dos milênios. Há vestígios de fundações em taipa de pilão que remontam à 9000 a.C. na Palestina (PROMPT e BORELLA, 2010) e ruínas do muro de Jericó executado em 8300 a.C. (ASTM, 2010).

Algumas dessas obras ainda estão em uso até hoje, indo na contramão do que se convencionou da fragilidade e pouca durabilidade desse tipo de construção, como a Muralha da China de 220 a.C., o Castelo de Baños de la Encina, na Espanha, de 968 a.C., e a mesquita de Djénne, em Mali, de 1280 a.C., maior construção em terra do mundo (SANTOS, 2015). A Figura 9 mostra a distribuição das construções em terra no mundo e os pontos brancos destacam patrimônios mundiais.

FIGURA 9: Construções em terra crua no mundo e as listadas no patrimônio mundial



Fonte: Editado por autor (2020) a partir de ©CRATerre - Earthen architecture in today's world (2012).

Nos últimos anos, com a retomada de uma consciência ecológica devido à crise ambiental e energética que o mundo vem sofrendo, algumas técnicas construtivas tradicionais foram deixadas de lado em prol de uma modernidade e industrialização dos meios de produção, mas a discussão em torno de seus benefícios em comparação às técnicas atuais está voltando à tona. A terra vem como um material de grande abundância, encontrado no mundo inteiro, barato, incombustível, reciclável e reutilizável com propriedades termoacústicas superiores a grande parte dos materiais atualmente no mercado (PISANI, 2006).

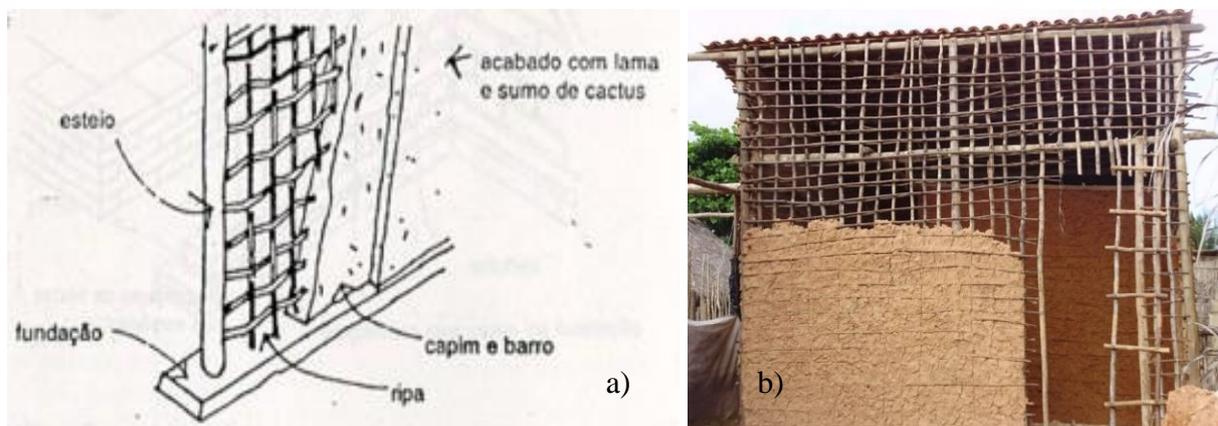
Lourenço (2002) reforça que ainda é necessário recorrer ao cimento para garantir alguns padrões de qualidade atuais, devido às suas limitações como por exemplo sua permeabilidade e suscetibilidade à água, exigindo do projetista a utilização de estratégias como elementos arquitetônicos de proteção ou camadas impermeáveis (PISANI, 2006).

Trazidas pelos portugueses para o Brasil, as construções em terra mais tradicionais do país são a taipa de mão, a taipa de pilão e o adobe, mas as construções em terra ensacada estão ganhando cada vez mais espaço. Sempre associadas a um passado de condições precárias, é essencial que estas técnicas se modernizem às necessidades do mundo contemporâneo, se adequando às exigências não só funcionais e estruturais, mas também estéticas.

2.3.1. Taipa de Mão

A taipa de mão ou pau-a-pique, Figura 10, muito comum no Nordeste, é uma técnica versátil, adaptável e de baixo custo e é assim chamada devido à forma como é executada, em que se é feita uma estrutura com toras de madeira, geralmente naturais, encontrados na região, e são preenchidas manualmente com barro úmido.

FIGURA 10: Taipa de mão (a) esquema interno (b) foto de execução



Fonte: História das Artes, 2016; Coisas da Roça, 2017.

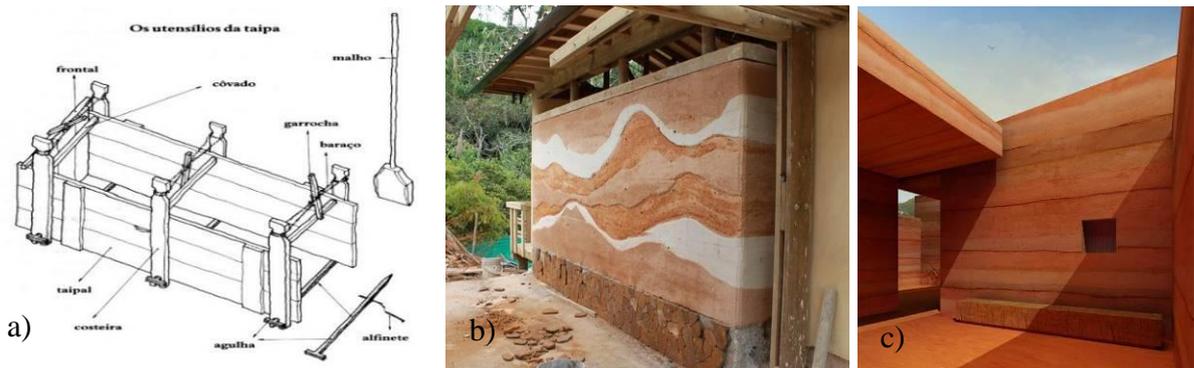
O uso da água de amassamento sem controle e o desconhecimento de estratégias para se reduzir a retração do barro acabam gerando fissuras durante a secagem, problema resolvível, mas que culminaram na estigmatização do sistema no interior do Nordeste por algo que poderia ser revertido apenas com a divulgação de sua correta execução.

Há variações modernas dessa técnica, como por exemplo uma que utiliza garrafas de plástico PET para preencher o espaço entre as ripas para dar um maior isolamento, chamado de PET-a-pique (MARIGONI e TIMMERMANN, 2011).

2.3.2. Taipa de Pilão

A taipa de pilão se refere a técnica de terra compactada entre fôrmas, geralmente de madeira, chamadas de taipol. Como ilustrado na Figura 11, a técnica não exige nenhum tipo de malha ou ripamento interno, sendo executada através do apiloamento do solo em camadas sucessivas dentro de fôrmas de madeira.

FIGURA 11: Taipa de pilão (a) esquema de execução (b) (c) fotos de execução



Fonte: Arquitetura de terra, 2012; Recriar com Você, 2017; TEM Sustentável, 2016.

Atualmente, é uma das técnicas de construção em terra mais conhecidas e utilizadas devido ao efeito estético obtido e à maior facilidade de execução trazida com os estudos de estabilizantes químicos e de compactadores pneumáticos (SANTOS, 2015).

2.3.3. Adobe

O adobe é uma das mais antigas técnicas de construção em terra do mundo, cujos blocos (Figura 12) ainda são produzidos para construção de edificações em todos os continentes habitados (SANTOS, 2015).

FIGURA 12: Adobe (a) produção dos blocos (b) levantamento das paredes



Fonte: Intermundos, 2012.

O tijolo de é produzido a partir do solo argiloso úmido geralmente com adição de fibras e em moldes diversos, podendo ter uma produção por extrusão. A princípio pensados para serem feitos a mão, hoje há produção com auxílio de maquinário (SANTOS, 2015).

Sua principal desvantagem está no tempo de execução, na necessidade de grandes espaços para armazenamento e no fato que deve secar à sombra. Suas vantagens são a possibilidade de tamanhos e formatos variados e execução similar à alvenaria tradicional, inclusive sendo permitido o mesmo efeito estético.

2.3.4. Construções com Terra Ensacada (CTE)

Novas técnicas, ou mesmo vêm surgindo baseadas nas técnicas tradicionais, como as Construções com Terra Ensacada (CTE). As CTE constituem um grupo de técnicas caracterizado pela execução de estruturas a partir de sacos preenchidos com terra estabilizada ou não, constituindo uma gama de sistemas construtivos portantes ou não que vão desde fundações, paredes ou até mesmo coberturas, como destacado por Santos (2015). Enquadrados nesse grupo, há técnicas como Earthbag Building, taipa ensacada, Superadobe, Hiperadobe e Brickeradobe, sendo essas três últimas melhor detalhadas nos próximos itens.

Essas técnicas, algumas relativamente recentes, ainda são pouco estudadas, dificultando alguns cálculos e previsões e aumentando a variabilidade de parâmetros, especialmente ao se considerar que cada solo possui particularidades o que exigiria serem testados isoladamente. Entre as suas vantagens estão o baixo impacto ambiental, a execução de estruturas portantes e em formatos mais orgânicos, a solidez da estrutura, considerada a prova de terremotos e furacões, além da baixa complexidade tecnológica (SAMPAIO, 2017).

No Brasil, essas técnicas ainda são pouco difundidas no setor da construção civil, devido ao seu caráter mais artesanal e aos preconceitos embutidos, tendo divulgação restrita a grupos de Permacultura e Organizações Não-Governamentais (ONG) junto a outros materiais de baixa energia acumulada (SANTOS, 2015).

2.3.4.1. Superadobe

Apesar disso, a principal técnica em terra ensacada que rapidamente se difundiu pelo mundo foi o Superadobe (Figura 13), cujo surgimento se deve ao iraniano Nader Khalil que propôs um sistema de sacos longos em forma de tubo entremeados com arame farpado para construir na Lua e em Marte num trabalho publicado em simpósio organizado pela NASA

intitulado “Bases lunares e atividades espaciais do século 21” (SANTOS, 2015) na década de 1980. Trabalhou também na criação de alojamento em campos de refugiados, entre outros projetos com o uso do Superadobe, como consultor da NASA e das Nações Unidas (ONU).

FIGURA 13: Superadobe (a) levantamento das paredes (b) Restaurante Camarões em Natal



Fonte: Pinterest, 2017

Entre as vantagens desse sistema, destaca-se o apelo estético particular e único (Figura 14), assim como a facilidade de se executar paredes em formatos mais orgânicos e sua capacidade de ser autoportante ao se comportar como um sistema monolítico. Das técnicas em terra moderna é uma das que vem mais sendo estudada como melhor descrito no item 2.4 deste trabalho. Sua maior desvantagem está na dificuldade de se trabalhar com formas mais ortogonais e planas e no esforço para execução, sendo necessária mais mão-de-obra. O fato do saco ter que ser queimado no final para aplicação do reboco e de se utilizar arames para aderência entre camadas também é um complicador.

FIGURA 14: Construção em superadobe moderna



Fonte: Pinterest, 2017

2.3.4.2. Hiperadobe

Proposto como uma adaptação do Superadobe, o Hiperadobe foi desenvolvido pelo brasileiro Fernando Pacheco, engenheiro civil, que troca o saco plástico por sacos feitos de tela plástica de polietileno de alta intensidade (PEAD) em malha Raschel, melhorando a aderência entre as camadas e entre a parede e o reboco, não sendo necessário queimar os sacos no final (Figura 16). Além disso, por ser vazado é mais leve e custa menos que o saco convencional (GEISES, 2011 apud SANTOS, 2015).

FIGURA 15: Hiperadobe (a) apiloamento lateral (d) detalhe do saco raschel



Fonte: www.thepicta.com, 2017

Assim como o Superadobe, o Hiperadobe possui uma estética diferenciada que permite trabalhar bem com formas orgânicas e curvas. Contudo, nesse sistema o arame entre fiadas é dispensável pela aderência ser garantida pelo contato do solo úmido entre fiadas e o atrito gerado pelo saco de raschel. Além disso, não é necessário queimar o saco, já que ele ajuda o reboco a aderir na parede.

2.3.4.3. Brickeradobe

Por último, o Brickeradobe, também proposto por Fernando Pacheco como mais uma alternativa ao Superadobe e ao Hiperadobe, utiliza o mesmo tipo de material que o Hiperadobe, mas num formato diferente, o saco de raschel. Mas, principal diferença está na fôrma, o Brickeradobe é moldado como um tijolo de adobe ensacado (Figura 16), dando a possibilidade de se construir paredes ortogonais em ângulos retos e eliminando a necessidade de apiloar a terra sob as paredes,

FIGURA 16: Brickeradobe (a) fôrma (b) detalhe das fiadas (c) levantamento das paredes



Fonte: UFSC, 2013

Como pode ser produzido em momentos e espaços diferentes, além da fácil assimilação da sua execução, considerando que se assemelha à técnica da alvenaria convencional, esse bloco é o que mais se assemelha a um padrão do que seria uma técnica em terra que pudesse se adaptar aos anseios da sociedade contemporânea, devido à liberdade formal e estética próximas aos aspirados e trabalhados no setor da construção civil. Nesse sentido, é o ponto de partida formal deste trabalho.

2.3.5. Discussão sobre os sistemas em terra

As construções em terra foram se desenvolvendo conforme as culturas que a adotavam, mas, com o surgimento de materiais como o aço e o cimento, sofreram uma interrupção (SANTOS, 2015) e acabaram sendo deixadas de lado na corrida tecnológica. Assim, como destacado por Minke (2001, p.16), “o barro como material de construção perdeu a sua credibilidade devido ao desconhecimento de suas amplas possibilidades”. Construir com terra passou a ser sinal da pobreza, já que o aço, o cimento e mesmo o barro cozido passaram a serem vendidos como de “melhor qualidade” pela construção civil.

Soma-se a isso o precário conhecimento técnico acerca dos sistemas e o emprego inadequado desse conhecimento, levando a uma compreensão equivocada dessas tecnologias. Nesse ciclo vicioso, a taipa acabou se tornando um problema de saúde pública em muitas áreas do Brasil, não pelo seu desempenho, mas devido a problemas de execução pouco discutidos e esclarecidos que permitiam a proliferação de insetos como o barbeiro, vetor da Doença de Chagas (SANTOS, 2015) e instigando a produção de matérias com título alarmista como a que se intitula “Casas de taipa são ameaça à saúde” (Jornal Nacional, 2010), reiterando a relação desse tipo de construção a um estilo de vida subdesenvolvido e perigoso. A educação, a conscientização e o ensino da correta forma de construir seriam formas de solucionar esse problema e garantir uma possibilidade de baixo custo para a população, mas nada foi feito a esse respeito, aprisionando a técnica a um estigma que vai além do social e

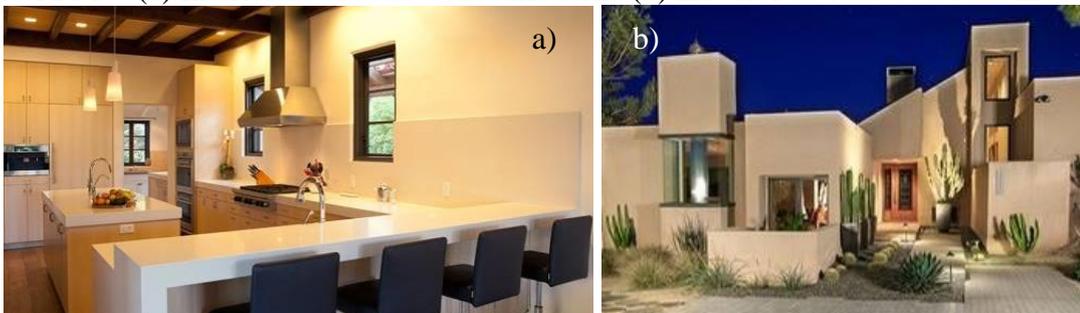
atinge a escala de saúde coletiva, retratos de lugares onde a necessidade de moradia atrelada à falta de opção foi o motivo de aplicação dessas técnicas (FRANKE, 2017).

Em contrapartida a isso, desponta na década de 1980 o pensamento sustentável de forma mais organizada, instigando uma crescente busca por alternativas às técnicas tradicionais, como as que utilizam terra, e fomentando o surgimento de normas específicas (SANTOS, 2015). Essa busca se torna mais urgente ao se considerar dados como os trazidos por Fernandes (2013) que a construção civil sozinha é responsável pelo consumo de 50 a 75% dos recursos naturais do planeta, por 40% do consumo energético e 40% do CO₂ emitido.

Para serem produzidos, materiais altamente industrializados como cimento, aço e blocos cerâmicos necessitam em seu ciclo de vida de alta energia incorporada, além de emitir dióxido de carbono na atmosfera e liberar toxinas na natureza. Os recursos naturais estão rapidamente sendo consumidos devido à utilização de grandes volumes desses materiais, gerando ainda resíduos ao longo de todo o ciclo de vida da edificação (CBCS, 2007). Diminuir seu uso deveria ser uma das principais metas do setor da construção civil, até porque a escassez de recursos em razão de seu uso desenfreado é um ponto negativo para si próprio.

Assim, como já amplamente discutido, a proposta de um sistema construtivo deve valorizar elementos intrínsecos e particulares da região, como clima, território e cultura em oposição à produção em massa de edificações que se observa atualmente. Nesse sentido, mais do que a procura por uma rusticidade típica das construções sertanejas, esse trabalho buscou viabilizar um sistema construtivo mais natural e que possa ser aplicado no mercado como qualquer outra técnica convencional. Por um lado, é importante que os sistemas sejam flexíveis e também possam trazer uma linguagem mais moderna que respeite os anseios estéticos e tecnológicos da sociedade nos dias de hoje, como destacado na Figura 17.

FIGURA 17: (a) Interior de casa de adobe moderna (b) Exterior de casa de adobe moderna



Fonte: DUTTON ARCHITECTS, 2016; HOUZZ, 2020.

Por outro, pode ser utilizado como um resgate dos valores e identidades locais, retratando sistemas construtivos mais antigos ou mesmo valorizando a rusticidade estética que

os sistemas em terra proporcionam. Todavia, para isso, faz-se necessário que haja normas e ensaios específicos para se testar o sistema e garanta que funcione de maneira adequada e com segurança. Já existem algumas normas nacionais e internacionais a esse respeito, mas em geral se detém às técnicas com solo estabilizado. Poucas se detém ao solo não estabilizado e, destas, as que tem se focam mais em tijolos de adobe ou BTC (Bloco de Terra Comprimido), gerando uma grande lacuna, como pode ser visto no Quadro 3. Cid, Mazarron e Guerrero (2011) trazem algumas normas relativas a construções em terra crua não estabilizada e que tratam não só de adobe e BTC, mas de taipa de pilão e terra ensacada também.

QUADRO 3: Bom desempenho para alvenarias duplas.

Pais/Grupo	Norma/regulamento	Ano	Ref. Técnica	Campo de aplicação	Seleção de solos	Requisitos dos produtos	Ensaio	Fabricação	Construção	Projeto	
Estados Unidos da América	NMAC, 14.7.4, 2004	2004	1	Adobes, blocos de terra comprimida e taipa	Regulamento de construção	x	x	x		x	
	ASTM E2392 M-10	2011	2	Adobe, taipa	Guia para construção de sistemas com terra	x		x	x	x	
Nova Zelândia	NZS 4297	1998	3	Adobes, blocos de terra comprimida, taipa e terra vertida	Projeto estrutural e durabilidade das edificações com terra.					x	x
	NZS 4298	1998	4		Caracterização dos materiais e especificações de construção para o uso da terra crua. Procedimentos de ensaios.	x	x	x	x	x	
	NZS 4299	1999	5	Adobes, blocos de terra comprimida e taipa	Requisitos de projeto e construção para adobe e blocos comprimidos ou taipa que não necessitem de projeto específico.#					x	x
Zimbábue	SAZS 724	2001	6	Taipa	Guias para o projeto, construção e ensaios para estruturas de taipa.	x	x	x		x	x

Fonte: SANTOS, 2015 adaptado de Cid, Mazarron e Guerrero (2011).

Das trazidas no Quadro 3, apenas a ASTM E2392 M-10 (2011) tratou de terra ensacada, mas de maneira superficial, sugerindo recomendações durante a construção. As normas NZS 4297 e NZS 4298 são as que mais se aproximam ao que esse trabalho necessita, sugerindo alguns ensaios tanto de campo como de laboratório, mas sempre de forma superficial, sem destaque específico às propriedades físico-mecânicas dos sistemas. Devido a essa carência e à necessidade de um rigor técnico, este estudo se baseou nas normas vigentes da ABNT para solo-cimento e para argamassa, considerando o perfil intermediário do sistema por não ser exatamente nem um nem o outro, mas sempre ressaltando que estas normas não são as mais adequadas.

2.3.6. Quadro Resumo dos Sistemas

Considerando os sistemas mais importantes aqui discutidos, tem-se abaixo um quadro-resumo que destaca as vantagens e desvantagens de cada um deles, considerando o contexto aqui proposto. Nota-se que tanto as qualidades como os defeitos de cada um ajudam a moldar o novo sistema, delineando como deve se comportar, dado o conhecimento trazido pelas técnicas anteriores.

QUADRO 4: Quadro comparativo dos sistemas construtivos em terra discutidos

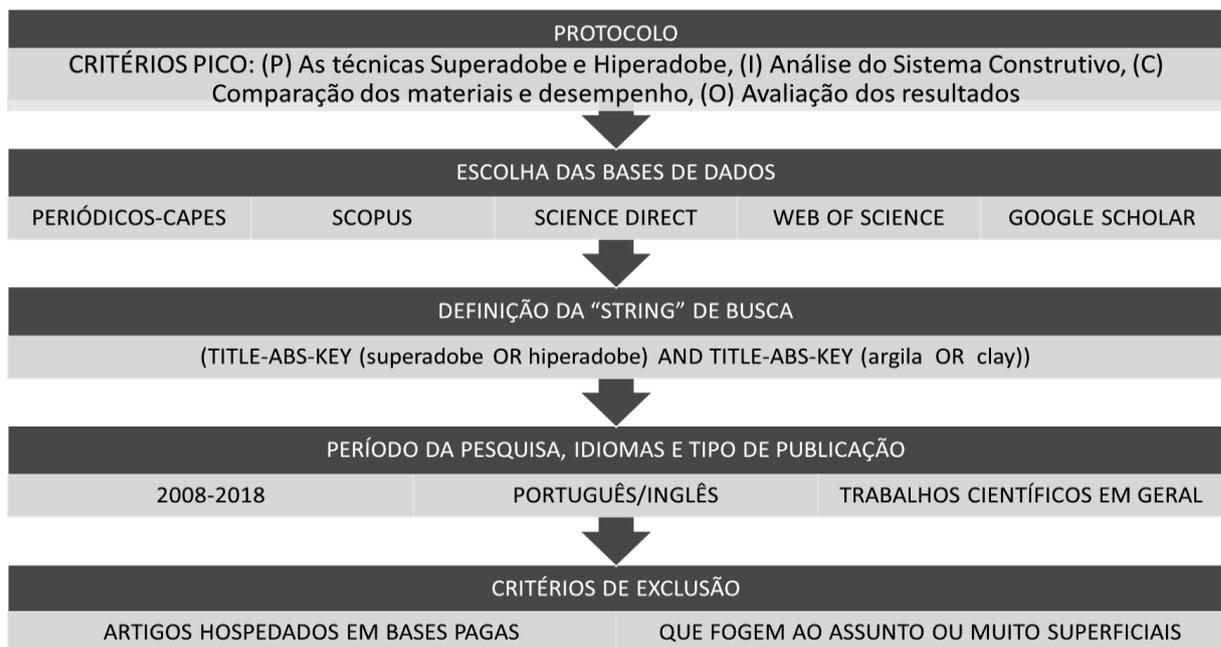
QUADRO RESUMO				
TÉCNICA	ENVÓLUCRO	EXECUÇÃO	VANTAGENS	DESVANTAGENS
Taipa de Mão	X	Mais artesanal, exige esforço físico médio	Edificação como escultura, amplamente conhecido e com maior disponibilidade de materiais	Edificação como escultura, muita variabilidade na execução e de controle dos traços
Taipa de Pilão	X	Apiloamento do solo em fomas de madeira, camada a camada, exigindo grande esforço físico (quando feito manualmente)	Apelo estético diferenciado, paredes com livre forma a depender da fôrma, alta compactação, campo de estudo em crescimento. Espessura a depender da necessidade.	Necessidade de muitas fôrmas e muito esforço físico para a execução, necessitando ficar sob a parede.
Adobe	X	Como tijolo normal, mas cru.	Tamanho e formatos variados, técnica construtiva muito conhecida por se aproximar da alvenaria tradicional. Espessura a depende da fôrma.	Permeável, precisa ser impermeabilizado para funcionar externamente, necessita maior cuidado no traço, secagem à sombra, precisa de muito espaço e/ou condições climáticas favoráveis.
Superadobe	Saco de propileno em rolo	Apiloamento do solo dentro dos sacos, camada a camada, exigindo grande esforço físico (quando feito manualmente)	Apelo estético diferenciado, paredes com formatos mais orgânicos, não ortogonais, envólucro impermeável. Estrutura monolítica.	Saco impermeável precisa ser queimado para a parede respirar, muito esforço físico para a execução, necessitando ficar sob a parede.
Hiperadobe	Saco de Raschel em rolo	Apiloamento do solo dentro dos sacos, camada a camada, exigindo grande esforço físico (quando feito manualmente)	Apelo estético diferenciado, paredes com formatos mais orgânicos, não ortogonais, invólucro permeável, facilita a adesão entre camadas e o assentamento do reboco. Estrutura monolítica.	Saco permeável precisa ser impermeabilizado para funcionar externamente, muito esforço físico para a execução, necessitando ficar sob a parede.
Brickeradobe	Saco de Raschel individual	Compactação do solo em formas como tijolos e executados como alvenaria, exigindo médio esforço físico	Executado como tijolo, exigindo menor esforço físico em relação ao hiperadobe, paredes ortogonais, invólucro permeável, facilita a adesão entre camadas e o assentamento do reboco	Saco permeável precisa ser impermeabilizado para funcionar externamente, sem liberdade formal, pouquíssimos estudos a respeito.

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

2.4. REVISÃO SISTEMÁTICA DE LITERATURA SOBRE SUPERADOBE E HIPERADOBE

Este estudo consistiu em uma revisão sistemática da literatura científica sobre construções em terra, com foco nas técnicas Superadobe e Hiperadobe (Figura 18). Não se adicionou o parâmetro manipueira por não terem sido encontradas referências que relacionem os temas e nem Brickeradobe por ser um campo muito recente. Segundo Drummond et al (2004, p. 54), revisões sistemáticas são "investigações científicas, com métodos pré-planejados e que reúnem estudos originais como sujeitos". Esse método foi escolhido por reduzir o viés do autor, podendo ser replicável e atualizada com o tempo. A intenção é explorar as lacunas e fornecer uma base confiável para tomada de decisão.

FIGURA 18: Processo de desencadeamento da pesquisa.



Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Foram observados trabalhos científicos publicados nos últimos dez anos (2008 a 2018), em inglês ou português, dentro das áreas de Arquitetura ou Engenharia Civil que respondessem uma ou mais das seguintes perguntas: (1) “Quais as limitações técnicas e estruturais do sistema?” Procura-se saber se há artigos e pesquisas que foquem nos aspectos estruturais das técnicas e se há variação de formas, escalas e geometrias; (2) “Quais ensaios são necessários, como realizá-los e/ou como avaliá-los?” Devido a uma carência de normatização, a ideia é esclarecer que ensaios estão sendo feitos nos trabalhos experimentais que tratem desse tema, não apenas de natureza mecânica, mas na área de conforto também;

(3) “Que materiais são utilizados e em qual proporção?” Serão aceitos artigos que testem materiais, traços e tecnologias; (4) “Quais aspectos socioambientais são relevantes?” Estão aqui textos que procuram debater a escolha dos materiais pelo seu impacto, trazer Análises do Ciclo de Vida (ACV), discutir a aceitação ou rejeição dessas técnicas pela população, levantar custos e/ou aspectos relacionados a normas e leis.

Utilizou-se ainda a ferramenta “StArt” (State of the Art through Systematic Review) na sistematização dos dados. As bases de dados (CAPES, Scopus, Science Direct, Web of Science e Google Scholar) foram escolhidas pela sua importância no meio científico, sendo amplamente conhecidas no mundo inteiro. Frisa-se aqui, devido ao tema, a Google Scholar complementa as bases anteriores e abrange mais publicações, como dissertações, teses e trabalhos de conclusão de curso. Além disso, inclui publicações produzidas por pesquisadores que não podem pagar a assinatura do ISI ou da Elsevier.

Todos os resultados obtidos das bases de dados escolhidas foram catalogados na ferramenta StArt e selecionadas como descrito no Quadro 5:

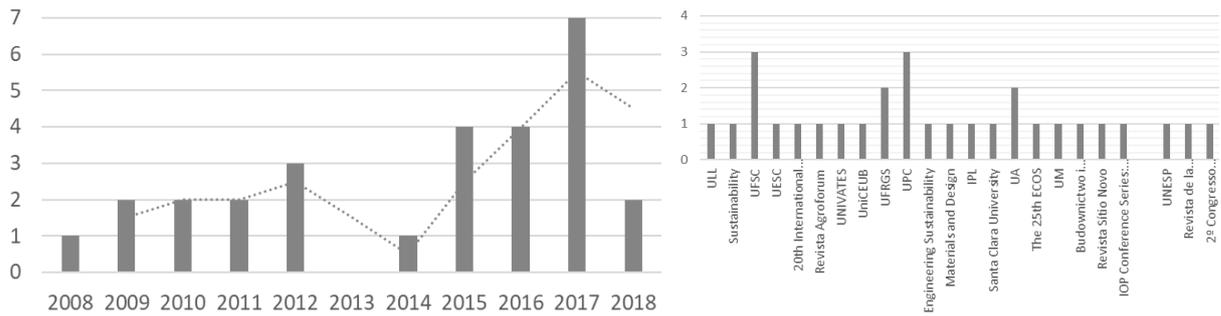
QUADRO 5: Amostragem total, por ano e por periódico



Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Dos 148 artigos encontrados dentro das “strings” de busca, foram selecionados 28 ao final, considerando que 16 deles eram duplicados, 101 foram vetados pelas restrições de busca e outros 03 após leitura superficial. Quanto às fontes de publicação desses trabalhos, já se percebe uma maior dispersão ao contrário da hegemonia da Google Scholar nas bases de dados. Seguindo a mesma linha, nenhum autor se repete. O Gráfico 1 classifica os artigos por ano e periódico.

GRÁFICO 1: Artigos selecionados por ano e por periódico (total 28)



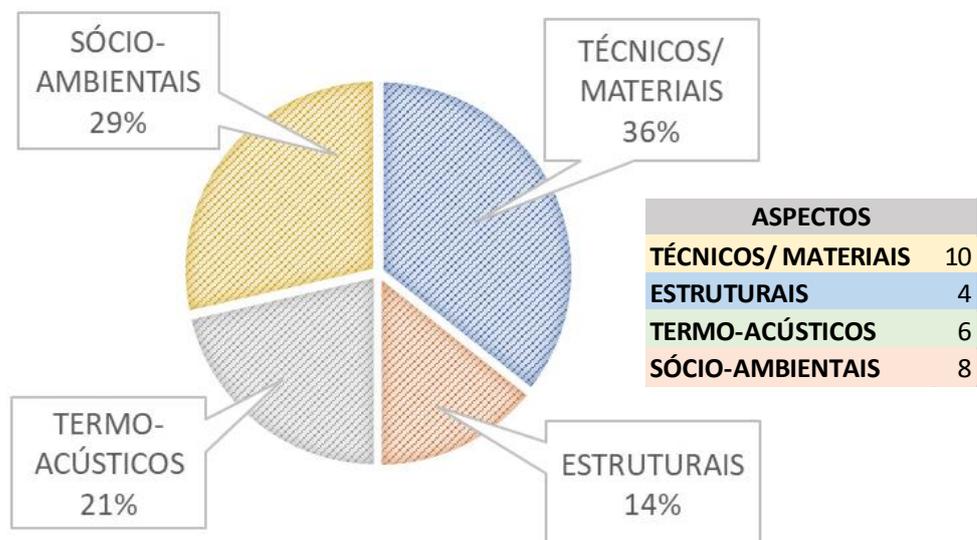
Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Com a leitura dos trabalhos, os 28 selecionados foram categorizados em quatro grupos temáticos que ajudam a responder as questões de pesquisa, mas não necessariamente são equivalentes.

2.4.1. Classificação dos Trabalhos

Para uma melhor sistematização dos dados, os 28 trabalhos aqui reunidos foram divididos em quatro grupos de acordo com sua afinidade de conteúdo, de forma a facilitar a compreensão e a discussão dos resultados. Cada grupo possui uma tabela respectiva com os artigos que mais se adequam ao tema. A cor segue o modelo estabelecido no Gráfico 2 e, à medida que ela vai escurecendo, significa que aquele item responde a mais questões de pesquisa aqui levantadas.

GRÁFICO 2: Categorização dos trabalhos em aspectos

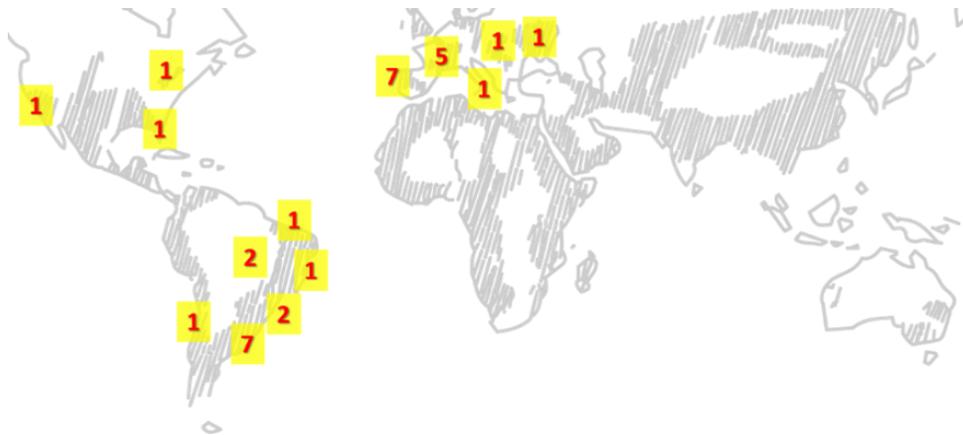


Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

2.4.1.1. Aspectos Socioambientais

As construções em terra são tão antigas quanto a própria noção de civilização. O Inventário de Arquitetura em Terra do Programa Mundial de Patrimônio de Arquitetura em Terra da UNESCO mapeou em 2012 construções em terra no mundo inteiro (SANTOS, 2015), estando 150 delas na lista do Patrimônio Arquitetônico Mundial. Ressalta-se ainda nesse mapa as cidades e países cujos trabalhos estão reunidos aqui, deixando clara a convergência na Figura 19.

FIGURA 19: Distribuição dos artigos selecionados VS construções em terra crua no mundo



Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

No Brasil, Pinheiro et al (2016) buscou catalogar o panorama atual por ano, estado e tipologia numa pesquisa com escritórios e construtoras especializadas em construções com terra. Foi possível notar um crescimento da produção e ampliação nas possibilidades de tipologias. Na Tabela 1, pode-se observar os artigos usados de referência com suas características mais importantes

Apesar de milenares e amplamente difundidas no mundo, a construção civil contemporânea rejeita esse material por ser relacionado à pobreza e estilos de vida subdesenvolvido no inventário popular. Isso é destacado por Fittipaldi (2008), que mesmo que seu estudo de viabilidade econômica traga uma diferença de custo de quase 10%, se essa casa utilizar materiais e técnicas locais, como taipa, há uma rejeição pela população, mesmo achando realmente estas mais confortáveis que suas casas de alvenaria convencional. Em estudo feito em 2016, Cataldo-Born et al defende que Construções em Terra Ensacada (CTE) geram economias de até 50% e 38% do custo inicial e à longo prazo, respectivamente, em comparação com alvenaria tradicional. Além disso, há o quesito sustentabilidade, em que construções que utilizam materiais da própria região, sem necessidade de estabilização e não

utilizam o método do cozimento ocasionam menos impacto que os materiais tradicionais. Se necessário estabilizar, Cataldo-Born et al (2016) afirma que as duas geram emissões semelhantes, mas a casa de CTE captura até 20% dessa energia durante seu ciclo de vida. O processo de desconstrução dessa imagem deve ser parte preponderante no desenvolvimento de novas técnicas que utilizem o solo cru.

TABELA 1: Trabalhos selecionados para Aspectos Socioambientais.

TÍTULO	AUTOR	ANO	CIDADE/ PAÍS	TIPO	PUBLICAÇÃO	PESQUISA	TÉCNICA/ MATERIAL	QUESTÕES DE PESQUISA
Habitação Social e Arquitetura Sustentável Em Ilhéus/Ba	FITTIPALDI	2008	ILHÉUS/BRA SIL	Dissertação	UESC	ASPECTOS SÓCIO- AMBIENTAIS E ECONÔMICOS	TAIPA DE MÃO	PERGUNTA 4
O paradigma da sustentabilidade na seleção de materiais e componentes para edificações	OLIVEIRA	2009	FLORIPA/BR ASIL	Dissertação	UFSC	ASPECTOS SÓCIO- AMBIENTAIS	GENERALISTA	PERGUNTA 2 E 4
Proposta de diretrizes para o desenvolvimento da arquitetura em terra no Rio Grande do Sul, a partir da interpretação de estratégias uruguaias	BAYER	2010	PORTO ALEGRE/BR ASIL	Dissertação	UFRGS	ASPECTOS SÓCIO- AMBIENTAIS	TÉCNICAS EM TERRA	PERGUNTA 4
Construção de Terra Crua: Potencialidades e Questões em Aberto	GONÇALVE Z E GOMES	2012	LISBOA/POR TUGAL	Anais de Congresso		ASPECTOS SÓCIO- AMBIENTAIS	TÉCNICAS EM TERRA	PERGUNTA 4
Soluções para a construção de habitação em adobe a custos controlados	CARVALHO	2012	AVEIRO/POR TUGAL	Tese	UA	ASPECTOS SÓCIO- AMBIENTAIS	ADOBE	PERGUNTAS 1, 2, 3 E 4
Viabilidade técnica e econômica do superadobe na construção de casas populares	DIAS	2015	GUARATING UETÁ/ BRASIL	TCC	UNESP	ASPECTOS SÓCIO- AMBIENTAIS- ECONÔMICOS	SUPERADOBE	PERGUNTA 4
Obstacles and motivations for earthbag social housing in Chile: energy,environment, economic and codes implications	CATALDO- BORN ET AL	2016	SANTIAGO/C HILE	Artigo de Periódico	Revista de la Construcción	ASPECTOS SÓCIO- AMBIENTAIS E ECONÔMICOS	CTE	PERGUNTA 4
Panorama da Produção de Obras em Terra Crua com Design Contemporâneo nos Últimos 60 Anos no Brasil	PINHEIRO ET AL	2016	CEARÁ/BRA SIL	Anais de Congresso	2º Congresso Internacional de História da Construção Luso- Brasileira	ASPECTOS SÓCIO- AMBIENTAIS E ECONÔMICOS	TÉCNICAS EM TERRA	PERGUNTA 4

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Para auxiliar e direcionar os interessados em construções mais sustentáveis, Oliveira (2009) traz o paradigma da sustentabilidade na seleção de materiais e componentes para edificações, reunindo os requisitos para escolher os materiais de acordo com sua Análise do Ciclo de Vida (ACV), em sete categorias relacionados aos seguintes elementos: (A) água, (MP) matéria-prima, (EN) energia, (EM) emissões, (RE) resíduos, (T) transporte e (SE) aspectos socioeconômicos.

Como limitantes levantadas nessa categoria, destacou-se a carência de dados (BAYER, 2010; DIAS, 2010) e a ausência de normas que balizem os trabalhos (CATALDO BORN et al, 2016; PINHEIRO et AL, 2016). Como sugestões e lacunas, as principais que podem ser elencadas são: desenvolver métodos de tomada de decisão para seleção dos materiais, aprofundando os estudos de análise de ciclo de vida (OLIVEIRA, 2009); Avaliação prática de diretrizes construtivas e de desempenho para essas técnicas, seus materiais e componentes e avaliação da percepção de valor, por parte de usuários de edificações em terra (BAYER, 2010).

2.4.1.2. Aspectos Técnicos/Materiais

De caráter mais experimental, este aspecto foi um dos principais motivadores para realização deste trabalho. A necessidade de compreender como o solo vem sendo utilizado para construção nos trabalhos científicos, quais os ensaios de caracterização e de avaliação do sistema que são sugeridos e que resultados estão encontrando. Ensaio padrões de caracterização do solo, como análise granulométrica, Limite de Liquidez, Limite de Consistência são feitos todos desse grupo (HORTELÃO, 2009; OBONYO ET AL, 2010; GUESSER, 2014; SANTOS, 2015; GÓMEZ ET AL, 2015; MENDES E SANTOS, 2017; BENVEGNÚ, 2017; PEDROSA E XAVIER, 2017; HAUBERT, 2017). Ensaio Resistência à Compressão Axial (OBONYO et al, 2010; GÓMEZ et al, 2015; MENDES e SANTOS, 2017; BENVERNÚ, 2017, PEDROSA e XAVIER, 2017; HAUBERT, 2017) e de Compactação (MENDES e SANTOS, 2017; PEDROSA e XAVIER, 2017) são outros mais comuns. Mas, autores como Obonyo et al (2010) fizeram ainda Espectroscopia por Dispersão de Energia (EDS), Porosidade, Densidade, Absorção, Força Residual e Condutividade Térmica para resultados mais completos e que consideram não só propriedades mecânicas, mas térmicas também. Outros, como Haubert (2017) e Mendes e Santos (2017) complementam o trabalho de laboratório com ensaios de campo tátil-visuais que vão desde a observação da cor a testes do cheiro, ao tato, do brilho, da aderência, à lavagem, de sedimentação, visual pela penetração, de retenção de água, de resistência à secagem e do rolinho.

Como limitantes levantados, tem-se: além da falta de normatização novamente e estudos científicos (BENVEGNÚ, 2017; HAUBERT, 2017), a terra como material é muito abundante, o que para HORTELÃO (2009) a torna de difícil valorização, constituindo num entrave à sua exploração; e a quantidade de solo para estudos experimentais, pois seria necessário uma tonelada de solo para construção de uma parede e fazer todos os ensaios

previstos (PEROSA e XAVIER, 2017). Como sugestões e lacunas, em geral se focam na mudança do material (HORTELÃO, 2009; HAUBERT, 2017), do traço (PEDROSA e XAVIER, 2017), e em estudos mais aprofundados quanto ao desempenho (OBONYO et al, 2010; SANTOS, 2015). A Tabela 2 traz as referências desses trabalhos.

TABELA 2: Trabalhos selecionados para Aspectos Técnicos/Materiais.

TÍTULO	AUTOR	ANO	CIDADE/ PAÍS	TIPO	PUBLICAÇÃO	PESQUISA	TÉCNICA/ MATERIAL	QUESTÕES DE PESQUISA
CONSTRUÇÃO COM SACOS DE TERRA: Aplicação a um caso de estudo	HORTELÃO	2009	LISBOA/ PORTUGAL	TCC	ULL	EXPERIMENTAL / ESTUDO DE CASO	CTE	PERGUNTA 3
Advancing the Structural Use of Earth-based Bricks: Addressing Key Challenges in the East African Context	OBONYO ET AL	2010	FLORIDA/ EUA	Artigo de Periódico	Sustainability	EXPERIMENTAL	SOLO- CIMENTO	PERGUNTAS 1, 2 E 3
Avaliação e desenvolvimento de componentes industrializados aplicados à construção de habitação de interesse social	GUESSER	2014	FLORIPA BRASIL	Relatório de Iniciação Científica	UFSC	EXPERIMENTAL	ADOBE	PERGUNTA 3
Construção com terra no Brasil: panorama, normatização e prototipagem com terra ensacada	SANTOS	2015	FLORIPA/ BRASIL	Dissertação	UFSC	TEÓRICO/ ESTUDO DE CASO/ EXPERIMENTAL	HIPERADOBE	PERGUNTAS 1, 2, 3 E 4
Properties of Natural Reinforced Earth-Based Composites: Advantages And Drawbacks With Synthetic Reinforcements	GÓMEZ ET AL	2015	SEVILLE/ ESPANHA	Anais de Congresso	20th International Conference on Composite Materials	EXPERIMENTAL	ESTABILIZAÇ ÃO DO SOLO	PERGUNTA 3
Alvenaria de sacos de terra: análise do ciclo de vida	MENDES E SANTOS	2017	PORTUGAL	Artigo de Periódico	Revista Agroforum	EXPERIMENTAL	CTE	PERGUNTAS 2 E 4
Avaliação da resistência mecânica à compressão de hiperadobe na cidade de Guaporé, RS - cidade escola AYNÍ	BENVEGNÚ	2017	LAJEADO/ BRASIL	TCC	UNIVATES	EXPERIMENTAL	HIPERADOBE (construção) e ADOBE (ensaios)	PERGUNTAS 2 E 3
Brickeradobe: Proposta Metodológica para Aplicação em Áreas Rurais e Indígenas	PEDROSA E XAVIER	2017	BRASÍLIA/ BRASIL	Relatório de Iniciação Científica	UniCEUB	EXPERIMENTAL	BRICKERADO BE	PERGUNTAS 1,2 E 3
Geosoluções a bioconstruções: caracterização e estudo comparativo dos solos dos municípios de Rolante, São Francisco de Paula e Maquiné para uso como material de bioconstrução de terra	HAUBERT	2017	PORTO ALEGRE/ BRASIL	TCC	UFRGS	EXPERIMENTAL	SOLO E ADOBE	PERGUNTAS 1, 2 E 3
Desarrollo de un nuevo bloque de tierra mejorado, con la incorporación de aditivos de compuestos orgánicos	DAVALOS	2018	BARCELONA / ESPANHA	Dissertação	UPC	EXPERIMENTAL	ADOBE	PERGUNTAS 2 E 3

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

2.4.1.3. Aspectos Estruturais

As propriedades estruturais das técnicas em terra são um dos fatores que mais geram desconfiança no público e nos próprios profissionais da construção civil. Apesar das técnicas já serem conhecidas, não havia muitos trabalhos sobre os aspectos estruturais desses sistemas, e não havia nenhum que os testassem de forma mista ou propondo soluções diferentes (Tabela 3). O desconhecimento de seus limites, seu comportamento e a variabilidade de execução pela forma como a técnica é realizada são algumas das razões para que isso aconteça. Pensando nisso, Canadell et al (2016) e Jimeno (2017), ambos espanhóis, fizeram estudos paramétricos com equações para verificações estruturais e simulações, analisando as paredes e o domo de uma construção em Superadobe.

TABELA 3: Trabalhos selecionados para Aspectos Estruturais.

TÍTULO	AUTOR	ANO	CIDADE/ PAÍS	TIPO	PUBLICAÇÃO	PESQUISA	TÉCNICA/ MATERIAL	QUESTÕES DE PESQUISA
Earthbag housing: structural behaviour and applicability in Sri Lanka	DAIGLE ET AL	2011	ONTARIO/ CANADÁ	Artigo de Periódico	Engineering Sustainability	ESTRUTURA: EXPERIMENTAL	CTE	PERGUNTA 1
Comprehensive design method for earthbag and superadobe structures	CANADELL ET AL	2016	BARCELONA / ESPANHA	Artigo de Periódico	Materials and Design	ESTRUTURA: SIMULAÇÃO	SUPERADOBE	PERGUNTA 1
Numerical simulation strategies for superadobe walls and arches	JIMENO	2017	BARCELONA / ESPANHA	Dissertação	UPC	ESTRUTURA: SIMULAÇÃO	CTE	PERGUNTA 1
Cyclic Testing of Reinforced Earthbag Walls	RODRIGUEZ ET AL	2018	CALIFÓRNIA / EUA	Tese	Santa Clara University	ESTRUTURA: EXPERIMENTAL	SUPERADOBE	PERGUNTA 1

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Canadell et al (2016) destaca que o mecanismo de falha mais provável nas paredes dos Superadobe é a rolagem e flambagem global. O aumento da rigidez lateral é recomendado para reduzir o risco desses modos de falha. O arame, comum à técnica para aumentar a aderência entre as fiadas, pode ser descartado em paredes retas, não há risco de deslizamento. No entanto, a largura da parede interfere em todos os cálculos, sendo um ponto chave nas análises estruturais e algo que não é padronizado (CANADELL et al, 2016). Já Jimeno (2017) se foca no desenvolvimento de modelos numéricos simplificados capazes de simular com precisão o comportamento das estruturas de sacos de terra. Existem três possíveis modelos constitutivos, Mohr Coulomb, para solos, Fissura de Deformação Total, para alvenaria, e Método dos Elementos Finitos são avaliados e comparados. A partir da comparação dos três

tipos de análises, verificou-se que o método dos elementos finitos é o mais adequado para reproduzir o comportamento dos sacos de terra (JIMENO, 2017).

Em termos experimentais, estudos realizados no Canadá (DAYGLE et al, 2011) e nos Estados Unidos (RODRIGUEZ et al, 2018) com o Superadobe quanto à suas propriedades mecânicas e sísmicas, tentou-se chegar numa conclusão sobre um ponto que não é consenso na comunidade científica. Rodriguez et al (2018) ao falharem no ensaio de flambagem devido aos esforços, as paredes continuaram em pé mesmo depois que a conexão do pino foi removida dos topos da parede. Essa resiliência inesperada e o comportamento das paredes durante os testes levaram a equipe a acreditar que as paredes do saco de terra são mais dúcteis do que se foi inicialmente antecipado. O fator de ductilidade sísmica médio alcançado foi de seis.

Como limitantes, Jimeno (2017) destaca que faltam informações sobre as propriedades mecânicas do material e a inexistência de estudos prévios utilizando estes métodos. Como recomendações e lacunas, para Daigle et al (2011) é necessário um maior conhecimento do comportamento rebocado, comportamento sob carga de cisalhamento no plano e fora do plano, bem como o comportamento sob forças de elevação, e para Jimeno (2017) continuar a pesquisa experimental considerando diferentes cenários de carregamento e de geometria.

2.4.1.4. Aspectos Termoacústicos

As boas propriedades termoacústicas das construções em terra são frequentemente lembradas nos textos sem realmente se citarem estudos a respeito, é o tipo de senso comum que vem da vivência. As pessoas que já vivenciaram uma construção em terra crua e hoje vivem em construções de alvenaria convencionais lembram a diferença. Para suprir essa lacuna e colocar em números, Parracho (2011) fez um estudo experimental com três células de teste (uma de adobe reciclado, outra com adobe novo e a terceira de adobe com granulado de cortiça) por dois meses sem renovação do ar e dois com (abriu-se um orifício). Cada célula continha quatro sensores de temperatura para se medir a inércia térmica do sistema, a condutibilidade térmica do solo e o isolamento térmico, além de adicionar a ventilação natural como mais uma variável a ser analisada. A alvenaria de adobe atingiu ótimos resultados quanto à inércia térmica, com atrasos térmicos e amortecimentos consideráveis: a temperatura máxima interna de todas as células não atingiram em nenhum momento os valores da exterior (PARRACHO, 2011).

Outros autores como ARAÚJO (2015) e MORISHITA et al (2017) analisaram parâmetros semelhantes, a primeira com Bloco de Terra Comprimida (BTC) em comparação com os blocos de concreto e de cerâmica cozida e o segundo fazendo a avaliação de um estudo de caso histórico construído em taipa de pilão. Para este último, foi necessária ainda uma análise química camada a camada. Com parâmetros mais generalistas, trazendo tabelas e recomendações construtivas para a Zona Bioclimática 7, Lushnikova (2016) e Gontijo e Lima (2017) discutem os materiais isoladamente e sugerem como pensa-los em termos de fechamentos, aberturas e coberturas.

Como limitantes levantados, além da falta de normatização (PARRACHO, 2011; ARAÚJO, 2015), tem-se a dificuldade em reunir dados confiáveis para os cálculos (DESIDERI et al, 2012), a necessidade de estabilização do solo e de construir grandes vãos com ele (ARAÚJO, 2015). Como recomendações, se restringiram mais às continuidades de suas pesquisas (PARRACHO, 2011; DESIDERI et al, 2012; ARAÚJO, 2015). Na Tabela 4 é possível ver uma síntese de cada publicação.

TABELA 4: Trabalhos selecionados para Aspectos Termoacústicos.

TÍTULO	AUTOR	ANO	CIDADE/ PAÍS	TIPO	PUBLICAÇÃO	PESQUISA	TÉCNICA/ MATERIAL	QUESTÕES DE PESQUISA
Estudo do comportamento térmico de construções em alvenaria de adobe	PARRACHO	2011	AVEIRO/ PORTUGAL	Dissertação	UA	CONFORTO: EXPERIMENTAL/ TÉRMICO	ADOBE	PERGUNTA 2
Feasibility study and design of a low-energy residential unit in Sagarmatha Park for environmental impact reduction of high altitude buildings	DESIDERI ET AL	2012	PERUGIA/ ITÁLIA	Anais de Congresso	The 25th ECOS	CONFORTO: TÉRMICO	SUPERADOBE E FARDOS DE PALHA	PERGUNTA 2
Comportamento térmico de blocos de terra comprimida ativados alcalinamente	ARAÚJO	2015	BRAGA/ PORTUGAL	Dissertação	UM	CONFORTO: EXPERIMENTAL/ TÉRMICO	BTC	PERGUNTAS 1 E 2
Approaches to Teaching Building Materials and Technologies for Energy-Efficient Sustainable Construction	LUSHNIKOVA	2016	RIVNE/ UKRAINE	Artigo de Periódico	Budownictwo i Architektura	CONFORTO: TÉRMICO	GENERALISTA	PERGUNTA 2 E 4
Estudo de conforto térmico: do levantamento à seleção das estratégias construtivas relacionadas ao clima de Palmas - TO	GONTIJO E LIMA	2017	PALMAS/ BRASIL	Artigo de Periódico	Revista Sítio Novo	CONFORTO: TÉRMICO	GENERALISTA	PERGUNTA 2
Pre-Design of Transitional Rural Housing for Syria with Recycled Rubble from Destroyed Buildings	MORISHITA ET AL	2017	VIENNA/ ÁUSTRIA	Anais de Congresso	IOP Conference Series: Materials Science and Engineering	CONFORTO: EXPERIMENTAL/ TÉRMICO	TAIPA DE PILÃO	PERGUNTA 2

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

2.4.2. Discussão

A partir dos dados levantados, foi possível concluir que todos os grupos temáticos estão numa tendência crescimento evidente, principalmente se considerado até 2017, já que até o período escolhido para o fim desta pesquisa, meados de 2018, ainda não havia acabado o ano e muitos periódicos apenas lançariam suas publicações no final dele. A Tabela 5 mostra a tendência de crescimento e interesse com os anos.

TABELA 5: Grupos por ano e tendência de crescimento.

ASPECTOS	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	TENDÊNCIA
TÉCNICOS/MATERIAIS	0	1	1	0	0	0	1	2	0	4	1	
ESTRUTURAIS	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	1	
TERMO-ACÚSTICOS	0	0	0	1	1	0	0	1	1	2	0	
SÓCIO-AMBIENTAIS	1	1	1	0	2	0	0	1	2	0	0	
TOTAL POR ANO	1	2	2	2	3	0	1	4	4	7	2	
TOTAL	28											

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

O foco dos trabalhos se concentrou na área de materiais, consistindo em 36% dos trabalhos aqui reunidos, enquanto 54% dos textos versam sobre ensaios e desempenho, respondendo à Questão (2) e 36% às outras questões (1, 3 e 5). Isso se deve possivelmente por ser a área que mais abre espaço para experimentação e estudos de caso práticos, aspectos diretamente ligados às práticas da bioconstrução. No todo, todas as perguntas foram respondidas, uma mais do que as outras, como notado na Tabela 6.

TABELA 6: Grupos por pergunta e proporções no todo.

ASPECTOS	QUESTÕES DE PESQUISA				TOTAL	
	Q.1	Q.2	Q.3	Q.4	Qd	%
TÉCNICOS/MATERIAIS	4	7	9	2	22	79%
ESTRUTURAIS	4	0	0	0	4	14%
TERMO-ACÚSTICOS	1	6	0	0	7	25%
SÓCIO-AMBIENTAIS	1	2	1	8	12	43%
TOTAL	10	15	10	10		
	36%	54%	36%	36%		

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Uma ressalva é que apenas dois textos conseguiram responder todas as perguntas. O primeiro, que em sua tese “Soluções para a construção de habitação em adobe a custos controlados”, defendida em Portugal, Carvalho (2012) faz a caracterização do solo e das construções em terra crua de 10 municípios no Ceará, com aplicações de inquéritos,

levantamentos fotográficos e de dados, ensaios de caracterização do solo, definição das propriedades mecânicas, além de levantar todo o contexto socioeconômico das comunidades visitadas. Ao fim, trouxe a proposta de um manual de como construir em Adobe com orçamentos detalhados. O segundo, referente à dissertação defendida por Santos (2015) que traçou todo o panorama internacional de construção com terra, destacando as técnicas, as normatizações e finalizando com a construção de um protótipo, em que põe em prática toda a discussão dos capítulos de referência, realizando ensaios, trazendo custos e debatendo a execução.

Apesar do foco da pesquisa ser Superadobe e Hiperadobe e as bases de dados apresentaram trabalhos que versavam mais sobre outras técnicas, como um conjunto de técnicas que utiliza o mesmo material, é de grande contribuição entender por que caminho está seguindo esse campo de pesquisa. O maior consenso encontrado nesse trabalho é quanto às limitações causadas pela ausência de normas e parâmetros para construção. A principal vantagem de ter feito uma pesquisa sistemática é conferir rigidez ao processo e diminuir o grau de subjetividade do processo, deixando claro os mecanismos de escolha e o que espera encontrar, possibilitando ainda uma revisão criteriosa pela comunidade científica em caso de erros ou falhas no processo.

O resultado dessa revisão demonstra o crescimento dessa área e a consolidação de grupos temáticos na discussão dessas técnicas. Uma revisão criteriosa abrangendo um maior período temporal se faz necessário ao perceber pelos trabalhos aqui dispostos que as principais referências são mais antigas, ficando de fora do arcabouço dessa revisão. Isso se deve ao fato do campo de estudo ainda estar tentando se estabelecer e não existir uma revista que se sobressaia nesse tema é um claro sinal que ainda há muito o que se pesquisar.

2.5. MANIPUEIRA NA CONSTRUÇÃO CIVIL

Para Ken Yeang (SISTEMAS PREDIAIS, 2007), um edifício é um aglomerado de materiais que estão juntos temporariamente, porque devem voltar para a natureza seja através de sua reciclagem, reuso, ou mesmo voltando ao seu estado natural. Os materiais aqui trazidos permitem esse ciclo, por serem naturais e possíveis de retornarem ao ambiente depois.

2.5.1. Manipueira

O semiárido nordestino tem uma das maiores capacidades de armazenamento de água do mundo, mas que são perdidos pela evotranspiração. Isso se deve porque cerca de 70% do seu solo é cristalino, dificultando a infiltração da água e encaminhando-a para rios intermitentes que desaguarão no mar ou em algum outro rio. As altas temperaturas e os baixos índices pluviométricos em boa parte de suas cidades tornam a água um dos maiores problemas da região. Soma-se a isso o fato da construção civil consumir cerca de 21% de toda a água tratada do planeta, sendo 13,6% responsabilidade das edificações, segundo informa o US Green Building Council (STRAUB, 2014). Para cidades que carecem desse recurso, tudo se torna ainda mais difícil.

Todavia, mais do que apenas substituir a água ou dar alguma destinação a resíduos indiscriminadamente, este trabalho visou identificar que benefícios se tem ao utilizar novas matérias-primas que vem se mostrando promissoras.

Atualmente, a mandioca (*Manihot esculenta Crantz*) é a quinta cultura básica mais importante do mundo e tem uma produção em torno de 285 milhões de toneladas/ano (FAOSTAT, 2017). Enquanto a produção brasileira foi cerca de 23,71 milhões de toneladas em 2016 (IBGE, 2017).

Nesse contexto, conhecido alimento indígena, a farinha de mandioca foi facilmente incorporada à alimentação dos que vieram habitar o Brasil, sendo importante pela durabilidade e “às vezes único alimento nas atividades de penetração do sertão brasileiro. A farinha aligeirou a bagagem das Bandeiras e excursões caçadoras de ouro e indiada nos séculos XVII-XVIII” (CASCUDO, s.d., p.387). Desde então, as casas de farinha se tornaram comuns em todo o Brasil, independentemente de seu valor nutritivo que é considerado por alguns estudiosos como apenas um “alimento hidrocarbonado, com proteína de segunda classe e pobre de vitaminas e sais minerais” (FREYRE, 1999, p.82).

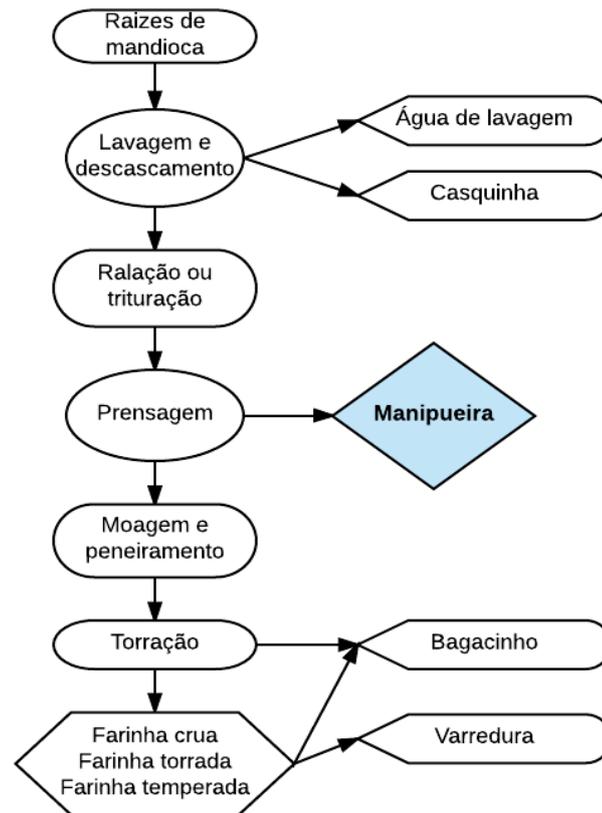
Mesmo assim, foi um dos principais alimentos durante o período colonial capaz de suprir toda a população surgindo inclusive como solução para a questão da fome, considerando que “aumenta o que ‘tá’ pouco, engrossa o fino e esfria o que ‘tá’ quente” (MORAIS, 2010). Apesar de sua produção ter decaído, em parte devido à uma grande seca nos últimos anos e ao contexto político-econômico da região em que se carece de estudos sobre custo e lucratividade dessa histórica cultura agrícola, ainda foi possível encontrá-las em diversas cidades do Rio Grande do Norte (MORAIS, 2010). Mas, é na região agreste que está a maior produção de mandioca do estado.

Mesmo não sendo um dos maiores produtores de mandioca do país, com 305.168 toneladas por ano, o Rio Grande do Norte produziu o equivalente a 1,2% da produção brasileira em 2011, sendo ainda bastante significativo (MORAIS, 2010). Em Portalegre, cidade a 30 km de Pau dos Ferros e local onde uma das amostras de manipueira foram coletadas para auxílio deste trabalho, as casas de farinha se concentram na sede do município, sendo uma das principais bases econômicas da cidade, cujo setor primário é basicamente voltado para agricultura de subsistência (CAVALCANTE e DIAS, 2010). A principal delas pertence a Raimundo Magno do Rêgo, mais conhecido por Palé e as outras três pertencem a comerciantes da cidade (MORAIS, 2010).

Entre as principais vantagens da mandioca em relação a outros produtos agrícolas é que desde as folhas até as raízes tudo se aproveita e a planta é facilmente reproduzida mesmo em solos de baixa fertilidade (CARDOSO et al., 2006). Dessa produção, surgem os subprodutos, como a manipueira, líquido amarelado fruto do beneficiamento das raízes nas casas de farinha.

Esse efluente, no entanto, é tóxico, por possuir um teor elevado de ácido cianídrico (HCN) e matéria orgânica, sendo a sua destinação quando não tratado um grande problema no Brasil (MADEIRA et al., 2017), podendo gerar graves problemas ambientais quando em contato com corpos d’água (CARVALHO et al., 2017). Ao entrar em contato com os corpos d’água, reduz-se a disponibilidade de oxigênio dissolvido no meio, podendo extinguir organismos aeróbios. No solo, seu descarte gera um desequilíbrio nos nutrientes, aumentando a salinidade e diminuindo o seu potencial Hidrogeniônico (pH) (WOSIACKI e CEREDA, 2002). Isso se torna ainda mais preocupante ao se saber que são gerados de 300 litros (RIBAS, CEREDA E BÔAS, 2010) a 600 litros (CARVALHO et al., 2017) de manipueira a cada tonelada de raízes processadas. O processo de fabricação da farinha está esquematizado na Figura 20 a seguir e a Figura 21 traz a diferença entre algumas casas de farinha em termos de produção.

FIGURA 20: Fluxograma do processo de fabricação de farinha



Fonte: SOUZA, J., 2019.

FIGURA 21: (a) Produção artesanal em Portalegre/RN x (b) Produção industrial em Brejinho



Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Em Portalegre, cidade localizada no Alto Oeste Potiguar, parte da Zona Bioclimática 07, a produção é mais artesanal através de casas de farinha centenárias. Seu descarte é feito em buracos próximos às plantações e fechados para animais não entrarem em contato. Contudo, o real efeito dessa cultura no solo, na produção e na vida dessas pessoas não foi

estudado ainda. No Ceará e na Paraíba, já é comum que a manipueira seja utilizada para produção de tijolos ecológicos por agricultores (G1, 2009), mas suas reais propriedades e a forma de lidar com ele ainda carece de estudos. Alguns trabalhos vêm trazendo alternativas para sua utilização, seja como razão, fertilizante ou mesmo em tijolos de solo-cimento e em tijolos com cimento e resíduos (SOUZA, 2019), ressaltando o seu potencial no setor da construção civil. Todavia, salienta-se que, devido à presença de cianeto em sua composição (Tabela 7), há uma preocupação com a exposição de trabalhadores a esse ácido, sendo regulado pelas agências de Saúde Ocupacional.

TABELA 7: Composição da manipueira

Componentes	Referências						
	Ponte (1992)	Hien et al. (1999)	Silva et al. (2005)	Borghetti (2009)	Santos et al. (2017)		
Nitrogênio total (mg/L)	425,5		32,4	154	44	167	83
Fósforo (mg/L)	259,5		17,8	19,26			
Potássio (mg/L)	1853,5		333,6	1463			
Cálcio (mg/L)	227,5		31,37				
Magnésio (mg/L)	405		36,87				
Enxofre (mg/L)	9	9					
Ferro (mg/L)	15,3		6,09				
Zinco(mg/L)	4,2		0,59	3,6			
Manganês (mg/L)	3,7		0,62				
Cobre (mg/L)	11,5		0,05				
Sódio (mg/L)			51,7				
DQO: demanda química de oxigênio (g O ₂ /L)		15,5	14,7	6,18	7,7	6,5	6,2
SST: Sólidos suspenses totais (g/L)		5,9		40,5	6,3	6,8	6,9
Nitrato: NO ₃ , mg/L				11,2			
Amônio: NH ₄ , (mg/L)		174					
pH		5,46	4,8	4,4	7,1	6,7	6,7
Cianeto (mg/L)	42,5	5,6	12	62	1,3	2	2,33

Fonte: SOUZA, J., 2019.

Os limites máximos estabelecidos tanto pela Occupational Safety and Health Administration (OSHA, 2018) como pela Norma Regulamentadora NR 15 (BRASIL, 1978) é de, respectivamente, 8 partes por milhão (ppm) e 10 ppm de exposição para uma carga horária de trabalho de 8h/dia.

2.5.2. Uso na Construção Civil

O uso da manipueira na Construção Civil ainda é incipiente e necessita de pesquisas, um dos principais obstáculos para a sua mercantilização. Porém, seu bom desempenho e o

aumento de estudos recentes (AKINDAHUNSI e SCHMIDT, 2017; SANTOS, 2017; SOUZA, J., 2019; SOUZA, R., 2019; TRINDADE, 2013) indicam que a manipueira está começando a ser percebida como um elemento valioso, devido à sua composição singular.

Para Souza (J., 2019) em seus estudos para substituição da água de amassamento pela manipueira em tijolos de solo-cimento, a manipueira apresentou comportamento semelhante à cal ao apresentar flocos durante a preparação das misturas. Fora isso, os tijolos obtiveram a resistência requerida pela NBR 13553 (ABNT, 2012), ficando acima dos 1 MPa para solo-cimento em alvenarias não estruturais e alguns inclusive ultrapassaram os 2 MPa exigidos pela NBR 8491 (ABNT, 2012).

Complementando os estudos iniciados por Souza (J., 2019), Souza (R., 2019) também avaliou o comportamento da manipueira em substituição à água de amassamento, mas agora em argamassas. Os dois trabalhos destacam que a manipueira não comprometeu a hidratação do cimento e teve efeitos positivos na plasticidade da massa, apresentando uma massa mais plástica com menores valores na relação líquido/materiais secos devido à incorporação de ar. Quanto à resistência mecânica, o autor destacou a presença de picos mais elevados de C-S-H, aumentando a resistência à compressão da argamassa e sem comprometer a formação dos demais produtos hidratados, como a Portlandita (CH) e a Etringita, todos indicados pelo MEV. Na argamassa, foram também perceptíveis melhorias na absorção por capilaridade e na resistência à tração. Uma das limitações trazidas por ambos trabalhos é a “validade” do líquido, já que contém matéria orgânica, passando por processos biológicos que levam ao seu apodrecimento se não for refrigerado. Devido a esses processos, seu odor forte se potencializa com o tempo, sendo importante a utilização de máscaras ao se trabalhar com ele. Seu tratamento já é fruto de pesquisas (SANTOS, 2017) para purificação, mas seu tratamento voltado para facilitar sua utilização na construção civil ainda é uma lacuna.

Outros estudos, como a de Trindade (2013), apresentam resultados promissores da utilização da manipueira para retardar os processos corrosivos de barras de aço em estruturas de concreto armado, Akindahunsi e Shmidt (2017) estudam os efeitos da adição da manipueira na diminuição da retração em concretos, reduzindo, conseqüentemente, os problemas relacionados a isso.

Dando continuidade aos trabalhos já iniciados em outras pesquisas, esse estudo avaliou o uso da manipueira em substituição à água agora em blocos compactados, dispensando inclusive o cimento em algumas composições e trazendo uma experiência real de seu uso em obra para execução de protótipos desses sistemas construtivos.

3. MATERIAL E MÉTODOS

Neste capítulo, serão descritos os condicionantes físico-ambientais, quais materiais foram utilizados e onde foram obtidos, assim como os ensaios e procedimentos adotados para caracterização e avaliação do sistema proposto. O principal objetivo foi delimitar o sistema construtivo de forma a se conseguir uma boa formulação para execução do protótipo e posterior monitoramento.

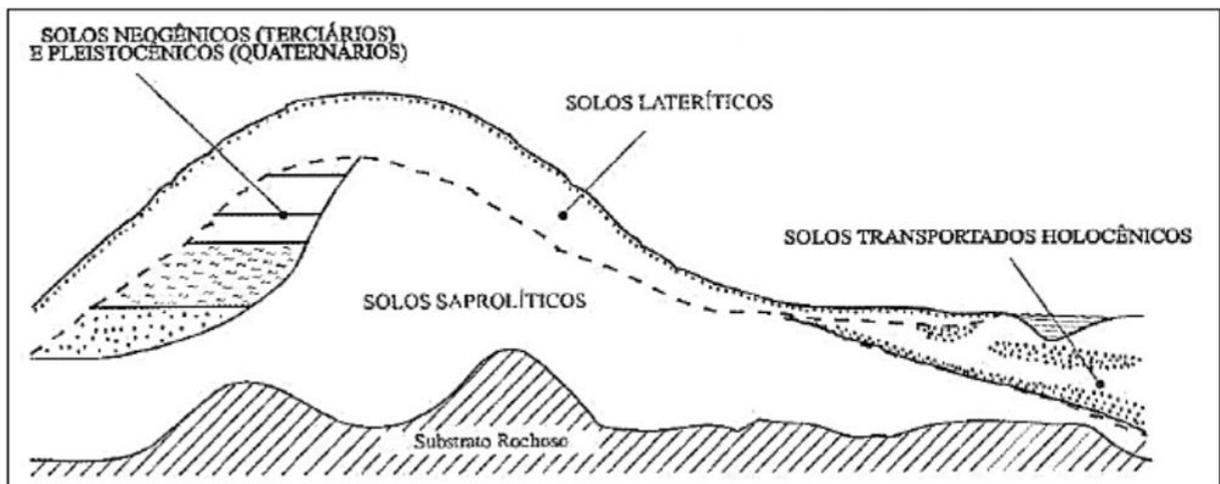
3.1. MATERIAIS

Os materiais que serão utilizados na composição do bloco são: o solo laterítico predominantemente argiloso, Cimento Portland CP-V ARI, sacos raschel, manipueira e água. Destaca-se aqui que os materiais do envoltório ainda estão sob discussão.

3.1.1. Solo

O solo foi coletado em Pium, no Rio Grande do Norte, sendo classificado como laterítico, comuns em zonas tropicais por oferecerem condições favoráveis para a intensificação do intemperismo químico, possuindo minerais argilosos, minerais silicatos, óxidos metálicos hidratados, quartzo e SiO_2 em sua composição mineralógica, característicos de solos residuais (DUTRA, 2014). O solo laterítico, especificamente, são formados a partir do intemperismo na parte superior do subsolo (Figura 22), transformando-o pelo processo de laterização (VILLIBOR et al. 2009). A Figura 23 traz a amostra de solo coletada.

FIGURA 22: Perfil esquemático de ocorrência de solos em ambiente tropical



Fonte: VILLIBOR ET AL. (2009)

FIGURA 23: Solo proveniente de Pium/RN



Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

No processo de laterização ocorre o enriquecimento no solo de óxidos hidratados de alumínio e/ou ferro, responsáveis pela coloração típica vermelha, amarela, alaranjada e amarronzada, e a presença da caulinita como argilomineral predominante (VILLIBOR et al., 2009). No estado natural, geralmente são não saturados e com baixa capacidade de suporte devido ao elevado índice de vazios. Contudo, essa capacidade pode ser elevada quando compactado, sofrendo contração na presença de água.

3.1.2. Cimento

O cimento utilizado nas composições para ensaio foi o Cimento Portland CP-V ARI MAX da empresa Cimento Brennands, devido às necessidades de resultados com maior rapidez. Para a execução dos protótipos, foi utilizado o Cimento Portland CP-II E 32, doação da universidade. Os cimentos estão ilustrados na Figura 24.

FIGURA 24: (a) Cimento Portland CP-V ARI (b) e (c) Cimento Portland CP-II E 32



Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

3.1.3. Água

A água necessária para complemento dos ensaios e procedimentos foi proveniente do sistema de abastecimento local, a CAERN (Companhia de Águas e Esgotos do Rio Grande do Norte), sistema de abastecimento público da cidade de Natal/RN.

3.1.4. Manipueira

O efluente foi coletado em barris de uma casa de farinha na cidade de Brejinho/RN, conhecida pelas indústrias relacionadas ao setor agrícola. A Figura 25 traz imagem do tanque que recebe a manipueira advinda do processo de prensagem e lavagem da mandioca e de onde foi coletada as amostras.

FIGURA 25: Tanque de armazenamento da manipueira em Casa de Farinha de Brejinho/RN



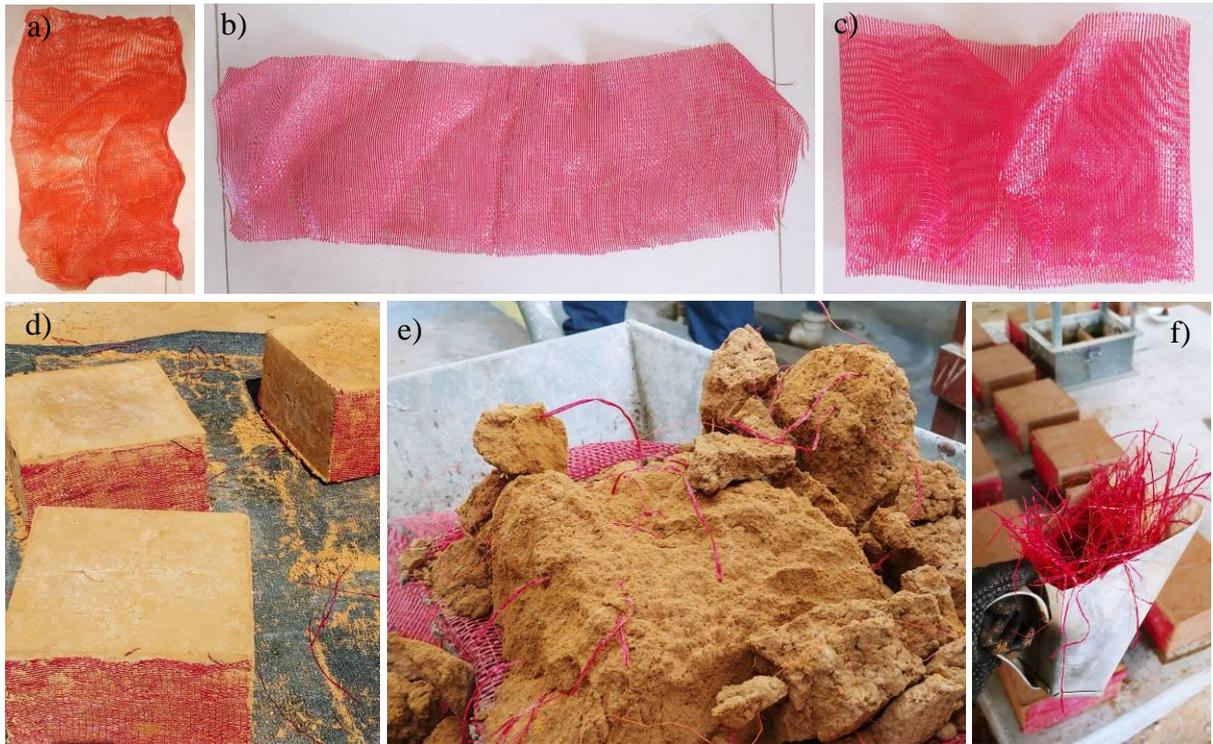
Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

3.1.5. Sacos Raschel

Os sacos do envoltório são desenvolvidos em malha Raschel com polietileno de alta densidade (PEAD). Eles existem em dimensões e cores variadas, sendo geralmente encontrados em feiras populares para transporte de frutas e legumes mais pesados. Os empregados nessa pesquisa foram comprados no CEASA (Centro de Abastecimento do Rio Grande do Norte) e eram usados para transportar alho (foram reutilizados). Eles vêm nas dimensões 60 x 35 cm e, para a pesquisa, foram cortados em faixas de 25 cm no sentido dos 60 cm. Os 10 cm restantes eram desfiados na mão em diferentes comprimentos para entrarem

nas composições dos blocos. Como a ideia foi reutilizar os sacos e não gerar desperdícios, essas tiras restantes foram divididas entre os dois blocos para não se ter restos (Figura 26). Salienta-se que as fibras não são foco de análise e avaliação.

FIGURA 26: (a), (b), (c) e (d) Faixas feitas a partir do saco raschel e (e) e (f) fibras a partir do seu fio para a massa



Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

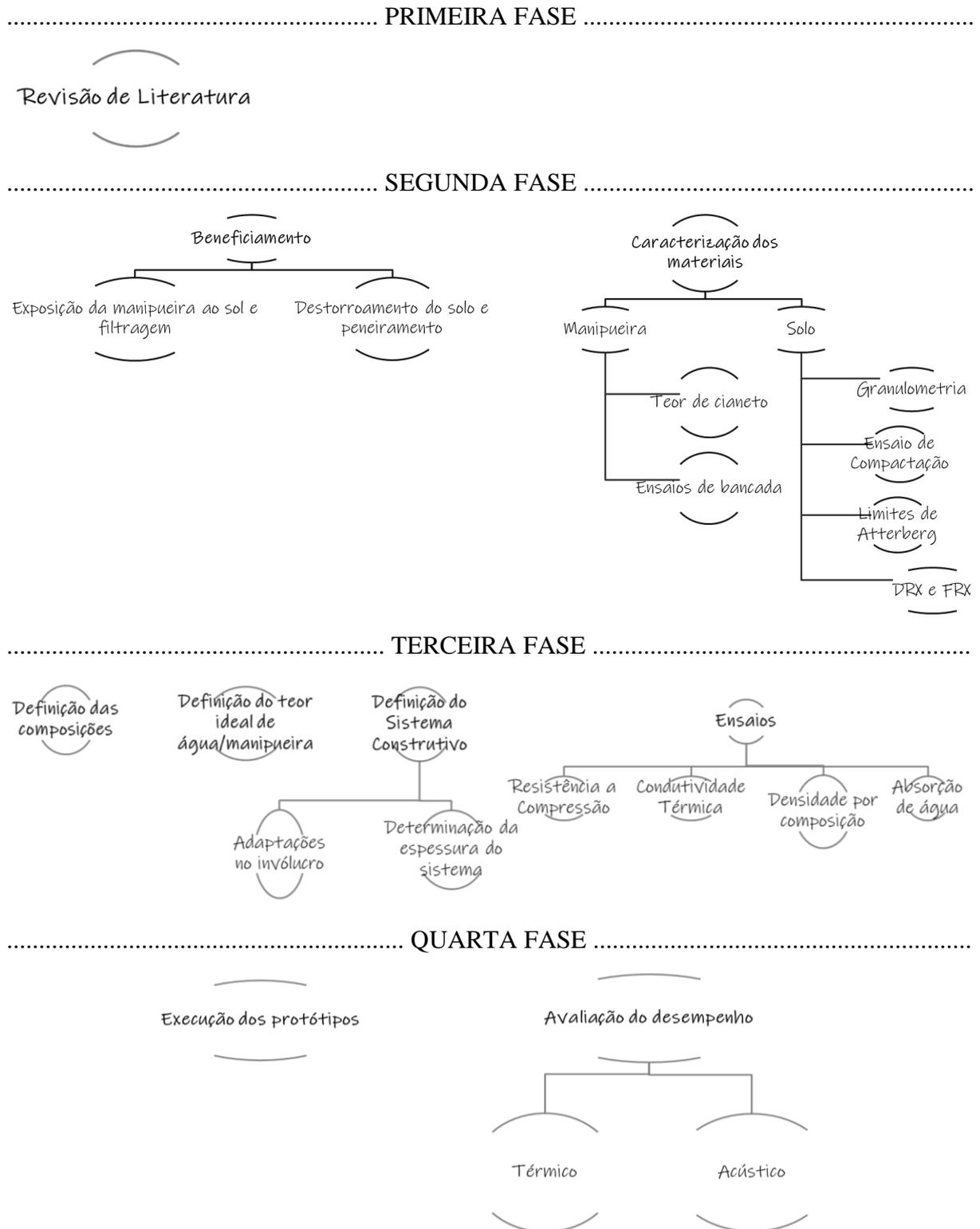
3.2. MÉTODOS

Ao todo, o trabalho está dividido em quatro etapas resumidas na Figura 27. A primeira, referente à revisão da literatura, já foi apresentada no capítulo anterior e será mais profundamente com o decorrer do trabalho. A segunda consistiu em beneficiar e caracterizar os materiais a serem utilizados aqui, preparando-os para os ensaios e execução dos protótipos. Já na terceira, foram definidas as composições, o teor ideal de água/manipueira, alguns ensaios de condutividade térmica nas composições e finalizando com a definição do sistema construtivo para ser executado. Por fim, a quarta etapa consistiu na construção dos protótipos utilizando o sistema construtivo aqui proposto para, por fim, ser avaliado o seu desempenho.

Ressalta-se que se pretende utilizar para os ensaios as normas para solo-cimento (NBR 7180, 2016 para determinação do Limite de Plasticidade; NBR 7181, 2016, para análise granulométrica; NBR 7182, 2016, para o ensaio de compactação em solos; NBR 8492, 2012,

para determinação da resistência à compressão e da absorção para tijolos maciços de solo-cimento) já que não há normas específicas para terra ensacada no Brasil.

FIGURA 27: Procedimento metodológico



Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

3.2.1. Beneficiamento dos materiais

Antes de sua utilização, tanto o solo como a manipueira precisam passar por tratamento. O solo coletado em Pium/RN foi colocado próximo ao terreno dos protótipos, mas uma parte foi levada para ser armazenada no Laboratório de Mecânica dos Solos da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), a fim de ser protegido das intempéries, passar pelo processo de secagem natural à sombra, ser destorroado e peneirado pela peneira ABNT nº 4 (4,8 mm) para realização dos ensaios de caracterização. A manipueira, por outro lado, coletado da cidade de Brejinho/RN, próximo à Natal/RN, deve ter o teor de cianeto reduzido a valores que possam ser trabalhados sem oferecer riscos. Para isso, expõe-se o líquido ao sol durante o dia e em ambiente coberto à noite, pois o teor de cianeto cai pela metade em 24h e para menos de $\frac{1}{4}$ com 48h (SILVA, 2016; TOKARNIA et al., 2012). Além disso, o líquido passa por um processo de filtragem para se eliminar quaisquer sólidos suspensos de grandes dimensões, devido à presença de muita matéria orgânica.

3.2.2. Caracterização dos materiais

Recebidos os tratamentos iniciais, segue-se para a caracterização. A manipueira passou por ensaio de determinação do teor de cianeto e alguns ensaios de bancada a serem melhor descritos a seguir. No solo, foram feitos análise granulométrica por peneiramento e sedimentação, ensaios de compactação, Limites de Liquidez e de Plasticidade (Limites de Atterberg), ensaios para análise mineralógica por Difração de Raios X (DRX) e para análise química por Fluorescência de Raios X (FRX).

3.2.2.1. Caracterização da Manipueira

Os ensaios de bancada foram realizados no Instituto Federal de Ciência e Tecnologia da Paraíba (IFPB) e consistem em se determinar o potencial hidrogeniônico, alcalinidade total, condutividade elétrica, sólidos suspensos voláteis e fixos e cor. O ensaio de determinação do cianeto, para se saber se era seguro trabalhar com o material, foi feito no Laboratório Bioagri na cidade de Paulista/PE para confirmar se é seguro trabalhar com o material. Para se determinar os macros e micronutrientes, cloreto, sulfato e fosfato, realizou-se os ensaios no laboratório da Empresa de Pesquisa Agropecuária do Rio Grande do Norte (EMPARN).

3.2.2.2. Caracterização do Solo

a) *Análise Granulométrica e Sedimentação*

Realizado por peneiramento e sedimentação no Laboratório de Solos da UFRN conforme a NBR 7181, sendo essencial para se compreender a distribuição granulométrica das partículas no solo e a proporção dos finos, importante para o efeito desejado.

b) *Ensaio de Compactação*

Feito conforme NBR 7182 (ABNT, 2016), atesta a relação entre o aumento da resistência mecânica do material com a redução da sua porosidade e de absorção de água (SILVA, 2013). Esse ensaio se torna essencial para se obter informações como umidade ótima de compactação e peso específico seco máximo.

c) *Limite de Liquidez e Limite de Plasticidade (Limites de Atterberg)*

Ensaio a serem realizados conforme NBR 6459 (ABNT, 2016) para o Limite de Liquidez (LL) e NBR 7180 (ABNT, 2016) para o Limite de Plasticidade. O índice de plasticidade, faixa de variação da umidade em que o solo se comporta de maneira plástica, é encontrado a partir da diferença aritmética entre os dois limites.

d) *Análise química e mineralógica dos materiais*

A amostra de solo foi coletada e passou pela peneira ASTM 500, com abertura de malha de 0,025 mm para uma melhor identificação do tipo de argilomineral presente na amostra. Tanto o solo peneirado quanto a manípueira serão caracterizados por fluorescência de raios X em um aparelho Bruker S2 Ranger utilizando radiação Pd ou Ag anode Max. power 50 W, max. Voltage 50 kV, max. current 2 mA, XFlash® Silicon Drift Detector. Para realização da difração de Raios X, foi realizado em aparelho Bruker D2Phaser equipado com um detector Lynxeye e radiação de cobre ($\text{CuK}\alpha$, $\lambda=1,54 \text{ \AA}$) com um filtro de Ni, corrente de 10 mA, voltagem de 30kV, utilizando um detector Lynxeye. Informações adicionais:

Faixa 2-theta: 2-60°

Fenda divergente: 0,1mm

Fenda central: 1mm

Fenda convergente

Passo: 0,01°

Tempo de aquisição: 0,2s

Quanto à análise dos dados, esta foi feita a partir do software X'Expert HighScore Plus para identificação das cartas correspondentes para determinação mineralógica através da análise de DRX e do FRX, conforme Banco de dados ICSD fornecido pelo mesmo.

3.2.3. Composições

Os blocos possuem dimensões 25 cm x 25 cm x 15 cm e são semi-ensacados, feitos a partir de uma fôrma de ferro usinado e pilões, melhores detalhados no item 6 deste trabalho, em que se é dissecado o sistema construtivo. Todas as composições têm fios do saco de raschel em sua massa, garantindo que, mesmo rompidos, os pedaços destacados permaneçam unidos e não se desintegram facilmente. Foram testadas ao todo quatro (04) formulações, listadas na Tabela 8 a seguir.

TABELA 8: Nomenclatura das composições que serão produzidas

Nº	NOMENCLATURAS	COMPOSIÇÕES
01	SA	Solo + água
02	SM	Solo + manipueira
03	CA	Solo 90% + 10% cimento + água
04	CM	Solo 90% + 10% cimento + manipueira

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

As composições com cimento foram restritas a 10%, porque, devido à elevada massa de cada bloco, a sua produção exigiria uma grande quantidade de cimento, perdendo sua viabilidade seja financeira ou seja ambiental. Contudo, para blocos estruturais que venham a substituir outros produtos inteiramente cimentícios, a avaliação de outras composições seria interessante, já que o ganho de resistência aqui proposto não vem apenas da hidratação do cimento, mas também da energia de compactação, o que diminui a necessidade de produtos cimentícios para se obter determinada resistência.

Tendo isso em vista, esse trabalho, como um estudo inicial de caráter mais generalista por se propor a caminhar por várias áreas que envolvem um sistema construtivo, analisa os blocos apenas sob o ponto de vista da vedação, sendo dispensável grandes composições de cimento, quando a resistência exigida pela NBR 13553 (ABNT, 2012) pode ser obtida sem sua utilização.

3.2.4. Ensaio para as composições

3.2.4.1. Definição do Teor Ideal de Água

Conforme NBR 7182 (ABNT, 2016), o teor ideal de água foi determinado a partir do ensaio de compactação para o solo com água e com manipueira.

3.2.4.2. Moldagem dos Corpos de Prova

Pela impossibilidade de replicação da energia de compactação em corpos de prova, devido a limitações da forma e do pilão, para os ensaios foram utilizados os blocos em tamanho normal. Para cada formulação, foram moldados doze (12) blocos, sendo oito (08) para resistência à compressão, aos 7 e 28 dias, e quatro (04) para o ensaio de condução térmica e absorção. Ao todo, foram feitos 48 blocos para ensaios com o auxílio de betoneira Motomil-MB-150L.

3.2.4.3. Ensaio de Resistência à Compressão Simples

Realizados nas datas de 7 e 28 dias no Laboratório de Materiais da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, teve como base o descrito na norma NBR 13279 (2005). Mas, pela impossibilidade de se reproduzir a energia de compactação em corpos de prova, foram moldados quatro (04) blocos em suas dimensões normais para cada idade para os ensaios de resistência à compressão. Para isso, utilizou-se a prensa universal (Shimadzu, modelo Autograph AG-X) e a massa foi traçada na betoneira, uma tentativa de maior padronização.

3.2.4.4. Ensaio de Condutividade Térmica

Para avaliação do desempenho térmico do sistema, foram realizados ensaios com o objetivo de se determinar a condutividade térmica, a capacidade calorífica e a difusividade dos blocos (Figura 28) a partir de um medidor de propriedades térmicas da marca Anter Thermal Properties Corporation, modelo QuicklineTM-30 no Laboratório do GGEMMA – Grupo de Pesquisa em Geologia Marinha e Monitoramento Ambiental da UFRN. O medidor possui vários sensores planares, com maiores precisões para escalas específicas. O sensor

planar foi definido a partir de testes preliminares para faixas de condutividade térmica entre 0,2 e 2,0 m².K/W.

FIGURA 28: Medição da condutividade térmica



Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Como sensor, utilizou-se uma fonte planar de calor, cuja operação é baseada no método transiente, que é mais rápido, e se baseia na evolução temporal da temperatura na distância.

3.2.4.5. Densidade dos blocos por composição

Como a modelagem dos blocos é feita de forma muito manual, os blocos sofrem com a variabilidade das dimensões e de sua massa. Em razão disso, todos os blocos que passaram pelo ensaio de condutividade térmica foram medidos e pesados individualmente.

3.2.4.6. Ensaio de Absorção de Água

Para determinação da absorção de água dos blocos, pela falta de normas específicas, utilizou-se como referência a norma NBR 15259 (ABNT, 2005) que descreve a execução do ensaio de absorção de água por capilaridade e do coeficiente de capilaridade para argamassas. Foram produzidos 16 corpos de prova prismáticos a partir da serragem dos blocos maiores, sendo 04 para cada composição. Como não era possível reproduzir a energia de compactação em corpos de prova menores, achou-se melhor fazê-lo grande e depois serrá-lo, conseguindo amostras mais fidedignas do sistema. Assim, decidiu-se por amostras com 10 cm x 10 cm de base e 15 cm de altura por segurança. As amostras, secas à sombra, foram pesadas antes e

depois de ficarem 24h na estufa para se ter uma ideia da umidade absorvida a partir do ar ou mesmo resquícios da umidade retida desde a fabricação, para então serem colocadas em malha suspensa com nível de água a 5 (± 1) mm acima da face inferior. Foram determinadas as massas com 10min e 90min para definição da absorção por capilaridade através da Equação 15:

$$A_t = \frac{m_t - m_0}{100} \quad (15)$$

Em que A_t é a absorção de água por capilaridade para cada tempo (g/cm^2), m_t é a massa do corpo-de-prova para cada tempo (g) e m_0 é a massa inicial do corpo-de-prova (g). Obtendo-se o valor da diferença da massa aos 90 min pela massa aos 10 min, tem-se o coeficiente de capilaridade.

3.2.5. Protótipos e simulações

Como já destacado anteriormente, para avaliação do desempenho foram executados protótipos com dimensões 1 m por 1 m de área interna e 1,5 m de altura em área reservada na UFRN, no Centro de Tecnologia. Foram avaliados o processo de execução, as dificuldades, modificações, os custos e o desempenho termoacústico. Foram construídos quatro (04) protótipos com sistemas construtivos diferentes, mas para esse trabalho apenas foram avaliados dois, um executado em alvenaria convencional e o outro com o sistema construtivo aqui proposto. As casas foram cobertas com telha sanduíche, devido ao seu isolamento térmico, para se diminuir o impacto da cobertura na temperatura, foram pintadas da mesma cor e foram rebocadas externamente da mesma forma com os mesmos materiais, para não haver diferença significativa de absorvidade e o reboco não interferir diferentemente nos protótipos durante a avaliação. Além disso, a proposta é que o sistema construtivo funcione como qualquer outro, logo, além de uma experiência prática, é uma oportunidade de se poder observar como o sistema reage ao reboco e às variações climáticas adversas.

Para avaliação térmica, foram instalados termopares tipo K no interior dos protótipos. A temperatura das paredes norte e sul foram medidas durante cinco (05) dias para se entender a variação de temperatura entre elas e talvez explicar qualquer fenômeno térmico que possa ser captado, e a temperatura do ar, com um termopar no centro da casinha, a 1m de altura por cerca de dez (10) dias. Desses 10 dias, foram escolhidos oito (08) no meio das medições para representar o ciclo da semana até começar de novo. Foram feitas medições a cada hora e os

dados foram armazenados no termômetro datalogger da Minipa, modelo MT-600, como apresentada na Figura 29.

FIGURA 29: (a) e (b) Datalogger da Minipa, MT-600, e (c) sistema de medições



Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Foram analisados também dados emitidos pelas estações meteorológicas da UFRN e comparados aos resultados encontrados, para que seja possível notar o impacto de dias com radiação mais forte ou de chuva na temperatura interna desses lugares e poder se avaliar o comportamento dos sistemas a esses fenômenos.

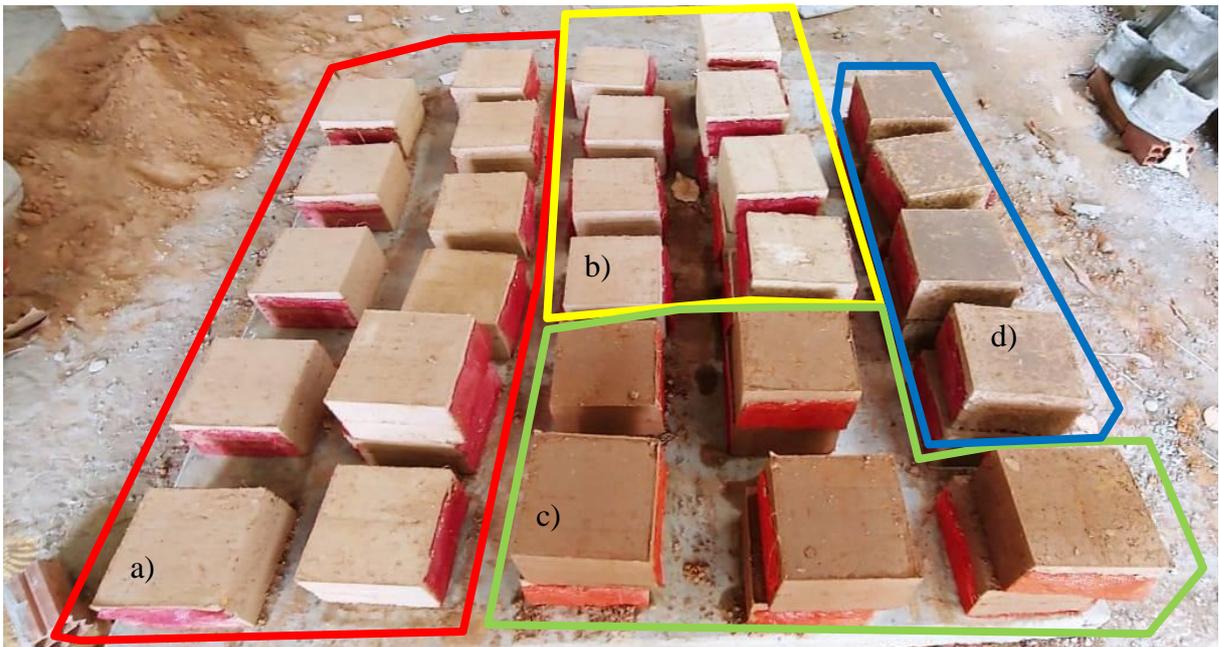
Para avaliação acústica, devido à proximidade de uma avenida movimentada, não foi possível isolar o ruído externo ou diminuir sua influência, dessa maneira os valores serão estimados matematicamente.

Vale ressaltar que a avaliação do desempenho das casinhas não partiu da ideia de se isolar os parâmetros para se avaliar o sistema, mas sim de se comparar os sistemas construtivos como um todo, não seus elementos isolados, já que foge da proposta generalista desse trabalho, cujo interesse foi passear por todos os segmentos mais conhecidos de avaliação da construção civil, como um estudo introdutório do sistema proposto.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesse tópico, são trazidos os resultados de todos os ensaios realizados. Esses ensaios, além de ajudarem a caracterizar e entender os comportamentos dos materiais dispostos, serviram também como base para a escolha da composição a ser utilizada na execução do protótipo. Durante esse processo, grande parte em consequência das dimensões fora do padrão dos blocos propostos e a falta de equipamentos e normas que pudessem auxiliar o estudo, já que não seria possível reproduzir a energia de compactação em corpos de prova menores, houveram algumas dificuldades para se avalia-los segundo as normas vigentes e adaptações foram feitas. Como pode ser notado na Figura 30, a coloração diferente entre os blocos tem a ver com a presença ou não de manipueira, evidenciando a ocorrência de algumas reações, circunstância a ser melhor discutida ao longo do tópico.

FIGURA 30: Blocos para ensaios com composições de (a) solo + água, (b) solo + cimento, (c) solo + manipueira e (d) solo + manipueira + cimento



Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Todos esses problemas trouxeram aprendizados e ajudaram na avaliação dos efeitos da substituição da água por manipueira tanto na trabalhabilidade da massa, ao se modelar os blocos e nos ensaios térmicos e mecânicos que se seguiram. No geral, o uso da manipueira contribuiu positivamente em diversas propriedades das composições, tendo um efeito praticamente cimentício.

4.1. BENEFICIAMENTO DOS MATERIAIS

Tanto o solo quanto a manipueira passaram por alguns processos para serem utilizados. O solo foi destorroado, secado à sombra e passou pela peneira ABNT nº 4 (4,8 mm). Foi constatada a predominância de materiais finos, como será melhor descrito no resultado da análise granulométrica. A manipueira foi exposta ao sol durante o dia e coberto à noite como forma de se reduzir o cianeto residual, que é bastante volátil, assim como passou por uma filtragem para eliminar corpos de maiores dimensões presentes no material.

4.2. CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS

4.2.1. Caracterização da Manipueira

A manipueira empregada para este trabalho foi a mesma utilizada por Souza (J., 2019) e Souza (R., 2019), cuja composição já foi retratada em seus trabalhos (Tabela 9). Observando os resultados dos ensaios laboratoriais obtidos da manipueira em comparação à literatura, alguns valores foram bem aproximados, enquanto outros tiveram diferenças gritantes. Isso se deve à variação do solo, do clima, do tipo de cultura ou mesmo do armazenamento do resíduo.

TABELA 9: Composição química da manipueira líquida

Componentes	Manipueira (líquida)	Média autores*
Nitrogênio total (mg/L)	1121,0	435,1
Fósforo (mg/L)	132,0	193,1
Potássio (mg/L)	1456,0	2358,9
Cálcio (mg/L)	93,0	754,7
Magnésio (mg/L)	219,0	395,1
Enxofre (mg/L)	74	48,4
Ferro (mg/L)	117,0	17,4
Zinco(mg/L)	20,0	2,4
Manganês (mg/L)	15,0	2,5
Cobre (mg/L)	9,0	0,7
Sódio (mg/L)	351,0	51,7
Cloreto (mg/L)	545,4	-
SST: Sólidos suspensos totais (mg/L)	14563,0	6,7
Sólidos em suspensão (mg/L)	2373,0	-
pH	4,5	6,0
Cianeto Livre (mg/L)	5,62	51,4
Cianeto Total (mg/L)	8,92	-
Condutividade elétrica mS/cm	7,62	-

* Leonel, Cereda, 1995; Silva et al. 2005; Neves et al., 2014; Nasu et al., 2015; Santos et al., 2017.

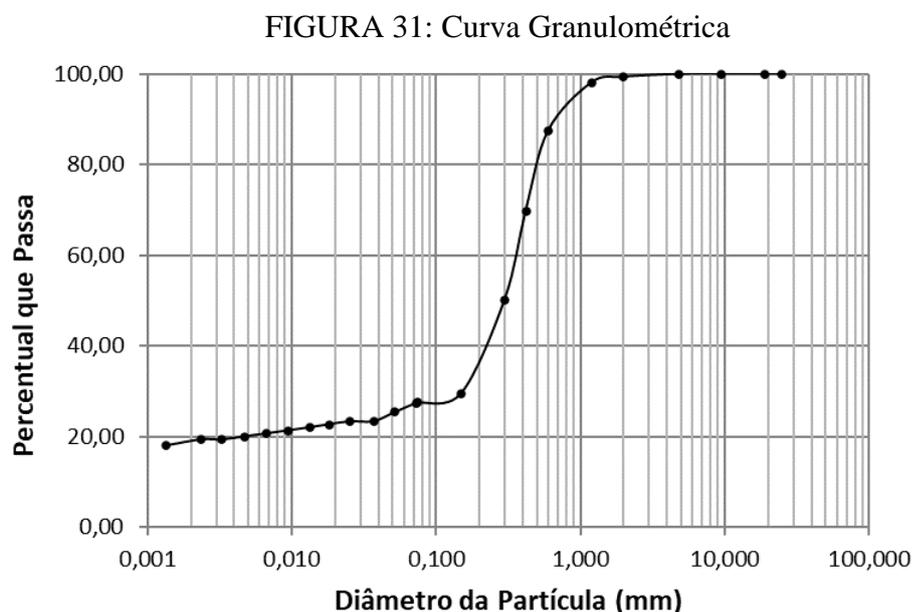
Fonte: SOUZA, R (2019).

Nota-se altos valores de potássio (1456 mg/L), nitrogênio 1121 mg/L), cloreto (545,4 mg/L), sódio (351 mg/L), magnésio (219 mg/L), ferro (117 mg/L) e cálcio (93 mg/L), alguns destoantes em relação aos valores de referência. Mas, por ser material orgânico sem controle de produção e cuidado no armazenamento, é algo passível de se esperar. O potencial hidrogeniônico (pH) ficou em torno de 4,5, sendo classificado como ácido, o que pode facilitar algumas reações ao entrar em contato com os argilominerais presentes no solo estudado. Quanto à presença do Cianeto Total, em torno de 8,92 mg/L, fica abaixo do estabelecido pela NR 15 (BRASIL, 1978), mas um pouco acima da determinada pela Occupational Safety and Health Administration (OSHA, 2018). É importante notar a quantidade de metais de alta reatividade, como Potássio, Cálcio, Sódio, Magnésio, Zinco, Ferro, e o meio ácido que se encontram, o que facilita as trocas catiônicas e pode potencializar ou motivar algumas reações dentro do sistema.

4.2.2. Caracterização do Solo

a) Análise granulométrica e Massa Específica

A granulometria é uma propriedade que afeta profundamente a interação entre as partículas de solo e seu estudo ajuda entender e explicar o comportamento de determinada amostra de solo. O solo aqui estudado possui percentual passante de 99,90% na peneira N° 4 (4,8mm), 69,74% na N° 40 (0,42 mm) e 27,47% na peneira N° 200 (0,075 mm). A análise granulométrica do solo é apresentada através da Figura 32 a seguir.



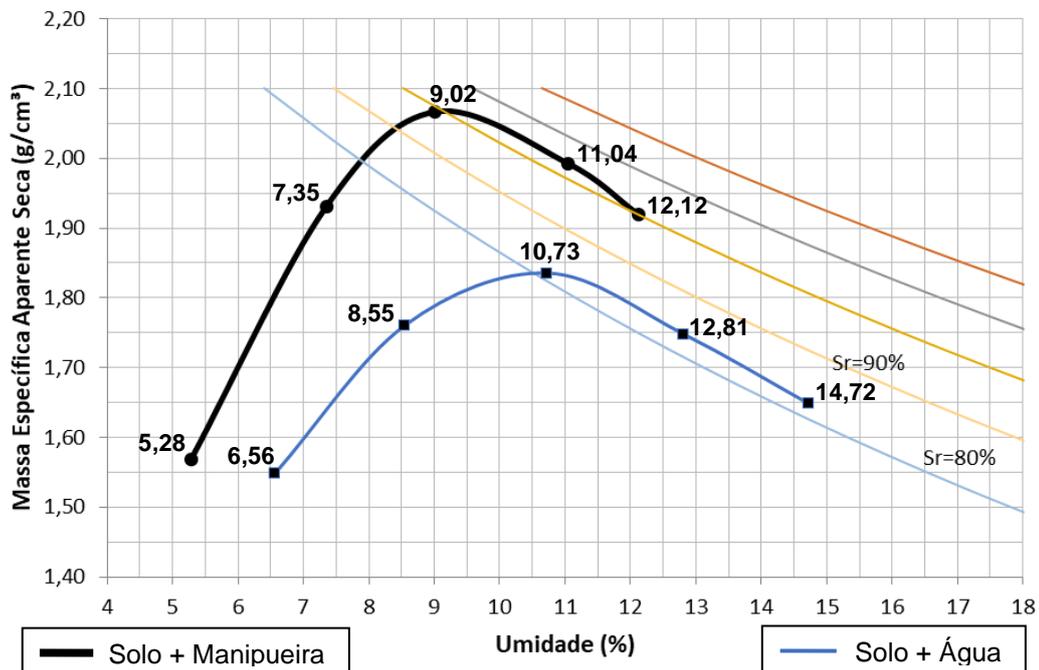
Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Apesar de mais fino que a areia, o que ajuda na densificação das composições e tem interferência direta na resistência à compressão, a argila possui maior superfície específica, ou seja, mais do que as forças gravitacionais que predominam nas areias, nas argilas predominam as forças eletrostáticas, que explicam a plasticidades desses materiais a partir da interação entre as partículas e da ação lubrificante do fluido que a cerca. Por isso, para composições de solo-cimento, a NBR 10833 (ABNT, 2012) prescreve que entre 10% e 50% da amostra passe na peneira N° 200 (malha 0,075 mm). A massa específica do solo, determinada através do picnômetro, é de 2,66 g/cm³.

b) Ensaio de compactação

Através do Ensaio de Compactação, descrito pela norma NBR 7182 (2016), foi feito através do Proctor normal e seu resultado, tanto para o sistema solo e água quanto para o solo e manipueira, está ilustrado no Gráfico 3.

GRÁFICO 3: Gráfico de Compactação



Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

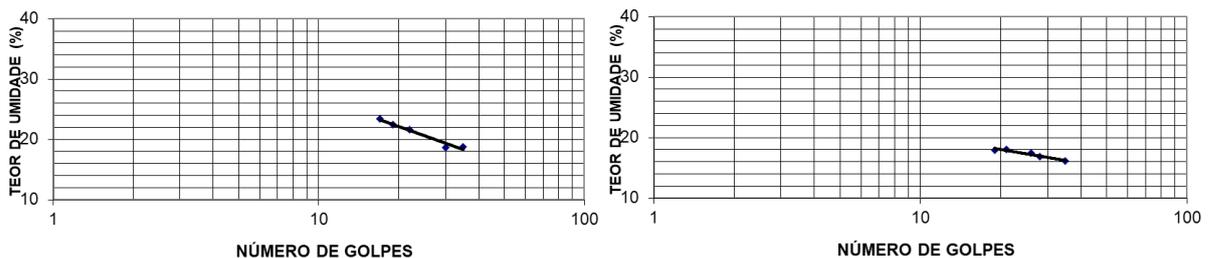
Para o sistema solo e água, a umidade ótima obtida foi de 10,73% e a massa aparente seca foi de 1,830 g/cm³, enquanto que para o sistema solo e manipueira a umidade ótima foi de 9,60% com massa aparente seca de 2,075 g/cm³, um aumento de 13% em relação à massa aparente seca do sistema com água com 10% a menos de umidade. Logo, percebe-se que a

manipueira ajuda na compactação do solo, seja através de um empacotamento mais eficiente ou devido às possíveis reações que estão acontecendo no sistema. Ademais, esse ensaio ajudou a definir o teor de umidade para as composições em 10%, já que é um valor médio entre as duas umidades ótimas e estabelece uma referência, já que o teor de umidade, apesar de importante, não foi foco nesse trabalho.

c) Limite de Liquidez e Limite de Plasticidade (Limites de Atterberg)

Obtidos a partir de ensaios realizados conforme determinado pela norma NBR 10833 (ABNT, 2012), os resultados para os Limites de Atterberg para os sistemas solo e água e solo e manipueira estão ilustrados no Gráfico 4, referente ao Limite de Liquidez, e na Tabela 10, que traz os valores do Limite de Liquidez, Limite de Plasticidade e do Índice de Plasticidade, como pode ser visto a seguir.

GRÁFICO 4: Limite de Liquidez (LL)



Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

TABELA 10: Limites de Atterberg

LIMITES DE ATTERBERG	SOLO + ÁGUA	SOLO + MANIPUEIRA
Limite de Liquidez (LL)	20,6%	17,3%
Limite de Plasticidade (LP)	10,4%	13,0%
Índice de Plasticidade (IP)	10,4%	4,3%

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Considerando que o Limite de Plasticidade diz respeito ao início da faixa de umidade em que o solo deixa de ser quebradiço e passa a ser plástico, o Limite de Liquidez ao que o solo deixa de ser plástico para se tornar líquido, e o Índice de Plasticidade à diferença entre esse dois limites, caracterizando exatamente a faixa de umidade do solo em que ele tem comportamento plástico, pode-se notar que o solo com manipueira precisou de um pouco mais de umidade para se tornar plástico, mas assim que se torna, com pouca umidade a mais

ele já se torna líquido, sendo considerado pouco plástico. É provável que isso tenha a ver com as trocas catiônicas que o meio ácido motiva, mas é um índice a ser melhor analisado em trabalhos futuros. Quanto ao sistema solo e água, é considerado como de plasticidade mediana. Pela norma NBR (ABNT, 2012), ambos os sistemas atendem seus requisitos para solos a serem usados em composições de solo cimento, que estabelecem o LL inferior ou igual a 45% e o índice de plasticidade menor ou igual a 18%.

d) Análise química e mineralógica dos materiais

As análises químicas do solo e da manipueira foram feitas a partir da fluorescência de raios X, cujos resultados estão apresentados na Tabela 11. Nela, foi possível perceber a grande concentração de ferro (Fe_2O_3), com 42,8%, seguido de sílica (SiO_2) com 23,6% e de alumina (Al_2O_3) com 15,1% no solo, comum nos solos lateríticos. Já na manipueira, temos predominância de cálcio (CaO) com 29,4%, ferro novamente (Fe_2O_3) com 27,5%, potássio (K_2O) com 17,2% e sílica (SiO_2) 8,18%.

TABELA 11: Resultado da Fluorescência de Raios-X

MATERIAL	Fe_2O_3	(SiO_2)	Al_2O_3	CaO	K_2O	Na_2O	ZrO_2	BrO_2	P_2O_5	CuO	MgO
Solo	42,8%	23,6%	15,1%	2,16%	5,34%	-	4,20%	-	-	-	0,71%
Manipueira	27,5%	8,18%	1,80%	29,4%	17,2%	5,82%	-	3,20%	2,45%	1,94%	-

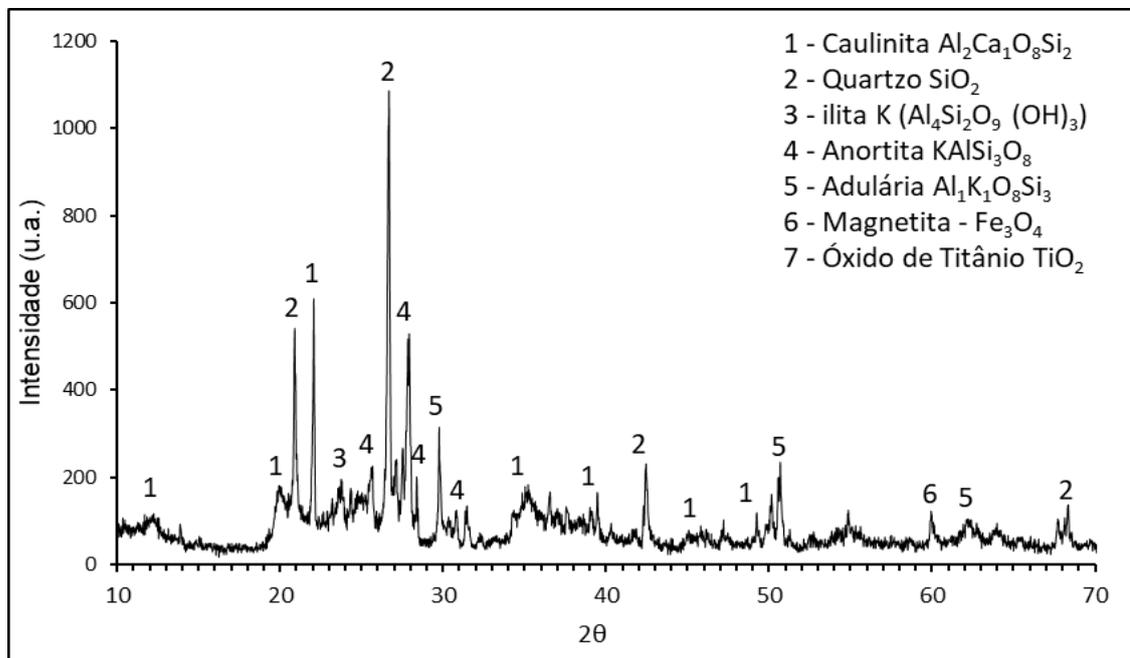
Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Nota-se que a grande presença de CaO na manipueira pode estar relacionado à sua trabalhabilidade quando em contato com o solo, perceptivelmente melhorado ao se produzir os blocos. Somado a isso, os cátions Ca^{2+} , K^+ , Na^+ , Mg^{2+} são considerados bases trocáveis, enquanto os íons $\text{Al}^{3+} + \text{H}^+$ são conhecidos por acidez extraível. Esses dois parâmetros somados denotam a capacidade de troca catiônica (CTC) de um solo (BARBOSA, 2013), podendo indicar grau de intemperismo, os minerais argilosos constituintes e, se for o caso, grau de expansividade, não observado nos materiais aqui trabalhados. Em relação às reações que podem afetar a resistência dos blocos, Souza (J., 2019) frisa que os minerais de sílica e alumina quando presentes na forma desorganizada no solo em combinação à presença de cálcio, uma base trocável muito presente no cimento, podem formar produtos conhecidos pelo ganho de resistência em materiais cimentícios, seja pela hidratação ou por um efeito pozolônico, sendo eles a portlandita ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), o silicato de cálcio hidratado (CSH) e ou o silicato de cálcio hidratado (CASH). Esse efeito de ganho de resistência pode ter sido

reproduzido no solo, principalmente a partir de reações pozolônicas estimuladas pelo meio ácido, explicando o incremento da resistência apresentado no item 4.3.2.

Paralelamente, análises subsequentes foram possíveis através dos resultados obtidos pela difração de raios X realizado no solo, como pode ser visto no Gráfico 5, que denotaram a predominância de picos com maiores intensidade para a caulinita, como principal argilomineral ($\text{Al}_2\text{Ca}_1\text{O}_8\text{Si}_2$), para o quartzo (SiO_2), e para a illita ($\text{K}(\text{Al}_4\text{Si}_2\text{O}_9(\text{OH})_3)$). A análise mineralógica foi importante para se compreender qual argilomineral é mais predominante na amostra, o que pode justificar seu comportamento e nos possibilitar trabalhá-lo de forma mais eficiente.

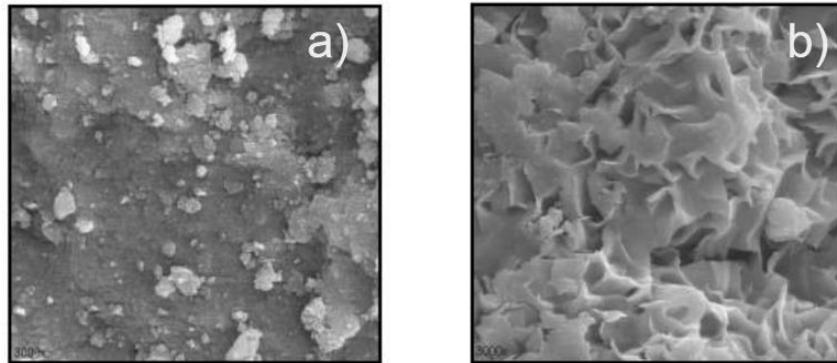
GRÁFICO 5: Difratoograma do solo



Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

A caulinita é um argilomineral estruturado através de camadas 1:1 empilhadas de forma regular que consistem em uma lamela de tetraedros de SiSO_4 e uma de octaedros de $\text{Al}_2(\text{OH})_6$, ligadas por átomos de oxigênio em comum em uma única camada, originando uma estrutura fortemente polar (VELDE, 1992). Esse grupo de argilominerais combinados a óxidos e hidróxidos de ferro e/ou alumínio em presença de água formam agregações estáveis que promovem a cimentação natural das partículas devido ao processo de hidratação dos óxidos e hidróxidos que, ao cobrirem os argilominerais, reduzem sua capacidade de adsorção de água (SANTOS e PEREIRA, 2012, apud BARBOSA, 2013). Como pode ser visto na Figura 33, que traz a micrografia de dois solos, um laterítico (a) e um não-laterítico (b), ambos com um aumento de 3000 x.

FIGURA 32: Micrografias do solo (a) Laterítico e do (b) Não-Laterítico



Fonte: Takeda (2006)

Esse processo de cimentação foi visado nesse estudo e espera-se que o meio ácido da manipueira funcione ainda como catalizador, favorecendo as trocas catiônicas e dando suporte para outras reações acontecerem, como um possível efeito pozolânico, objeto de futuros trabalhos.

4.3. ENSAIOS PARA AS COMPOSIÇÕES

4.3.1. Definição do Teor Ideal de Água

Conforme NBR 7182 (ABNT, 2016), o teor ideal de água foi determinado a partir do Ensaio de Compactação, como já descrito, e foi estabelecido em 10% para todas as composições, valor mais próximo à umidade ótima de compactação de ambos os sistemas, solo e água e solo e manipueira.

4.3.2. Ensaio de Resistência à Compressão Simples

O ensaio de resistência à compressão procurou avaliar o efeito da manipueira e do cimento nos dias iniciais e depois do tempo de cura do cimento. A partir das composições e da umidade definidas, a massa foi traçada com o auxílio de uma betoneira com a intenção de se conseguir um traço mais uniforme e diminuir a variabilidade decorrente dos processos mais manuais. No entanto, devido à baixa umidade e à plasticidade do solo, o movimento da betoneira gerou um efeito esférico nas partículas de solo, condensando-as em pequenas esferas. Isso interferiu na compactação dos blocos, durante a produção, e, provavelmente, na resistência à compressão, já que, enquanto essas pequenas esferas ficam ainda mais

compactadas, há mais vazios entre elas, criando pontos de fragilidade. Outra ressalva a se considerar é que os pratos responsáveis por aplicar pressão sobre os corpos de prova tinham as dimensões de 22,5 cm x 22,5 cm, totalizando 506,25 cm² de área, sendo menor que a área do bloco, que possui dimensões de 25 cm x 25 cm e área de 626 cm². Assim, a área para cálculo da resistência foi definida em função da área dos pratos e não da dos blocos, por ser a área de contato efetiva entre os elementos, considerando um sistema de força distribuída.

Apesar dessas dificuldades e entraves, todas as composições para o ensaio de resistência à compressão atenderam o valor mínimo de 1 MPa estabelecido pela NBR 13553 (ABNT, 2012) para tijolos de solo-cimento empregados em vedações, sem fins estruturais, como está detalhado no Quadro 6 a seguir.

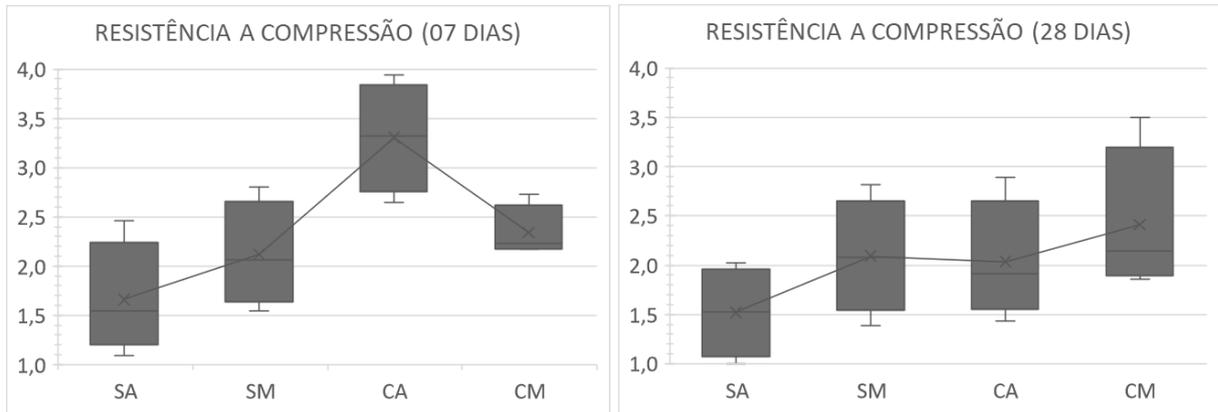
QUADRO 6: Ensaio de Resistência à Compressão Simples

RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO								
		ÁREA (cm ²)	CARGA (kgf)		RESISTÊNCIA (MPa)		RESISTÊNCIA MÉDIA (MPa)	
			07 DIAS	28 DIAS	07 DIAS	28 DIAS	07 DIAS	28 DIAS
SA	SA ₁	506,25	7650	8940	1,51	1,77	1,66	1,52
	SA ₂	506,25	12460	10240	2,46	2,02		
	SA ₃	506,25	8000	6550	1,58	1,29		
	SA ₄	506,25	5540	5080	1,09	1,00		
SM	SM ₁	506,25	14200	14270	2,80	2,82	2,12	2,09
	SM ₂	506,25	9700	7020	1,92	1,39		
	SM ₃	506,25	7800	10850	1,54	2,14		
	SM ₄	506,25	11220	10220	2,22	2,02		
CA	CA ₁	506,25	13400	7250	2,65	1,43	3,31	2,04
	CA ₂	506,25	19930	9680	3,94	1,91		
	CA ₃	506,25	15700	9660	3,10	1,91		
	CA ₄	506,25	17910	14650	3,54	2,89		
CM	CM ₁	506,25	11040	10190	2,18	2,01	2,34	2,41
	CM ₂	506,25	11580	11470	2,29	2,27		
	CM ₃	506,25	11000	9400	2,17	1,86		
	CM ₄	506,25	13820	17720	2,73	3,50		

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Nota-se que os resultados para composições com manipueira foram superiores às com água, com destaque à composição de solo e manipueira que teve resultado similar ao sistema solo, cimento e água, composição padrão para solo-cimento. O Gráfico 6 a seguir ilustra esquematicamente o incremento da resistência com a utilização de manipueira e de cimento, tendo a composição com esses dois elementos combinados a maior resistência nas duas idades aqui estudadas.

GRÁFICO 6: Valores de resistência à compressão aos 7 e aos 28 dias com desvio padrão



Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Como foi utilizado o Cimento CP V ARI, as resistências aos 07 e aos 28 dias são similares, com pouco incremento de resistência entre as duas datas. Na composição com solo, cimento e água houve inclusive uma significativa queda de resistência. Como hipótese, é possível que, como a concentração de cimento foi pequena em relação a de solo e foi observado o “efeito esfera”, as partículas de cimento podem ter formado unidades granulares separadas devido à sua finura, flutuando na matriz do solo, sem contato (RODRIGUES, 1992). Nesse sentido, aos 07 dias, o bloco ainda possui uma quantidade considerável de água em seu interior, deixando a matriz argilosa mais plástica e, apesar de deformar sob compressão, não se rompe e ainda conecta uma unidade cimentícia a outra, antes flutuantes no sistema. Isso porque no ensaio dos blocos CA₂ e CA₄ aos 07 dias, houve grande deformação antes da prensa identificar o rompimento das amostras. Todavia, aos 28 dias, a matriz argilosa já teria perdido a maior parte de sua umidade, constituindo pontos de fragilidade que deixariam a resistência de alguns blocos similares a dos blocos que possuíam apenas solo e água. Já no sistema com manipueira, percebeu-se uma maior estabilidade entre as resistências aos 07 e aos 28 dias, provavelmente devido ao meio ácido que pode ter ajudado a desagregar as unidades granulares de cimento, ou mesmo ajudado a sua reatividade com a matriz do solo.

Atrelado a isso, a presença de pequenas partículas na manipueira, numa concentração de 14.563,00 mg/L de Sólidos Totais, podem estar agindo como microfiller e melhorando o empacotamento ao preencher os vazios. Entre esses sólidos, ainda, há na composição da manipueira amido e açúcares que podem diminuir a fragilidade da matriz argilosa ao funcionarem como biopolímeros que, mesmo ao secar, podem contribuir para a resistência dos blocos (SOUZA, R., 2019), como se observou na composição solo, cimento e manipueira, que apresentou os melhores resultados para o ensaio de resistência à compressão simples.

4.3.3. Densidade (Massa Volumétrica)

Considerando o quesito variabilidade, presente neste estudo devido ao processo de fabricação dos blocos utilizar força humana não padronizada, todos os blocos foram medidos e pesados após 28 dias para se observar o grau de variabilidade entre as diferentes composições e entre as amostras da mesma composição, como pode ser visto no Quadro 7.

QUADRO 7: Relação Massa x Volume dos blocos

	MASSA (g)	LARGURA (cm)	COMPRIMENTO (cm)	ALTURA (cm)	DENSIDADE (g/cm ³)	
SA01	15220	25	25	15,5	1,5711	1,597
SA02	16648	25	25	16	1,6648	
SA03	15328	25	25	15,5	1,5822	
SA04	15213	25	25	15,5	1,5704	
SM01	17900	25	25	15,3	1,8719	1,885
SM02	18500	25	25	15,5	1,9097	
SM03	17339	25	25	15	1,8495	
SM04	18497	25	25	15,5	1,9094	
CA01	17347	25	25	15	1,8503	1,805
CA02	17534	25	25	15	1,8703	
CA03	17401	25	25	16	1,7401	
CA04	17026	25	25	15,5	1,7575	
CM01	16281	25	25	15,2	1,7138	1,723
CM02	16814	25	25	15,5	1,7356	
CM03	16538	25	25	15,5	1,7071	
CM04	16268	25	25	15	1,7353	

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Apesar de a princípio se pensar que as composições com água tenham densidades mais próximas, ao se relacionar com o volume percebeu-se que há uma maior variabilidade entre os blocos da mesma composição. Processo que não se repetiu nas composições com manipeira, já que a massa varia proporcionalmente ao seu volume. A variabilidade dos sistemas com manipeira se deu devido a problemas de padronização da altura, um dos parâmetros que necessita melhorias na fôrma, já que, enquanto as outras dimensões são controláveis, a altura dos blocos ainda é mais artesanal. Essa variação de densidade entre as composições com água tem relação com a facilidade de compactação provocada pela manipeira, distribuindo melhor os esforços.

4.3.4. Ensaio de Condutividade Térmica

A condutividade térmica (λ), a capacidade calorífica volumétrica (C), o calor específico (c) e a difusividade (α) foram os parâmetros obtidos através do medidor de

propriedades térmicas da marca Anter Thermal Properties Corporation, modelo Quickline™ 30, cujos resultados podem ser observados no Quadro 8.

QUADRO 8: Ensaio para definição de propriedades térmicas dos blocos

	d (g/cm ³)	λ (W/m.K)	Cp (E+6 J/m3.K)	c (J/Kg.K)	α (E-6 m2/s)	d _{média}	λ _{média}
SA01	1,5711	0,725	1,44	0,946	0,503	1,597	0,701
SA02	1,6648	0,993	1,58	0,949	0,63		
SA03	1,5822	0,533	1,44	0,939	0,454		
SA04	1,5704	0,553	1,41	0,927	0,392		
SM01	1,8719	0,922	-	-	-	1,885	1,082
SM02	1,9097	1,4	1,43	0,773	0,983		
SM03	1,8495	0,817	-	-	-		
SM04	1,9094	1,19	1,4	0,757	0,848		
CA01	1,8503	0,639	-	-	-	1,805	0,672
CA02	1,8703	0,725	-	-	-		
CA03	1,7401	0,687	-	-	-		
CA04	1,7575	0,636	1,39	0,816	0,459		
CM01	1,7138	0,679	-	-	-	1,723	0,602
CM02	1,7356	0,588	-	-	-		
CM03	1,7071	0,616	-	-	-		
CM04	1,7353	0,524	-	-	-		

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

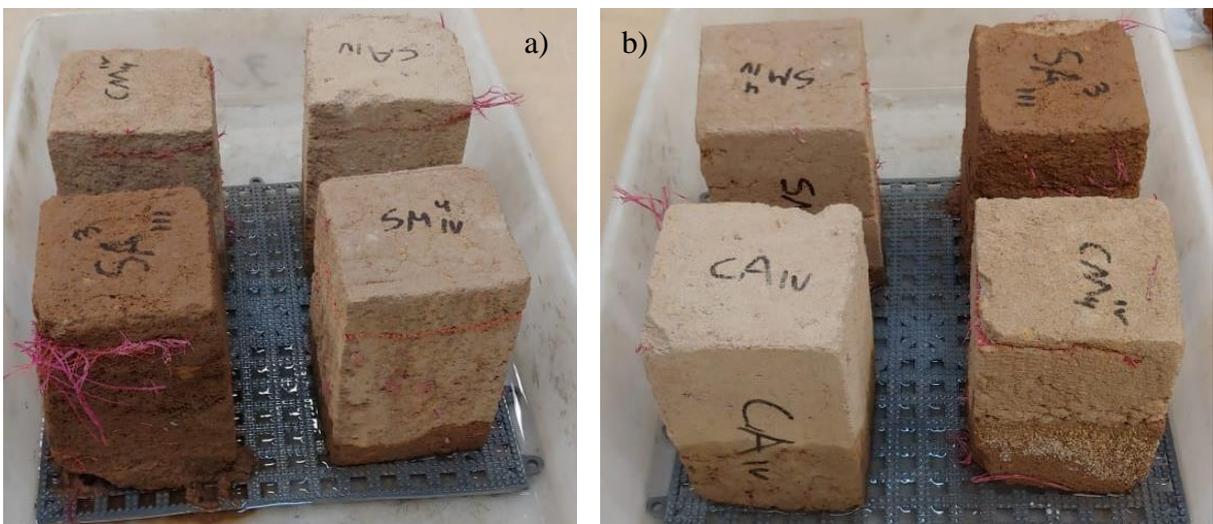
O ensaio foi feito com os blocos em seu estado natural, secados a sombra, mas alguns dos parâmetros secundários não foram obtidos pelo medidor para alguns blocos, com destaque para a composição com cimento e manipueira, que precisou ser repetido 5 vezes para cada composição, mas ainda assim não se conseguiu chegar a qualquer valor. É possível que a quantidade de elementos presentes nas composições possa ter interferido nos sensores do medidor, considerando que as composições com solo e cimento, mais simples, tiveram resultados instantâneos.

Através dos resultados, verificou-se que os traços com cimento apresentaram condutividade inferior às composições sem cimento. Isso se deve ao aumento da permeabilidade dos blocos com a incorporação do cimento devido a uma piora na sua compactação. Os blocos com apenas solo, independente de manipueira ou não, são menos permeáveis por terem apresentado uma melhor compactação, especialmente os blocos com solo e manipueira, já que sua maior condutividade térmica tem relação com sua densidade, com menos ar em seu interior e facilitando a condução do calor. A manipueira ajudou na densificação do material e ainda tem um efeito parecido com uma resina, que diminui a desagregação das partículas de solo e a perda de massa dos blocos.

4.3.5. Ensaio de Absorção de Água

Para determinação da absorção de água dos blocos, pela falta de normas específicas, utilizou-se como referência a norma NBR 15259 (ABNT, 2005) que descreve a execução do ensaio de absorção de água por capilaridade e do coeficiente de capilaridade para argamassas. A Figura 34 traz as amostras ao final do ensaio e o Quadro 9 a seguir resume todos os resultados obtidos.

FIGURA 33: Fim do ensaio de absorção por capilaridade das amostras CM₄, CA₄, SA₃, SM₄.
(a) frente (b) trás,



Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

QUADRO 9: Ensaio de absorção por capilaridade

CP	d (g/cm ³)	m _{amostra} (g)	m _{seca} (g)	Umidade _{amostra}	m _{t10} (g)	m _{t90} (g)	A _{t10} (g/cm ²)	A _{t90} (g/cm ²)	C (g/dm ² .min ^{1/2})	Méd. A _{t10}	Méd. A _{t90}	Méd. C
SA ₁	1,5711	2139	2107	1,50%	2336	2474	2,29	3,67	138	2,05	3,47	142
SA ₂	1,6648	2444	2411	1,35%	-	-	-	-	-			
SA ₃	1,5822	2600	2574	1,00%	2771	2944	1,97	3,7	173			
SA ₄	1,5704	2327	2284	1,85%	2472	2587	1,88	3,03	115			
SM ₁	1,8719	2783	2752	1,11%	2802	2829	0,5	0,77	27	0,43	0,67	23,75
SM ₂	1,9097	2948	2926	0,75%	2970	2995	0,44	0,69	25			
SM ₃	1,8495	2769	2749	0,72%	2798	2821	0,49	0,72	23			
SM ₄	1,9094	2888	2864	0,83%	2894	2914	0,3	0,5	20			
CA ₁	1,8503	2637	2554	3,15%	2600	2639	0,46	0,85	39	0,79	1,28	49,75
CA ₂	1,8703	2556	2474	3,21%	2540	2593	0,66	1,19	53			
CA ₃	1,7401	2721	2619	3,75%	2708	2766	0,89	1,47	58			
CA ₄	1,7575	2676	2592	3,14%	2705	2754	1,13	1,62	49			
CM ₁	1,7138	2554	2512	1,64%	2635	2684	1,23	1,72	49	1,09	1,50	41,25
CM ₂	1,7356	2632	2591	1,56%	2673	2714	0,82	1,23	41			
CM ₃	1,7071	2393	2353	1,67%	2470	2509	1,17	1,56	39			
CM ₄	1,7353	2354	2298	2,38%	2410	2446	1,12	1,48	36			

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Com os resultados trazidos pelo Quadro 9, nota-se a intrínseca relação entre a densidade, mesmo sendo apenas volumétrica, e a absorção das amostras. Os melhores resultados foram obtidos pela composição com apenas solo e manipueira, devido à melhor compactação e, conseqüentemente, à menor quantidade de vazios internos. As amostras com cimento prejudicaram a compactação dos blocos. As amostras com apenas solo e água ficaram inteiramente saturadas durante o ensaio, como pode ser visto na Figura 33 e sofreram perdas de massa na realização desse ensaio, algumas se desintegrando pelo fundo. A amostra SA₂, inclusive, ao perder resistência com o incremento de umidade, se rompeu e não foi possível sua avaliação.

Por outro lado, as amostras com apenas solo e manipueira não perderam massa e ainda tiveram os menores valores para absorção por capilaridade, devido à melhor compactação e, conseqüentemente, o menor índice de vazios. Esse efeito cimentício obtido pela incorporação de manipueira, como uma resina, ainda será melhor estudado em futuros trabalhos para se tentar entender a química das reações.

4.4. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A caulinita é o argilomineral com maior predominância nos sedimentos continentais e sua identificação pela Difração de Raios X (DRX) já era esperada, devido à estudos prévios que analisavam os sedimentos em Natal/RN. De acordo com Grim (1963), a presença em baixas concentrações de magnésio (Mg), assim como de potássio (K) favorece a formação da illita, captados no FRX e a illita no DRX. No entanto, em comparação a outros argilominerais, a caulinita tem baixa CTC (Tabela 12), apresentando menor plasticidade e coesão, devido a uma estrutura cristalina eletricamente neutra.

TABELA 12: Capacidade de Troca Catiônica (CTC) de alguns argilominerais

Argilominerais	Capacidade de troca de cátions (CTC)
Montmorilonita	70 a 150 meq/100g
Caulinita	3 a 15 meq/100g
Haloisita · 2H ₂ O	5 a 10 meq/100g
Haloisita · 4H ₂ O	10 a 40 meq/100g
Illita ou clorita	10 a 40 meq/100g
Vermiculita	100 a 150 meq/100g

Fonte: OLIVEIRA (2009)

Contudo, ao ser hidratado com manipueira que é um líquido ácido, este pode ter atuado como um catalisador, motivando as trocas catiônicas, mais difíceis nesse argilomineral, o que explicaria a melhor trabalhabilidade da massa e as resistências à compressão superiores à composição com apenas água.

Somado a isso, a presença dos cátions sódio, cálcio e magnésio, que estão presentes não só nos solos, mas também na manipueira, podem motivar a água de hidratação, que forma uma película de água “muito rígida”, no caso dos cátions cálcio (Ca^{2+}) e magnésio (Mg^{2+}) serem os trocáveis, e “frouxa”, no caso do sódio (Na^+) ser o cátion trocável, que exerce uma força de ligação entre as partículas dos argilominerais em meios com baixo teor de água. Essa película garante a lubrificação dos argilominerais, resultando numa maior plasticidade e têm relação com o ganho de resistência das argilas na forma úmida (SANTOS, 1975).

Logo, uma análise mineralógica da manipueira e do sistema solo e manipueira mais aprofundada poderia ajudar a compreender as reações internas ocorridas, mas, devido ao alto teor de matéria orgânica, não foi possível identificar os picos cristalinos, sendo uma avaliação importante para os próximos trabalhos.

5. PROPOSTA DE SISTEMA CONSTRUTIVO E EXECUÇÃO DE PROTÓTIPO

Nesse tópico, detalha-se o processo de concepção, planejamento e execução dos protótipos para teste do sistema construtivo, seja do ponto de vista do processo de construção em si, quanto da sua viabilidade econômica e do seu desempenho térmico. O processo de construção foi bem detalhado aqui para facilitar futuros estudos com sistemas em terra, considerando que ainda se tem dificuldade em encontrar trabalhos práticos de execução.

5.1. FORMULAÇÃO

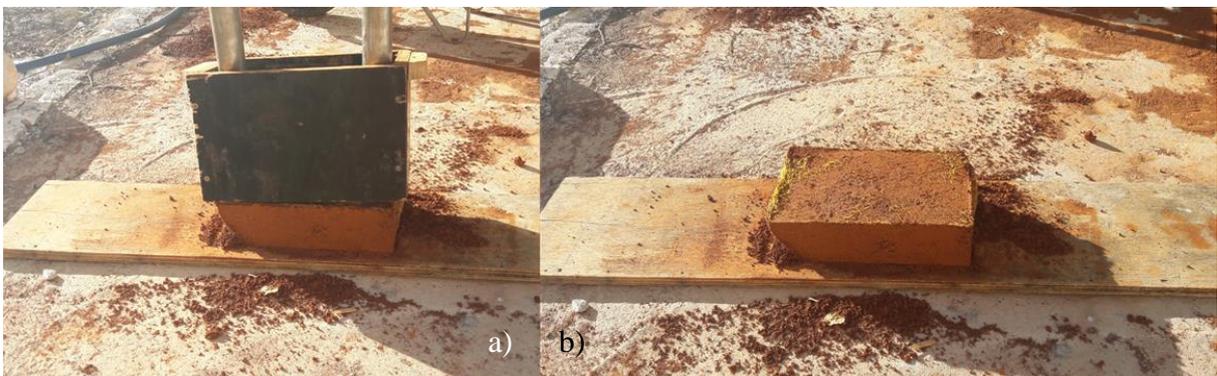
Baseado nos ensaios preliminares realizados, determinou-se o melhor sistema construtivo de acordo com o que já foi discutido aqui, em que se priorizou a não utilização do cimento, uma boa resistência e um bom desempenho térmico. Logo, decidiu-se pela formulação composta apenas pelo solo e a manípueira, que além das boas propriedades mecânicas, possui melhor trabalhabilidade por garantir uma maior plasticidade à massa, efeito percebido empiricamente na fabricação dos blocos. A ideia era excluir o cimento da composição e observar o comportamento desse sistema, inclusive a interação entre o bloco e a argamassa, quanto à aderência, durabilidade, quanto ao cheiro da manípueira e patologias possíveis ao se usar um líquido mais ácido que entrará em contato com argamassa comum, isso somado ao intemperismo ocasionado pelas condições climáticas, como a chuva. Ressaltou-se que a betoneira não foi mais utilizada para traçar a massa, eliminando o efeito esférico, mas tornando o processo mais lento, principalmente nos primeiros dias. O cheiro da manípueira também incomodou bastante nos primeiros dias, sendo considerado por esse trabalho como um dos principais complicadores de sua popularização. Os blocos perderam boa parte do odor quando rebocados e, após uma semana, o protótipo já não possuía mais.

5.2. INVÓLUCRO

O formato e papel do invólucro passaram por muitas transformações ao longo da pesquisa. A ideia original era seguir o proposto pelo sistema denominado Brickeradobe, já explicado nesse trabalho. Contudo, ao se testar as opções, percebeu-se que em termos práticos, colocar o que sobrava dos sacos de raschel para dentro do próprio bloco, exigia um solo muito úmido que, além da quantidade de água interferir na resistência pelo aumento de

vazios, ao secar, o saco poderia comprometer a resistência do bloco, por se constituir um vazio de maiores proporções. Isso foi observado por Pedrosa e Xavier (2017) que testaram algumas composições e diferentes teores de umidade para blocos de Brickeradobe, resultando em uma resistência à compressão máxima de 1,97 MPa com 32% de umidade para 4 dias, mas que caiu com o tempo de secagem para 1,30 MPa com 7 dias de moldado (Figura 34). Composições abaixo desse teor de umidade não chegaram nem a 1 MPa de resistência à compressão e maiores tiveram o efeito de perda de resistência com o tempo ainda mais pronunciado. As outras, provavelmente devido ao aumento da rigidez com a perda de umidade, tornando-o mais frágil às fraturas em lugares provavelmente já fragilizados.

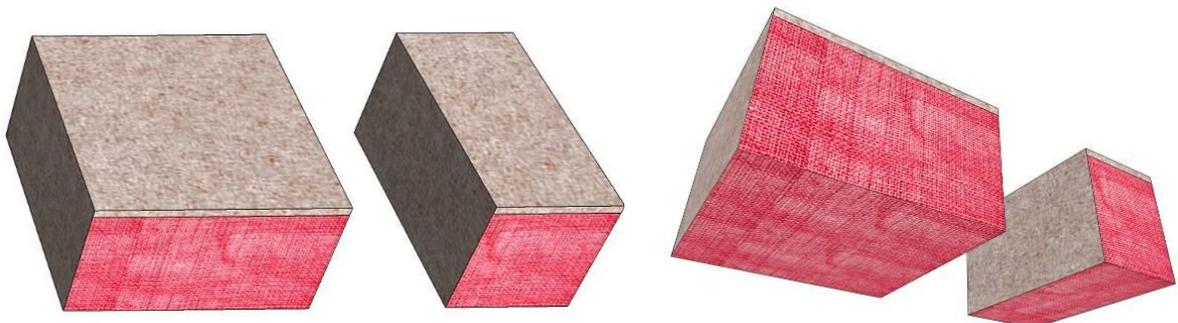
FIGURA 34: Moldagem de bloco de brickeradobe (a) desmoldagem do bloco (b) bloco final



Fonte: Pedrosa e Xavier, 2017.

Dessa forma, com o objetivo de diminuir a quantidade de água utilizada para se trabalhar o solo com sua umidade ótima – valor obtido através dos ensaios de compactação – optou-se por outra abordagem em que o invólucro pudesse ser mais simples, sem sobras significativas de saco que pudessem afetar a sua resistência e ainda assim melhorasse a aderência do bloco durante seu assentamento e processo de revestimento como ilustrado na Figura 35 em que foi feito um esquema 3D para posterior execução.

FIGURA 35: Esquema feita em computador dos blocos e dos invólucros.



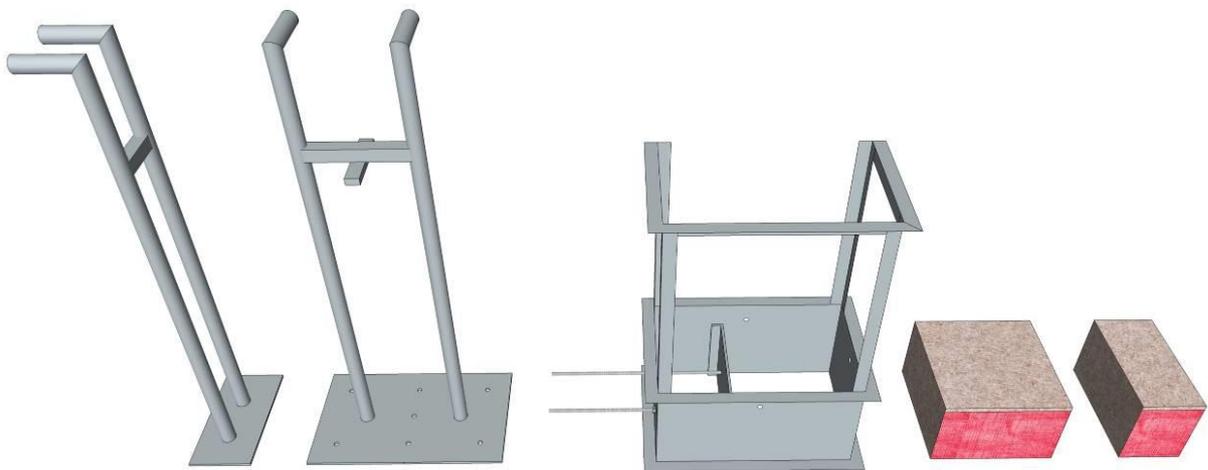
Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Os sacos foram cortados em tiras para serem postos na forma e receberem o solo como uma “capa”. Como cada saco de raschel dava para dois invólucros de 0,25 m de largura, foram utilizados menos sacos que no sistema convencional de Brickeradobe. O que sobrava de cada saco, era desfiado à mão durante execução dos blocos ao se fazer a massa, funcionando como uma fibra mais moldável ao bloco, de tamanhos diferentes, mais durável e com ótimo efeito para ajudar a desmoldar os blocos e garantir que, mesmo ao se romper, os pedaços continuassem presos.

5.3. FORMA E MOLDAGEM

Outro problema comum percebido ao se analisar os sistemas em terra é a falta de flexibilização dos blocos durante a construções. A fôrma geralmente fixa as dimensões dos blocos e, assim como o bloco de alvenaria convencional ao se precisar de trincas ou mesmo uma melhor amarração das fiadas das paredes, o bloco teria que ser serrado ou quebrado posteriormente. Como forma de se facilitar esse processo, pensou-se numa maneira em que uma das dimensões pudesse ser flexível e a outra livre, tendo apenas uma dimensão fixa. Assim, modificou-se a fôrma para que tanto o comprimento quanto a altura pudessem ter as dimensões desejadas, de modo que facilitassem a execução e diminuíssem as quebras com o intuito de, se necessário um bloco menor para uma esquadria, por exemplo, apenas demandaria produzi-lo já menor. A Figura 36 traz um esquema 3D da fôrma e dos pilões.

FIGURA 36: Esquema da dos pilões, da fôrma e dos blocos



Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

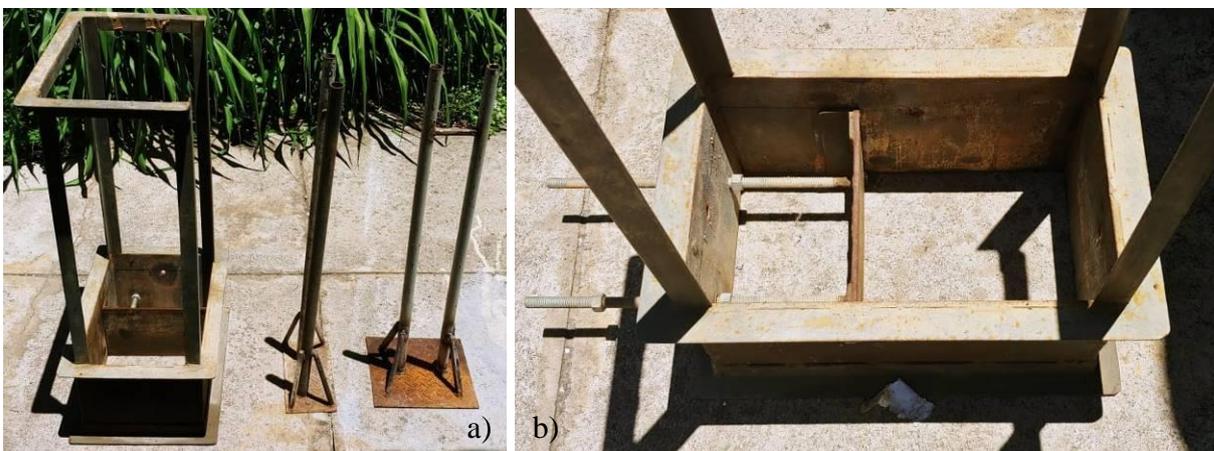
Para a execução desse protótipo, devido às suas dimensões, decidiu-se por três dimensões de blocos, um maior de 0,25 m x 0,25 m x 0,15 m (Figura 37a), um menor de 0,25 m x 0,125 m x 0,15 m (Figura 37b) para o travamento das fiadas e um mais baixo de 0,25 m x 0,25 m x 0,10 m para a última fiada do protótipo (Figura 37c). Além disso, na prática, o pilão maior exigia mais esforço para levantá-lo e transmitia pouca energia de compactação devido à sua grande superfície de contato, reduzindo a pressão sobre o solo, e à resistência do ar dentro da fôrma. Alguns furos, tanto no pilão quanto na fôrma, foram feitos para diminuir esse efeito e a resistência do ar (Figura 38), mas, devido à velocidade de queda, o efeito bolsa de ar permanecia e muita energia se dissipava no processo, gerando diferenças de pressão em áreas diferentes da superfície do bloco e resultando em formações de superfícies disformes. Portanto, para todos os blocos foi utilizado o pilão menor com golpes contados em cada lado.

FIGURA 37: Blocos com dimensões diferentes de acordo com a necessidade



Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

FIGURA 38: (a) Fôrma e pilões (b) Fôrma e detalhe da dimensão móvel (removível)



Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

A sua moldagem segue a ordem: delimitação do tamanho do bloco para ajuste da prensa; fabricação dos sacos, na hora ou previamente; ajustar saco cortado na prensa para receber o solo; preencher metade da altura com solo e compactar com 20 golpes com o pilão, em cada lado, se utilizar pilão menor para bloco com grandes dimensões; preencher novamente com solo até a altura desejada (Figura 39b); fechar o saco, colocar mais uns três centímetros de solo na altura desejada; compactar até deixar na altura final (Figura 39c); e, por fim, desmoldar o bloco com ajuda do pilão, pressionando-o para baixo enquanto a forma é levantada até nova posição.

FIGURA 39: Traçando a massa e compactação do bloco



Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

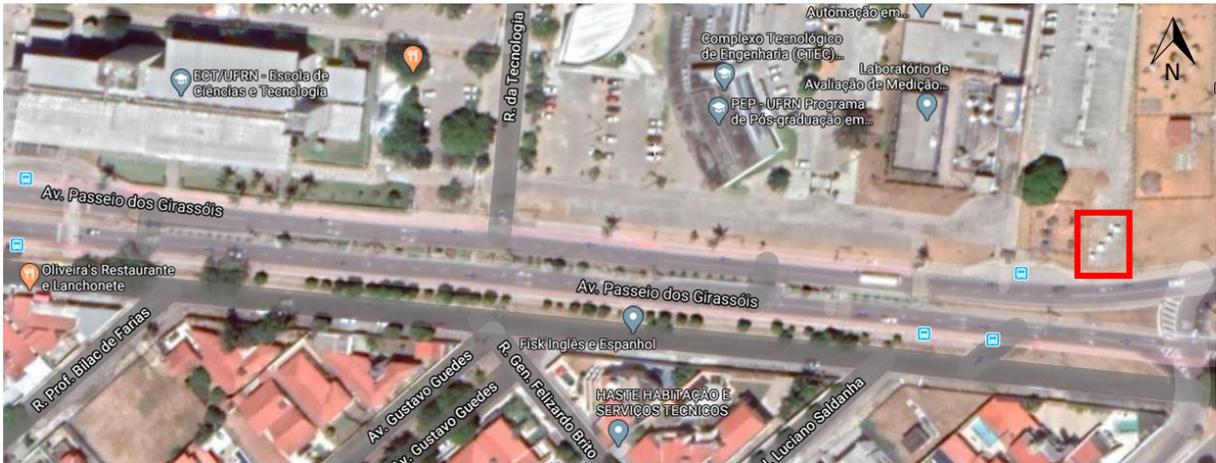
A princípio, o processo foi lento pela não familiaridade com o processo mais manual, mas, em poucos blocos, já se adquiriu a prática pela simplicidade tecnológica. Duas pessoas foram capazes de produzir cerca de 45 blocos por dia, tendo como principal limitação os traços com muita massa que demoravam a serem feitos por pessoas com pouca prática. Num sistema de fluxo contínuo, com mais pessoas para revezamento, essa quantidade seria bem maior. E, se automatizada a compactação, não seria necessária tanta mão-de-obra.

5.4. ESCOLHA DO TERRENO E PROJETO

Para um experimento bem-sucedido, foi necessário um espaço com pouca ou nenhuma influência de sombra durante o período de tempo proposto. Contudo, a dificuldade de se

encontrar um espaço que preenchesse os requisitos necessários para execução dos protótipos devido à área da universidade estar rodeada de prédios e terrenos com árvores muito próximas foi solucionada ao se solicitar ajuda ao Diretor do Centro de Tecnologia, o professor Luís Alessandro, que destinou parte de um espaço destinada à estacionamento, mas que recebe pouco fluxo, para execução do experimento, como destacado nas Figuras 40 e 41.

FIGURA 40: Localização do terreno



Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

FIGURA 41: O terreno

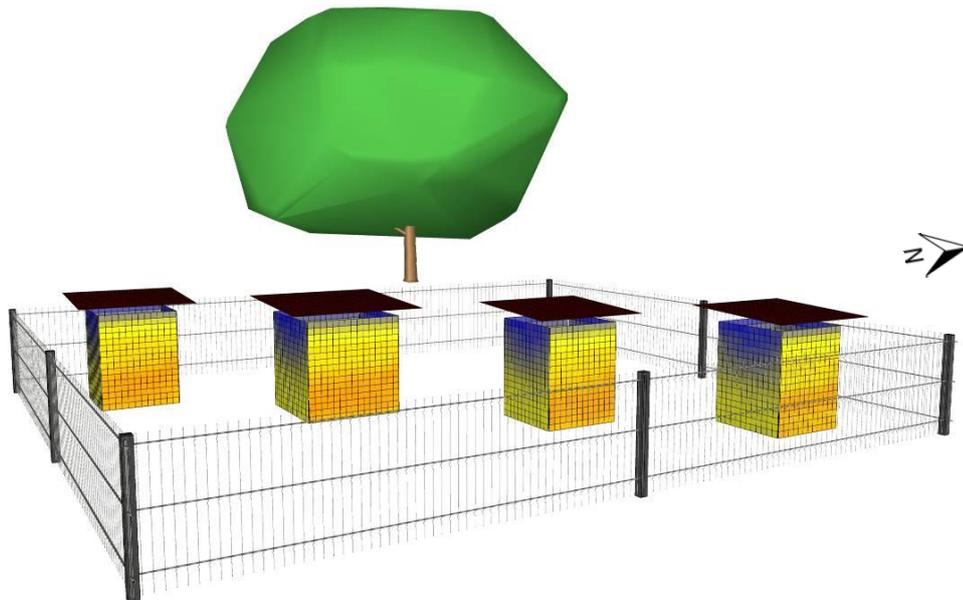


Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

No entanto, devido às dimensões limitadas e à presença de uma árvore de maiores dimensões próximo ao terreno, que impactaria em alguns períodos do ano, foi feita uma simulação para se encontrar a melhor posição dos protótipos de forma que impactem minimamente no outro ou, pelo menos, de forma igual. O programa utilizado se chama SunHours, desenvolvida pela empresa Solid Green Consulting para auxiliar projetistas na análise solar de edificações e é utilizado como uma extensão para o programa Sketch Up. A

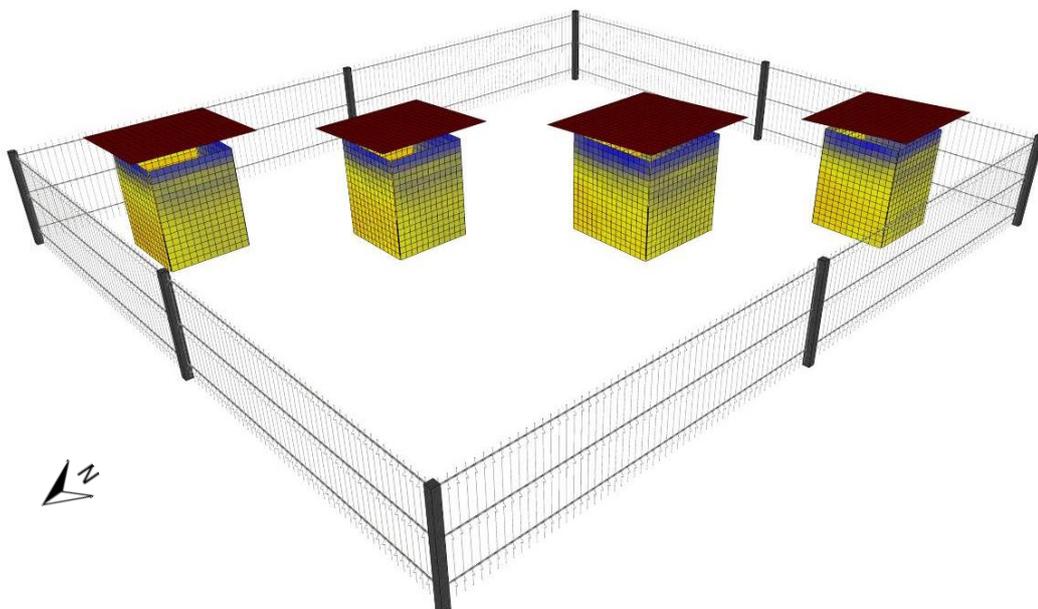
simulação foi feita considerando o ano inteiro e considerando as coordenadas de Natal para uma maior precisão. Depois de alguns testes e diferentes combinações, chegou-se a um posicionamento em que todas as fachadas possuíam exposição solar similar, como se pode observar nas Figuras 42 e 43.

FIGURA 42: Simulação de exposição solar: Lado 01



Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

FIGURA 43: Simulação de exposição solar: Lado 02



Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

A planta baixa da disposição final dos protótipos, com suas dimensões e especificações finais está acessível no apêndice deste trabalho.

5.5. A EXECUÇÃO

Como já relatado aqui, o solo foi coletado em Pium, Rio Grande do Norte, distrito próximo à Natal e chegou ao terreno no dia 06 de agosto (Figura 44), ficando até setembro sem utilização enquanto era avaliado para construção dos protótipos.

FIGURA 44: Chegada do solo



Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Os trabalhos foram iniciados oficialmente em 04 de setembro com a escavação das estacas para a cerca e com a instalação de ponto de água (Figuras 45 e 46).

FIGURA 45: Início da obra no dia 04 de setembro (a) chegada dos materiais (b) execução das fundações (c) instalação do ponto de água



Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

FIGURA 46: Instalação das estacas para cercamento no dia 06 de setembro



Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

A locação dos protótipos se iniciou no dia 09 de setembro com a execução das bases e terminou no dia 10 (Figura 47). Feitas de alvenaria convencional, aterradas com areia lavada e colocado um lastro de concreto por cima. Como o objetivo era o estudo das paredes, todos os outros segmentos serão padronizados para não interferirem diferentemente nos modelos e dificultar a análise.

FIGURA 47: Execução das bases (a) locação (b) baldrame (c) aterro e lastro de concreto



Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

O primeiro protótipo a começar a ser executado foi a de alvenaria convencional, com tijolos de 8 furos e argamassa de cimento CP-II E-32 e areia (Figura 48). O levantamento das

paredes durou dois dias, iniciando-se no dia 09 pela manhã (Figura 48a) e terminando no dia 10 no final da tarde (Figura 48d).

FIGURA 48: (a) Primeira fiada (b) Levantamento (c) Prumo (d) Finalização



Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Entre o fim do levantamento das paredes da casa de alvenaria convencional no dia 10/09 e o início da execução da casa com o sistema construtivo aqui proposto no dia 04/10, foram executados dois outros protótipos com materiais de interesse do grupo de pesquisa (LAPFiMC) que não serão foco para este trabalho, mas que serão tratados nos próximos (Figura 49). Nesse meio tempo, ela também foi rebocada e teve seu piso concluído com revestimento em cimento queimado.

FIGURA 49: Protótipos no dia 30 de setembro de 2019



Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Apesar do levantamento das paredes só ter começado no dia 04 de outubro, já no dia 01 se começou a produzir os blocos, com quantidade sendo limitada pela capacidade humana (dois estudantes com pouca prática em atividades braçais) e pelo espaço na lona (Figura 50).

A argamassa utilizada para o assentamento dos blocos seguiu o traço 1:10 em que a cada lata de cimento se colocava 10 latas de solo e manipueira em substituição à água (Figura 51a). Como não está no arcabouço desse trabalho o estudo da argamassa, procurou-se não fugir muito da composição proposta para o bloco, mas, por segurança, com um pouco de cimento, já que não passou pelo mesmo processo de compactação que os blocos.

No dia 02, foram colocadas as telhas sanduíche nos demais modelos. Essa telha foi escolhida pelo seu bom desempenho como isolante térmico devido à grande influência da cobertura na absorção do calor durante o dia, capaz de maquiar os dados referentes ao desempenho das paredes, foco do estudo deste trabalho. O levantamento das primeiras fiadas das paredes do protótipo está descrito nas Figuras 50, 51, 52, 53, 54 e 55.

FIGURA 50: Execução dos blocos (a) A massa (b) Execução dos blocos (c) Secagem



Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

FIGURA 51: (a) Produção da argamassa (b) Planejamento da fiada (c) Início do levantamento



Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

FIGURA 52: (a) Primeira fiada de teste (b) Amarração



Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

FIGURA 53: O levantamento foi limitado pela quantidade de blocos produzidos



Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

FIGURA 54: Produção de blocos no dia 05 de outubro com proteção para chuva



Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

FIGURA 55: (a) Amarração (b) Detalhe dos blocos



Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Devido às dimensões da parede, com 0,25 m de espessura, foi utilizado um rufo e uma armação externa para execução da verga, como demonstrado na Figura 56.

FIGURA 56: Dia 08 de outubro (a) Conferência (b) e (c) Execução da Verga



Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Como os blocos foram produzidos concomitantemente ao levantamento das paredes, o pedreiro adiantava algumas etapas, como o chapisco, enquanto mais blocos eram feitos, devido ao cronograma de horários dele e da obra (Figura 57). Para o estudo aqui proposto, isso não trouxe impacto significativo na análise dos dados, mas a longo prazo será observado se há impacto na formação de fissuras ou trincas em futuros estudos. Desses blocos, alguns foram produzidos em alturas diferentes para facilitar o caimento do telhado (Figura 58).

FIGURA 57: (a) Nivelamento da última fiada (b) Chapisco no dia 09 de outubro



Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

FIGURA 58: (a), (b) e (c) Caimento do telhado com bloco de dimensões diferenciadas



Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

O reboco externo, finalizado no dia 11 de outubro (Figura 59), foi executado seguindo o mesmo padrão da casa de alvenaria convencional, considerando que a intenção é que o sistema construtivo funcione como qualquer outro, tendo possibilidade de se rebocar ou não, deixando o acabamento estético à decisão do cliente ou do arquiteto. O reboco interno procurou seguir a lógica da argamassa de assentamento, só que com areia num traço de 1:5:3, em que para cada lata de cimento, usou-se 05 de solo e 03 de areia (Figura 60). Como era uma área maior de aplicação, procurou-se diminuir o potencial de retração do solo (apesar de pequeno) corrigindo-o com areia num traço um pouco mais forte, mais sem perder a ideia do “filtro de barro”.

FIGURA 59: Reboco com argamassa convencional



Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

FIGURA 60: Dias 14 e 15 de outubro (a) Argamassa interna (b) Início do reboco (c) Durante (d) Fim do reboco



Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Finalizado o reboco (Figura 61), o piso (Figura 62) e a instalação da cobertura (Figura 63), todos os protótipos foram pintados com o mesmo material, tinta acrílica branca (Figuras 64 e 65). Ademais, para futuros trabalhos, pretende-se avaliar como se deu a relação do solo, da manieira e do reboco, sua resistência à variação climática, assim como alguns parâmetros de durabilidade, não sendo foco aqui devido ao tempo exigido para uma boa avaliação.

FIGURA 61: (a), (b) e (c) Finalização do reboco e do capiaço



Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

FIGURA 62: (a) Finalização do piso (b) Instalação do portão nos dias 17 e 18



Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

FIGURA 63: (a) Instalação da cobertura (b) Preparação para pintura no dia 21 de outubro



Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

FIGURA 64: Fim da obra no dia 22 de outubro: aberturas voltadas para leste



Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

FIGURA 65: Fim da obra no dia 22 de outubro: costas voltadas para oeste



Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Foram instalados os termopares nos dois protótipos a serem avaliados por métodos comparativos, no de adobe modificado, denominado de T1, e no de alvenaria convencional, denominado de T2.

5.5.1. Avaliação da construção dos protótipos

A construção desses protótipos foi complicada, burocrática e demorada, mas à medida em que foi se desenvolvendo, a proposta foi lapidada de acordo com as necessidades que vinham surgindo. Às vezes, a pesquisa universitária é acostumada a propor e criar produtos, mas poucos são efetivamente postos em prática. Esse bloco, a princípio, teria 40 cm de comprimento, com a intenção de tornar a construção mais rápida ao diminuir-se a quantidade de blocos, mas foi a experiência de obra que mostrou a impossibilidade dessas dimensões, devido ao peso que o bloco possuía.

A proposta inicial era também ser produzido e já colocado nas paredes como o sugerido pelo sistema Brickeradobe, mas a não ser que a umidade fosse muito alta, os blocos fissuravam internamente nesse processo, perdendo a resistência da compactação, além da impossibilidade de se nivelar e bater o prumo dos blocos pelo processo conhecido dos pedreiros que envolvem batidas com a parte de trás da colher. Para isso, é necessária uma superfície mais rígida superficialmente.

Dessa maneira, a partir de alguns testes empíricos *in loco*, percebeu-se que em menos de 24h, apesar de úmidos ainda, eles já adquiriam resistência para serem transportados e nivelados. Uma ressalva importante quanto à umidade do bloco é que, quando saturado, ocorre o mesmo efeito comum nos ensaios de compactação com Proctor, sendo rapidamente percebido com a água superficial e o inchamento da massa, impossibilitando a compactação de forma adequada e aumentando o efeito colante no pilão. Por outro lado, a massa na umidade ótima facilitava o processo de desmoldagem dos blocos e o saco aderiu bem, mas quando saturado, apesar do saco aderir ainda melhor, e quando seco demais ficava mais difícil seu desmolde, exigindo até três pessoas para esse processo que deveria ser simplificado. O controle de umidade quando na obra, sob o sol, é difícil, nos fazendo optar por aplicar desmoldante nas paredes da forma. Se desde o princípio se soubesse que não daria para utilizar os blocos assim que moldados, os blocos já teriam sido produzidos anteriormente na sombra, onde se teria mais controle sob esse aspecto.

Com esses empecilhos e dificuldades, a casa T1, cujos blocos foram produzidos durante o levantamento das paredes, demorou mais a ser executada do que a de alvenaria convencional, a casa T2, devido à limitação da produção à quantidade de blocos prontos e secos. Quanto à experiência do pedreiro e do servente durante a execução dos protótipos, eles ressaltaram o odor da manípueira que levou um tempo para se acostumarem e o peso dos blocos, principalmente no início, quando ainda se pensava num bloco maior para uma execução mais rápida. Esses relatos e a experiência de obra são importantes para embasar futuras propostas ao se pensar em um dimensionamento diferente para o bloco, algo possível com a forma aqui trazida. A partir desta experiência, acredita-se que as metades de blocos moldadas com 12,5 cm x 25 cm x 15 cm para a amarração das fiadas tenha a dimensão ideal de se trabalhar, mas é essencial que antes dessa decisão se analise também a espessura desejada e a quantidade de blocos gerada, pois seria necessário mais energia de compactação e, conseqüentemente, maior esforço da mão de-obra.

5.6. AVALIAÇÃO TÉRMICA DOS SISTEMAS CONSTRUTIVOS

A avaliação térmica do sistema se deu através de duas formas: a primeira foi numérica, através dos cálculos destacados na revisão de literatura desse trabalho, em que se encontrou os valores referentes à Resistência Térmica (R), a Transmitância Térmica (U), o Fator de Calor Solar (FCS) e o Atraso Térmico (ϕ); a segunda foi feita através do monitoramento térmico dos protótipos construídos através de termopares instalados nas paredes norte-sul e um no centro da casinha para captar a temperatura ambiente.

5.6.1. Cálculos

5.6.1.1. Resistência Térmica (R) e Transmitância Térmica (U)

A partir dos dados obtidos através do ensaio de condutividade térmica e da fundamentação teórica, foi possível chegar numericamente aos valores da resistência térmica e da transmitância térmica do sistema aqui proposto através das fórmulas na Equação 16:

$$R = e/\lambda \quad U = 1/R_T \quad (16)$$

A Resistência Térmica total (R_T), que leva em consideração o reboco, foi obtida através da soma das resistências de camadas homogêneas. Para efeitos de cálculo, considerou-se 5,0 cm de reboco e condutividade térmica de 0,7 W/m.K, o Quadro 10 apresenta os resultados das propriedades térmicas dos blocos.

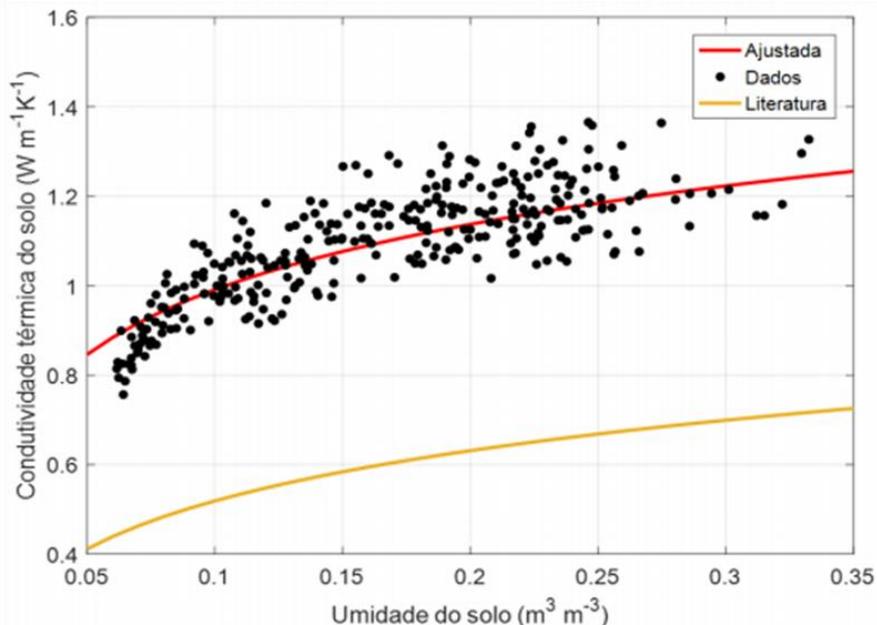
QUADRO 10: Propriedades térmicas dos blocos

CP	d (g/cm ³)	λ (W/m.K)	C (E+6 J/m ³ .K)	c (J/Kg.K)	α (E-6 m ² /s)	R (m ² .k/W)	R _{total}	U (W/(m ² .K))	$\lambda_{\text{média}}$	U _{médio}
SA ₁	1,5711	0,725	1,44	0,946	0,503	0,345	0,488	2,051	0,701	1,975
SA ₂	1,6648	0,993	1,58	0,949	0,63	0,252	0,395	2,534		
SA ₃	1,5822	0,533	1,44	0,939	0,454	0,469	0,612	1,634		
SA ₄	1,5704	0,553	1,41	0,927	0,392	0,452	0,595	1,681		
SM ₁	1,8719	0,922	-	-	-	0,271	0,414	2,415	1,082	2,647
SM ₂	1,9097	1,4	1,43	0,773	0,983	0,179	0,321	3,111		
SM ₃	1,8495	0,817	-	-	-	0,306	0,449	2,228		
SM ₄	1,9094	1,19	1,4	0,757	0,848	0,210	0,353	2,833		
CA ₁	1,8503	0,639	-	-	-	0,391	0,534	1,872	0,672	1,941
CA ₂	1,8703	0,725	-	-	-	0,345	0,488	2,051		
CA ₃	1,7401	0,687	-	-	-	0,364	0,507	1,973		
CA ₄	1,7575	0,636	1,39	0,816	0,459	0,393	0,536	1,866		
CM ₁	1,7138	0,679	-	-	-	0,368	0,511	1,957	0,602	1,788
CM ₂	1,7356	0,588	-	-	-	0,425	0,568	1,760		
CM ₃	1,7071	0,616	-	-	-	0,406	0,549	1,822		
CM ₄	1,7353	0,524	-	-	-	0,477	0,620	1,613		

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Todos os valores médios obtidos para a Transmitância Térmica (U) estão abaixo dos exigidos para a Zona Bioclimática 08, a qual Natal pertence, que devem ser inferiores a 3,60 W/(m².K) segundo a norma NBR 15220 (ABNT, 2005). Além disso, com exceção da composição de solo e manipueira, por ser muito densa e reter água, aumentando a condutividade, todas as outras composições estão aptas a serem executadas nas outras zonas bioclimáticas também. No entanto, considerando as condições climáticas locais específicas, tão defendidas neste trabalho, não se pode afirmar isso dessa maneira, um exemplo foi a composição de solo e manipueira e o seu resultado insatisfatório num primeiro momento para ser aplicado no interior do estado, por não atingir valores inferiores a 2,20 W/(m².K), como estabelecido pela norma NBR 15220 (ABNT, 2005) para a Zona Bioclimática 07. Sua condutividade se tornou maior em Natal devido ao clima úmido, cujas partículas de água no ar são absorvidas pelos blocos, estando sempre úmidos, relação esta sintetizada no Gráfico 7.

GRÁFICO 7: Condutividade térmica x Umidade do solo (de 09/2014 a 09/2015)



Fonte: ZIMMER et al. (2018).

Em síntese, os valores de condutividade térmica seriam diferentes na Zona Bioclimática 07, devido à diferença de umidade do ar. Numa situação hipotética em que ainda assim ele absorveria uma porcentagem de umidade do ar ao seu redor ou caso os blocos fossem molhados, se acontecesse, essa umidade traria o resfriamento do sistema, devido ao clima seco favorecer a evaporação da água, reação endotérmica que captura o calor do ambiente, resfriando-o num efeito popularmente conhecido como “frio por evaporação”. É a

lógica do filtro do barro, que funciona tão bem em climas quentes e secos. Dessa forma, defende-se aqui que um sistema eficiente para a Zona Bioclimática 07 deve, além de ter elevada massa térmica, ser poroso e reter água, para trazer a lógica do filtro de barro para uma escala maior.

5.6.1.2. Fator de Calor Solar (FS)

Como já destacado, o Fator de Calor Solar diz respeito ao quociente da energia solar absorvida por um componente pela energia solar total incidente sobre a superfície externa do mesmo (ABNT, 2003) e é descrita pela Equação 17 já citada na fundamentação teórica que leva em consideração a Transmitância Térmica do material e a Absortividade.

$$FS = 4.U. \alpha \quad (17)$$

Como as paredes foram rebocadas e pintadas de branco, considerou-se o valor para absortância obtido por Castro et al. (2003) através de análise espectrofotométrica de 0,25 para tinta acrílica branca. Os valores obtidos para as composições estão descritos no Quadro 11.

QUADRO 11: Fator de Calor Solar do Sistema

CP	U (W/(m ² .K))	FS	U _{médio}	FS _{médio}
SA ₁	2,051	1,640	1,975	1,580
SA ₂	2,534	2,027		
SA ₃	1,634	1,307		
SA ₄	1,681	1,345		
SM ₁	2,415	1,932	2,647	2,118
SM ₂	3,111	2,489		
SM ₃	2,228	1,782		
SM ₄	2,833	2,267		
CA ₁	1,872	1,498	1,941	1,552
CA ₂	2,051	1,640		
CA ₃	1,973	1,579		
CA ₄	1,866	1,493		
CM ₁	1,957	1,565	1,788	1,431
CM ₂	1,760	1,408		
CM ₃	1,822	1,458		
CM ₄	1,613	1,290		

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

A norma NBR 15220 (ABNT, 2005) estabelece que o Fator de Calor Solar deve ser igual ou inferior a 3,50 para a Zona Bioclimática 07 e igual ou inferior a 4,0 para a Zona Bioclimática 08. Todas as composições atingiram os valores recomendados.

5.6.1.3. Atraso Térmico (ϕ)

Com a função de quantificar o tempo levado para que um fluxo de calor atrevesse um componente construtivo e foi descrito aqui a partir da Equação 18:

$$\phi = 1,382.e.\sqrt{(\rho.c/3,6. \lambda)} \quad (18)$$

Contudo, como a fórmula exige valores ou para a Capacidade Térmica dos materiais ou para o Calor Específico do mesmo, foram feitos apenas para aquelas composições que o medidor térmico conseguiu quantificar. O Quadro 12 a seguir traz os resultados:

QUADRO 12: Atraso térmico dos blocos

CP	d (kg/m ³)	λ (W/m.K)	c (J/Kg.K)	ϕ (h)
SA ₁	1571,097	0,725	0,946	8,245
SA ₂	1664,800	0,993	0,949	7,264
SA ₃	1582,245	0,533	0,939	9,616
SA ₄	1570,374	0,553	0,927	9,342
SM ₂	1909,677	1,400	0,773	5,913
SM ₄	1909,368	1,190	0,757	6,346
CA ₄	1757,523	0,636	0,816	8,649

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Devido à elevada massa térmica, todas as composições tiveram atrasos térmicos superiores ao estabelecido pela norma NBR 15220 (ABNT, 2005). Paredes grossas, como as propostas aqui, promovem a inércia térmica, parâmetro que envolvem dois fenômenos principais, o atraso térmico que leva o frio da noite para a manhã e o calor do dia para a noite, e a redução da amplitude térmica, exatamente por equilibrar a variação de temperatura externa. Esse comportamento é melhor percebido no item a seguir, permitindo uma análise mais objetiva desse efeito e quais suas vantagens e desvantagens.

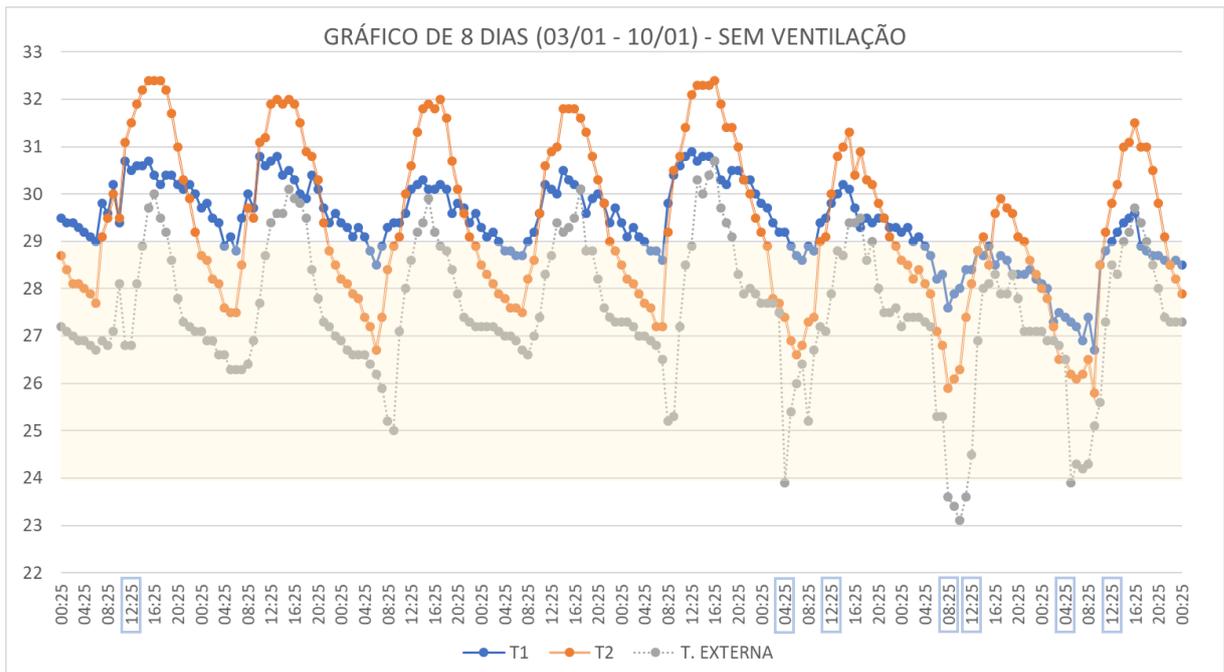
5.6.2. Monitoramento térmico dos protótipos

Após construção dos protótipos, foram instalados termopares do tipo K no interior da casa de alvenaria e na casa construída com o bloco aqui proposto para medir a temperatura do ar e nas paredes norte-sul, para medir a temperatura das superfícies. Durante o período de 01 a 11 de janeiro de 2020, foram medidas a temperatura do ar das casas sem ventilação, bloqueando a entrada delas, ficaram apenas frestas para o sistema não ficar 100% lacrado. O

monitoramento com ventilação durou do dia 14 ao dia 26 de fevereiro de 2020. Nesse período, com as casas ventiladas, foram medidas as temperaturas das paredes das casas, começando no dia 14 e indo até o dia 20 de fevereiro de 2020 na casa com o sistema aqui proposto e do dia 20 ao dia 26 de fevereiro na casa de alvenaria convencional. Todos os valores relativos ao monitoramento estão dispostos no Apêndice deste trabalho.

Para estabelecer uma referência ao construir os gráficos, definiu-se o recorte temporal em oito dias, consistindo em uma semana mais um dia para fechar o ciclo, sempre se iniciando e terminando às 0h. O Gráfico 8 traz os resultados do monitoramento sem ventilação, com início no dia 03 e término no dia 10 de janeiro. Os valores de T1 são relativos às temperaturas do ar da casa de blocos de solo e manipueira e os valores de T2 aos de alvenaria convencional. Os horários destacados com retângulo azul representam períodos de chuva nesse horário ou em horário próximo.

GRÁFICO 8: Monitoramento da temperatura do ar sem ventilação

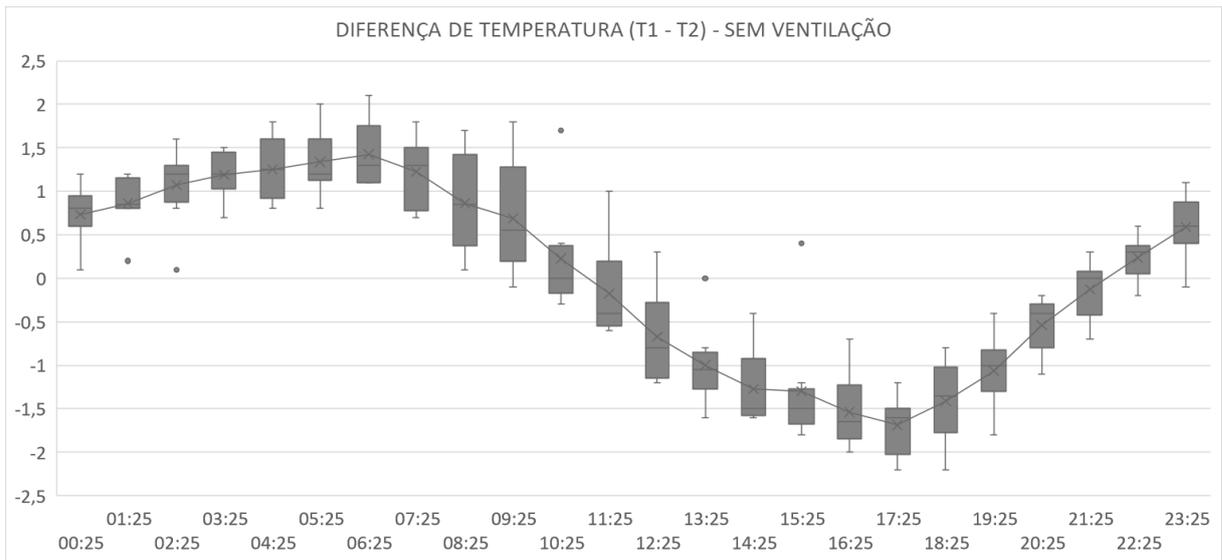


Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Graficamente, foi notável a diminuição da amplitude térmica da casa T1 em relação à casa T2, devido à inércia térmica da elevada massa térmica, diminuindo em até quase 3 °C a temperatura do ar em comparação ao sistema mais leve durante a tarde, quando as temperaturas estão em seu pico. Ou seja, sistemas fechados, que utilizam condicionamento de ar durante o dia, como estabelecimentos de horário comercial, seriam os mais beneficiados ao utilizar esse sistema construtivo. Contudo, durante a madrugada, o efeito se inverte, tendo que

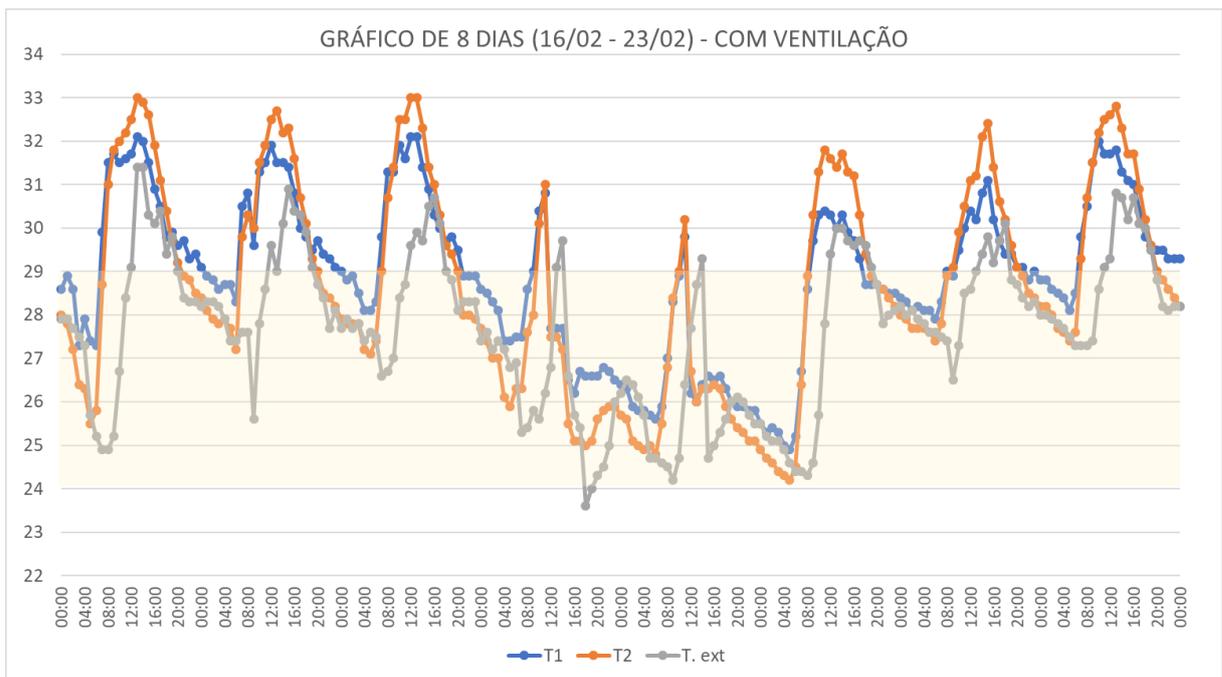
ser avaliado as vantagens e desvantagens de acordo com o uso, e com os horários de permanência das pessoas no lugar. A faixa amarela no gráfico descreve a faixa de conforto para Natal para esse período de ano segundo Humphreys e Nicol (CUNHA, 2010). O Gráfico 9 realça a diferença de temperatura entre T1 e T2 por hora do dia, trazendo os desvios padrões e as faixas de variabilidade. O Gráfico 10 ilustra os resultados do monitoramento com ventilação, com início no dia 14 de fevereiro e término no dia 26 de fevereiro.

GRÁFICO 9: Diferença de temperatura entre T1 e T2 – Sem Ventilação



Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

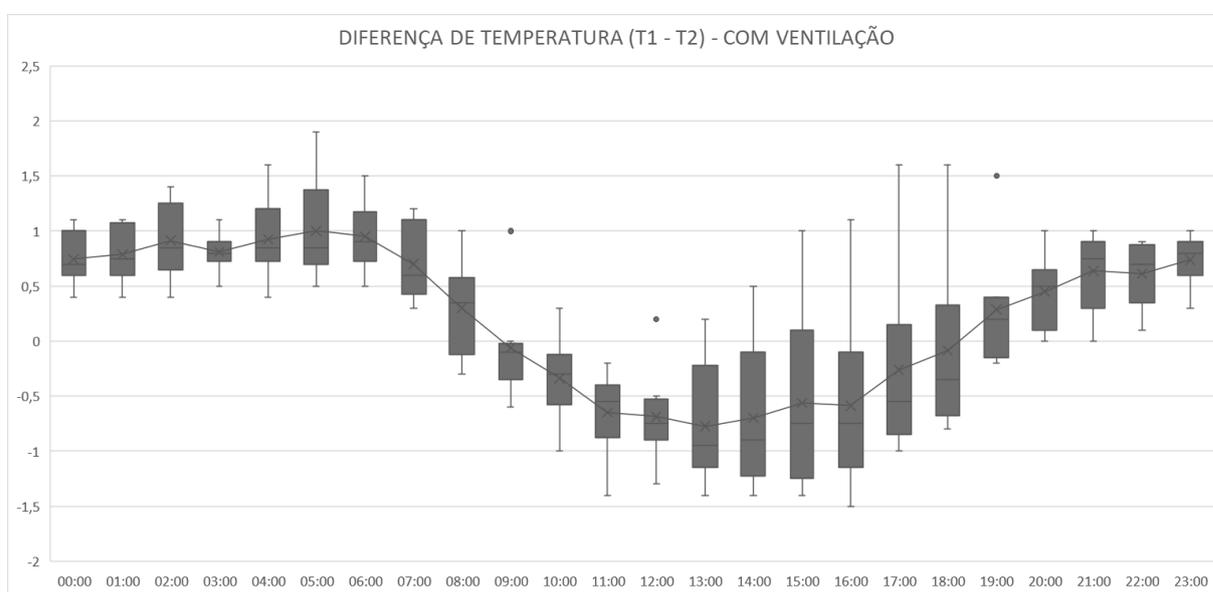
GRÁFICO 10: Monitoramento da temperatura do ar com ventilação



Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Enquanto no sistema sem ventilação, foi possível ver a grande diminuição na amplitude térmica, no sistema com ventilação, o efeito da inércia térmica cai bastante, já que há calor sendo transportado pelo vento, seja retirando do sistema ou adicionando. Durante o dia, em comparação ao Gráfico 8 anterior, foi perceptível o ganho de calor através da ventilação na casa T1, que antes conseguiu se manter destacadamente mais fria, mas que nessa situação tem comportamento muito similar a T2, com uma leve diminuição da amplitude térmica, mas as linhas já se aproximam muito mais. O Gráfico 11 traz algumas observações complementares para avaliação dos resultados de temperatura do obtidos.

GRÁFICO 11: Diferença de temperatura entre T1 e T2 – Com Ventilação

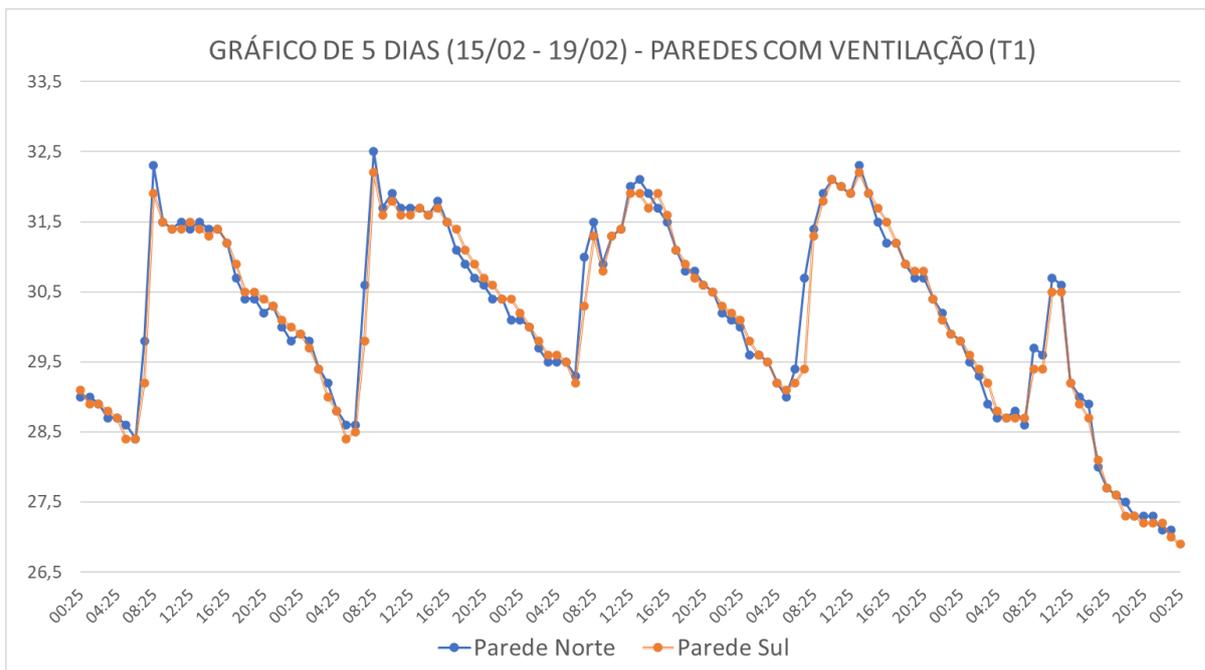


Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

De curva bem menos acentuada que a percebida no Gráfico 10, tem-se ainda uma grande variabilidade de temperatura no período da tarde, com desvios padrões altíssimos, o que evidencia o potencial da ventilação de interferir na temperatura interna dos ambientes. Mesmo se entendendo que esse experimento foi feito de forma a se potencializar alguns parâmetros, percebeu-se que a solução ideal, mais parecida com a Zona Bioclimática 07 do que se pôde perceber à primeira vista, envolve ventilação seletiva durante o dia, mantendo a temperatura mais amena das paredes, protegendo do ganho de calor do exterior.

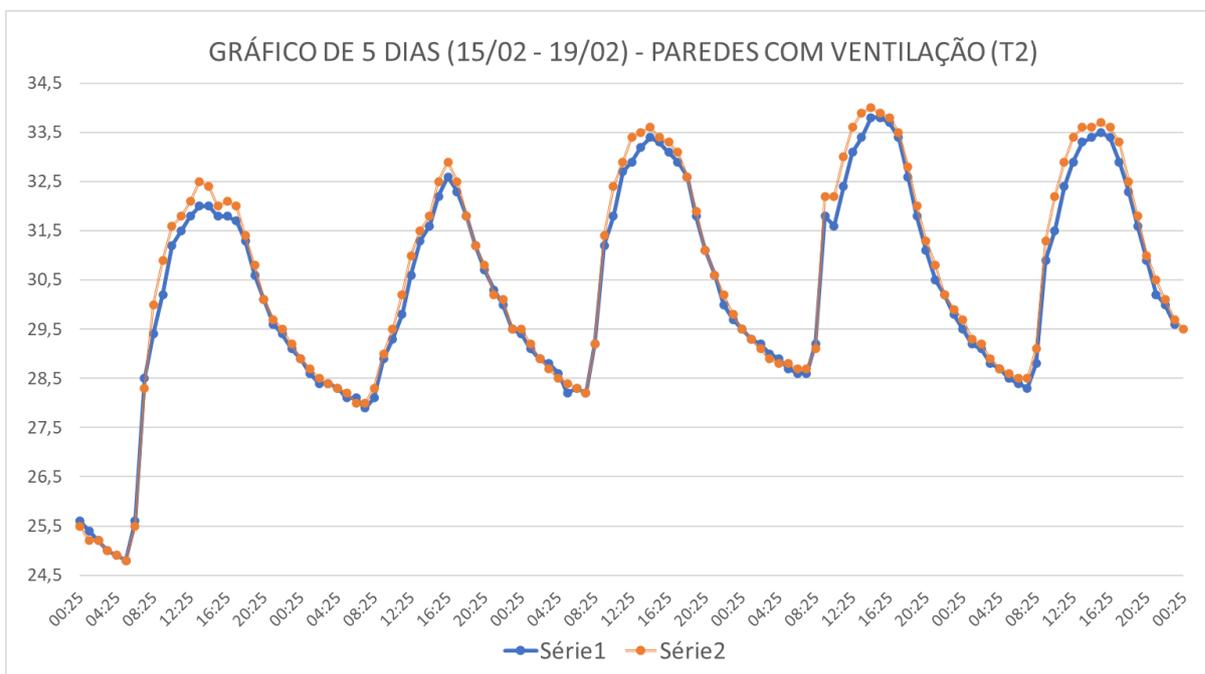
Paralelamente a essas medições, foram medidas as temperaturas das paredes norte-sul das duas casas. Devido ao posicionamento do sol, um pouco mais ao sul nesse período do ano, acreditou-se que elas teriam temperaturas diferentes, pela diferenciada carga solar. Mas o experimento vai na contramão dessa hipótese, como destacado nos Gráficos 12 e 13.

GRÁFICO 12: Temperatura da superfície interna das paredes (T1)



Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

GRÁFICO 13: Temperatura da superfície interna das paredes (T1)



Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

O que primeiro se destacou ao observar os gráficos, além dos valores muito semelhantes para paredes opostas foi o padrão das curvas. Enquanto as curvas de T2 possuem parábolas quase perfeitas que explicitam o processo de ganho de calor, as curvas de T1 são mais retas, com picos mais destacados, geralmente seguidos de uma queda de temperatura,

possivelmente resultado dos caminhos do fluxo de calor, indo do mais quente para o mais frio e mudando continuamente. Esse processo permanente foi responsável pela diminuição da amplitude térmica e é consequência do combo atraso térmico e inércia térmica, em que o tempo que o fluxo de calor leva pra ir do meio exterior, mais quente, para o meio interior, mais frio dura muito tempo. Assim, antes de efetivamente chegar completamente dentro do ambiente, ele começa o caminho de volta, porque à noite o sentido do fluxo de calor se inverte, devido ao meio externo estar mais frio que o interno geralmente.

5.7. AVALIAÇÃO ACÚSTICA DOS SISTEMAS

A princípio, pensou-se em fazer medições in loco com decibélímetro para se obter a Perda de Transmissão Sonora real, mas há uma via muito movimentada na fachada sul do terreno, que compartilha o mesmo sentido e direção do vento, que é sudeste (Figura 66). Como as portas dos protótipos são voltadas para leste, exatamente para se ter o parâmetro da ventilação no monitoramento térmico, o ruído intermitente, mas frequente, tem passagem direta para o interior das casas, em razão destas serem fechadas apenas com grade e a membrana utilizada para impedir ventilação ser leve, não tendo boas propriedades acústicas.

FIGURA 66: Terreno faz limite com a via de acesso para a UFRN



Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Isso impede uma avaliação em justa condição para se obter os valores de Isolamento Bruto entre recintos (D), definido pela diferença do Nível de Pressão Sonora Equivalente (L_{Aeq}) do meio externo, que estava variando entre 60 e 70 dB, para o meio interno (N_{EXT} e N_{INT}), que não diminuiu muito, só cerca de 5 dB. Por esse motivo, devido às condições

acústicas do terreno, não foram feitas medições do Nível de Pressão Sonora, mas foram calculados.

Com isso em mente, a avaliação acústica dos blocos se deu numericamente através da Equação 19 já citada anteriormente, em que a frequência (f) foi definida em 1000 Hz para fins de padronização do cálculo. Os resultados estão apresentados no Quadro 13.

$$PT = 20\log(fm) - 47 \text{ (dB)} \quad (19)$$

QUADRO 13: Perda de Transmissão Sonora dos blocos VS tijolo

Elemento	Área	e (m)	d (kg/m ²)	M (kg/m ²)	PT (dB)	τ_i	Área x τ_i
SA ₁	5,00	0,250	1571	392,77	64,88	0,000000	0,000002
SA ₂	5,00	0,250	1665	416,20	65,39	0,000000	0,000001
SA ₃	5,00	0,250	1582	395,56	64,94	0,000000	0,000002
SA ₄	5,00	0,250	1570	392,59	64,88	0,000000	0,000002
SM ₁	5,00	0,250	1872	467,97	66,40	0,000000	0,000001
SM ₂	5,00	0,250	1910	477,42	66,58	0,000000	0,000001
SM ₃	5,00	0,250	1849	462,37	66,30	0,000000	0,000001
SM ₄	5,00	0,250	1909	477,34	66,58	0,000000	0,000001
CA ₁	5,00	0,250	1850	462,59	66,30	0,000000	0,000001
CA ₂	5,00	0,250	1870	467,57	66,40	0,000000	0,000001
CA ₃	5,00	0,250	1740	435,03	65,77	0,000000	0,000001
CA ₄	5,00	0,250	1758	439,38	65,86	0,000000	0,000001
CM ₁	5,00	0,250	1714	428,45	65,64	0,000000	0,000001
CM ₂	5,00	0,250	1736	433,91	65,75	0,000000	0,000001
CM ₃	5,00	0,250	1707	426,79	65,60	0,000000	0,000001
CM ₄	5,00	0,250	1735	433,81	65,75	0,000000	0,000001
Tijolo 8 Furos	5,00	0,090	1150	103,50	53,30	0,000005	0,000023

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Observando o Quadro 12, é facilmente notável a diferença entre os dois sistemas, resultado já esperado, considerando a diferença de massa e de espessura. A diferença da PT do bloco SM₂, que possui o melhor isolamento, para o tijolo é superior aos 13 dB, devido a isso. Contudo, mesmo se os dois sistemas possuísem a mesma espessura, o tijolo de alvenaria seria menos eficiente acusticamente, devido à diferença de densidade entre os dois. Ambos sistemas estão dentro do estabelecido pela norma NBR 15575.

5.8. AVALIAÇÃO FÍSICO-FINANCEIRA DOS SISTEMAS CONSTRUTIVOS

Quanto aos custos, por ter sido um estudo que envolveu outros materiais em duas outras casas a serem analisadas em futuros trabalhos, o valor da obra foi superior ao descrito no Quadro 13. No entanto, para efeitos comparativos, resolveu-se isolar os custos referentes aos dois sistemas, em quantidade de material, mas não mão-de-obra, já que não se foi capaz de quantificar com exatidão a gestão do tempo dos trabalhadores que estavam realizando paralelamente outras atividades. Somado a isso, as dificuldades durante a obra também impactaram no seu cronograma. Como o sistema estava sendo testado, o tempo de aprendizagem e erro também influenciou nos dados. Ainda assim, tem-se no Quadro 14 os custos mais diretos da construção dos dois protótipos.

QUADRO 14: Custos isolados das casas

	TIJOLO (und)	SOLO (m ³)	SACOS (und)	CIMENTO (saco)	AREIA (m ³)	TOTAL
	*R\$0,36	R\$25,00	R\$0,20	*R\$22,68	*R\$34,15	
CASA T1	0	2	64	2	0,217	R\$115,57
	R\$0,00	R\$50,00	R\$12,80	R\$45,36	R\$7,41	
CASA T2	120	0	0	4	0,432	R\$148,67
	R\$43,20	R\$0,00	R\$0,00	R\$90,72	R\$14,75	

Fonte: Elaborado pelo autor (2020). *Dados dos valores com base no Sistema Integrado de Patrimônio, Administração e Contratos (SIPAC) da UFRN.

Observando-se a tabela, é possível perceber que a casa T2, de alvenaria, teve um custo a mais de 28% em relação ao custo da casa T1, enfatizando a viabilidade econômica do sistema. A maior diferença está na quantidade de cimento requerida que, além de ter um processo de fabricação conhecidamente prejudicial ao ambiente, é um dos materiais que mais encarece uma obra. Destaca-se ainda que sua utilização cresceria exponencialmente em relação ao necessário em T1 para obras maiores, o que ampliaria a diferença.

No entanto, é importante ressaltar que, levando-se em consideração a maior necessidade de mão-de-obra em T1, não se tem dados do impacto desse serviço nos custos totais da obra, não sendo possível concluir se diminuiria de forma significativa sua viabilidade econômica ou se ainda assim seria mais viável que um sistema tradicional. Por outro lado, uma solução para isso seria uma mecanização do processo ou mesmo a autoprodução, possibilitado pela simplicidade tecnológica do sistema.

6. CONCLUSÃO

Os resultados obtidos neste trabalho foram além do que se esperava inicialmente, considerando textos de referência da revisão de literatura utilizados, avanços na delimitação da temática, nas metodologias aplicadas, na explicação da funcionalidade do processo construtivo proposto e no destaque ao objeto de estudo para o desenvolvimento urbano nas regiões bioclimáticas em foco.

Ressalta-se a importância de novos estudos e pesquisas perceberem cada vez mais a necessidade de se produzir construções adaptadas às condições climáticas do local onde estão inseridas, o que melhoraria não só a sensação de conforto, mas também seu desempenho energético, parâmetros que interferem diretamente no ciclo de vida das edificações. A manipueira, por exemplo, é agente poluidor para uns, esgoto doméstico para outros, mas espera-se que, com o surgimento de novas pesquisas a respeito, ele seja conhecido por outras propriedades, possível a partir de uma maior organização por parte dos pesquisadores e produtores e uma estruturação com incentivo de agentes públicos para o mercado.

Nesse sentido, a manipueira utilizada, conforme explicitado ao longo do trabalho, tinha o pH em torno de 4,5, considerada ácida, e era predominantemente formada por elementos como nitrogênio, potássio, sódio, magnésio e cálcio, segundo ensaio de bancada. No entanto, a análise química através de Fluorescência de Raios X, que traz a composição na forma de óxidos, evidenciou a predominância de cálcio (CaO), ferro (Fe₂O₃), potássio (K₂O) e sílica (SiO₂). Quanto ao solo, a análise mineralógica revelou que seu argilomineral predominante era a caulinita, seguida de quartzo e ilita. A análise química trouxe grande concentração de ferro (Fe₂O₃), seguido de sílica (SiO₂) e de alumina (Al₂O₃) e a sua caracterização apresentou valores condizentes com o estabelecido pelas normas para solo-cimento, principal referência deste trabalho pela inexistência de normas específicas.

A partir da análise de sua composição e da definição da umidade ótima em 10% para o sistema através do ensaio de compactação, que apresentou resultados mais favoráveis para o solo e a manipueira, foram estabelecidas quatro formulações para ensaios de resistência à compressão, absorção de água por capilaridade e condutividade térmica: solo e água (SA), solo e manipueira (SM), solo, água e 10% cimento (CA) e solo, manipueira e cimento (CM). Todas as composições obtiveram resistência superior a 1 MPa, mínimo exigido para vedação em solo-cimento, e, com exceção dos blocos SA, todos os outros alcançaram mais de 2 MPa. As composições com cimento apresentaram menor condutividade térmica do que os que não

foram estabilizados, acredita-se que devido à diferença de permeabilidade, em que os blocos com apenas solo e manipueira são mais densos, facilitando a condução térmica.

Os blocos com apenas solo e água, apesar de boa resistência à compressão, perdem muita massa por falta de liga quando secos, apresentando-se muito esfareláveis, tendo baixa resistência à tração e rompendo às vezes apenas com o seu manuseio ao erguê-lo. Isso indica que, para um bloco nessas dimensões com apenas solo e água, é necessário um material mais ligante, com maior predominância de argilominerais que reproduzam um efeito cimentício, obtido através da manipueira. Nesse sentido, a utilização da manipueira trouxe melhorias significativas por agir exatamente nas fragilidades do solo ao funcionar como uma resina, melhorando sua compactação e diminuindo a perda de massa, quando em contato direto com água ao não se dissolver, como observado nos ensaios de absorção por capilaridade.

Ademais, com o objetivo de se ter um experimento prático e real de construção em terra com um olhar mais contemporâneo, escolheu-se a composição de solo e manipueira para se construir um protótipo na UFRN e ser monitorado através de termopares. Isso porque o setor da construção civil vem enfrentando dilemas diários num mercado de trabalho saturado e extremamente competitivo. Mais do que qualidade, exige-se rapidez e baixo custo. O processo de globalização observado no mundo todo, combinado aos rápidos avanços tecnológicos, parece ter deixado de lado por um momento algumas questões extremamente importantes para um desenvolvimento sustentável que se pretenda solucionar os problemas de uma região e melhorar a qualidade da vida daqueles que a utilizam. Nesse sentido, procurou-se aqui apresentar como alternativa um sistema construtivo que valorize o contexto que está inserido e com possibilidade de flexibilização para que se adeque melhor cada situação específica. Como as pessoas descredibilizam os sistemas em terra, esse protótipo assume o papel de prova, enfatizando que o sistema construtivo “cru”, se não agrada esteticamente, não necessariamente precisa ser mostrado e que nem toda construção em terra tem que ter esse resgate a um espírito sertanejo ou nostálgico, ela pode assumir a estética que desejar.

A partir da avaliação térmica, descobriu-se que, quando sem ventilação, a casa com o sistema construtivo aqui proposto tem considerável diminuição da amplitude térmica, tendo valores mais baixos de temperatura durante o dia, porém mais altos durante a noite. Quando o sistema é ventilado, o comportamento fica similar, considerando que a ventilação durante o dia também traz calor para dentro do ambiente, tornando-o mais quente do que se não fosse permitida a entrada dessa ventilação, algo esperado na Zona Bioclimática 07, mas não na 08, já que não se esperava esse ganho de calor pelo movimento de ar, mas sim a sua perda. Com base nisso, destaca-se que o uso ideal do sistema seria: ventilar durante à noite e evitar a

ventilação durante o dia, recomendação típica para a Zona 07, mas dessa vez aplicada para a 08. Em termos acústicos, devido à Lei das Massas, quanto mais denso o material e com maior espessura, maior a sua capacidade de isolamento. Assim, os blocos sem materiais cimentícios apresentaram resultados mais eficientes.

Quanto aos custos, como um dos parâmetros de maior interesse numa obra e com a experiência da construção deste trabalho, os dados levantados demonstram que o protótipo de alvenaria convencional é 28% mais cara que o protótipo de terra, em grande parte devido à quantidade de cimento, um dos materiais que mais impactam nos custos totais de uma obra.

Em síntese, os resultados apontaram que, em diferentes dimensões, houve descobertas e avanços a partir deste trabalho. Quanto aos processos construtivos, destacam-se a adaptação de uma técnica de baixa complexidade tecnológica; no uso da manipueira, o seu efeito resina, muito importante ao se trabalhar com solo; na clareza de que áreas climáticas distintas exigem processos construtivos diferentes, olhar esse importante inclusive ao se usar o sistema aqui proposto; na arquitetura vernacular, como um resgate de uma arquitetura mais local que leva em consideração o conjunto de conhecimentos passados de geração em geração; e, por último, no desenvolvimento de uma pesquisa inter e multidisciplinar que articula técnicas e terias advindas de disciplinas diferentes, procurando envolver Engenharia Civil, Ciência e Engenharia de Materiais e Arquitetura, por entender que para se resolver um problema estrutural como é a habitação no Brasil, necessitamos vê-los pelos mais diferentes vieses.

6.1. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Como sugestão para futuros trabalhos, é importante se trabalhar com outras composições, com valores intermediários entre os materiais, e variando outros parâmetros não analisados aqui, como a energia de compactação, a umidade e outros tipos de solo silto-argilosos. Ressalta-se também o potencial de mecanização do sistema proposto, facilitando a execução e diminuindo a carga sob a mão de obra, outro aspecto a ser estudado. Como um dos principais problemas enfrentados, o forte odor da manipueira e sua validade são aspectos a serem melhor analisados futuramente, como formas de neutralizá-lo. E, por fim, investir em novos testes físicos e reais, porque o aprendizado com os pedreiros e demais pessoas que entraram em contato com este projeto enfatiza ainda mais o efeito de se ver construído para validação e crença nesse sistema. O olhar pejorativo sob o barro está muito embutido no imaginário popular, necessitando de mais representações positivas para se resgatar ou mesmo instigar um olhar mais positivo sobre esse material, revelando suas possibilidades.

REFERÊNCIAS

- ACCHAR, W.; MARQUES, S. K. J. **Ecological Soil-Cement Bricks from Waste Materials**. [s.i]: Springerbriefs In Applied Sciences and Technology, 2016. 64 p.
- AKINDAHUNSI, A. A. e SCHMIDT, W. Effect of cassava starch on shrinkage characteristics of concrete. **African Journal of Science, Technology, Innovation and Development**. 1-7. 10.1080/20421338.2017.1380580.
- ARAÚJO, M. H. **Comportamento térmico de blocos de terra comprimida ativados alcalinamente**. Dissertação. Universidade do Minho, 2015.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 6459: Solo - Determinação do limite de liquidez**. Rio de Janeiro - RJ, 2016.
- _____. **NBR 6459: Solo - Determinação do limite de liquidez**. Rio de Janeiro, 2016.
- _____. **NBR 7180: Solo – Determinação do limite de plasticidade**. Rio de Janeiro, 2016.
- _____. **NBR 7181: Solo – análise granulométrica**. Rio de Janeiro, 2016.
- _____. **NBR 7182: Solo – Ensaio de compactação**. Rio de Janeiro, 2016.
- _____. **NBR 8491: Tijolo de solo-cimento – Requisitos**. Rio de Janeiro, 2012.
- _____. **NBR 8492: Tijolo de solo-cimento – Análise dimensional, determinação da resistência à compressão e da absorção de água - Método de ensaio**. Rio de Janeiro, 2012.
- _____. **NBR 10151: Acústica - Avaliação do ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade - Procedimento**. Rio de Janeiro: 2000.
- _____. **NBR 10152: Acústica – Níveis de ruído para conforto acústico**. Rio de Janeiro: 1987.
- _____. **NBR 10833: Fabricação de tijolo e bloco de solo-cimento com utilização de prensa manual ou hidráulica – Procedimento**. Rio de Janeiro, 2012.
- _____. **NBR 13279: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão**. Rio de Janeiro, 2005.
- _____. **NBR 13553: Materiais para emprego em parede monolítica de solo-cimento sem função estrutural – Requisitos**. Rio de Janeiro, 2012.
- _____. **NBR 13554: Solo-cimento — Ensaio de durabilidade por molhagem e secagem — Método de ensaio**. Rio de Janeiro, 2012.
- _____. **NBR 15220: Desempenho térmico de edificações - Partes 01, 02, 03, 04, 05 e 06**. Rio de Janeiro, 2005.
- _____. **NBR 15259: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – determinação da absorção de água por capilaridade e do coeficiente de capilaridade**. Rio de Janeiro, 2005.
- _____. **NBR 15575: Edificações habitacionais – Desempenho**. Rio de Janeiro, 2013.
- _____. **NM 45: Agregados – Determinação de massa unitária e do volume de vazios**. Norma Mercosur. Rio de Janeiro, 2006.
- ASTM. **Standard Guide for Design of Earthen Wall Building Systems**. Pennsylvania, USA: ASTM International. ASTM E2392 / E2392M - 10e1, 2010.

AZEVEDO, M. B. Interferência das formas geométricas no projeto acústico das edificações. In: XXI SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMETRIA E DESENHO TÉCNICO, Florianópolis/SC, 2013. **Anais eletrônicos...** Florianópolis: GRAPHICA'13, 2013.

BARBOSA, V. **Estudo do comportamento geotécnico de um solo argiloso de Cabrobó, potencialmente expansivo, estabilizado com cal.** 2013. 111 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2013.

BAYER, A. P. **Proposta de Diretrizes para o Desenvolvimento da Arquitetura em Terra no Rio Grande do Sul, a partir da Interpretação de Estratégias Uruguaias.** Dissertação. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2010.

BENVEGNÚ, J.C. **Avaliação da resistência mecânica á compressão de hiperadobe na cidade de Guaporé, RS - Cidade escola Ayni.** Trabalho de Conclusão de Curso; (Graduação em Engenharia Civil). Universidade do Vale do Taquari: UNIVATES, 2017.

BOUHLAGHEM, N. Optimising the design of building envelopes for thermal performance. **Automation in Construction.** V. 10, p. 101-112, 2000.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Agrário. Secretaria de Desenvolvimento Territorial. **Plano territorial de desenvolvimento Rural Sustentável do Alto Oeste Potiguar.** Brasília: MDA, 2010.

BRASIL. **NR 15:** Limite de tolerância. Ministério do Trabalho. Portaria 3214 de 08 de junho de 1978.

BRITO, A. C. **Recomendações para projetos habitacionais com pré-fabricados leves de concreto visando otimização do desempenho térmico.** 2007. Dissertação (Mestrado em Habitação: Planejamento e Tecnologia) – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. São Paulo, 2007.

BUTERA, F. M. **Architettura e ambiente:** manuale per il controllo della qualità termica, luminosa e acustica degli edifici. Milano: Etaslibri, 1995.

CABRITA, A. M. R. Definição da qualidade da habitação de forma acessível ao seu adquirente. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE QUALIDADE NA CONTRUÇÃO, 2., Lisboa, 1990. **Anais...** Lisboa: LNEC – Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 1990. P. 145-156.

CANADELL, S.; BLANCO, A.; CAVALARO, S. Comprehensive design method for earthbag and superadobe structures. **Materials & design.** 96 (2016) 270–282, 2016.

CARDOSO, C. L. E.; SOUZA, J. S.; GAMEIRO, A. H.; Aspectos econômicos e mercados. In: SOUZA, L. S.; FARIAS, A. R. N.; MATTOS, P. L. P.; FUKUDA, W. M.G (Ed.). **Aspectos socioeconômicos e agrônômicos da mandioca.** Cruz das Almas: Empraba Mandioca e Fruticultura, 2006.

CARDOSO, João Carlos Mendes. **Estratégias visando eficiência energética e conforto térmico incorporados aos projetos de edifícios residenciais em Maringá-PR.** 2002. 145 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. Disponível: <http://www.labeee.ufsc.br/pos_graduacao.html/>. Acesso em: dez 2019.

CARVALHO, A. W. B.; AMORIM, I. C; ALVES, P. L. Projeto Habitat: Proposta de Ação no Bairro Nova Viçosa. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE EXTENSÃO UNIVERSITÁRIA, 2., 2004. Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte, 2004.

- CARVALHO, J. C. et al. Biorefinery integration of microalgae production into cassava processing industry: Potential and perspectives. **Bioresource Technology**, [s.l.], p.1-8, out. 2017.
- CARVALHO, R. M. **Soluções para a construção de habitação em adobe a custos controlados**. Tese de doutorado. Universidade de Aveiro. Aveiro: Portugal, 2012.
- CASCUDO, Luís da Câmara. Dicionário do Folclore Brasileiro. 9ª ed. São Paulo: Ediouro, s.d.
- CASTRO; LABAKI; CARAM; BASSO; FERNANDES. Medidas de refletância de cores de tintas de análise espectral. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 3, n. 2, p. 69-76, abr./jun. 2003.
- CATALDO-BORN, M.; ARAYA-LETELIER, G.; PABON, C. Obstacles and motivations for earthbag social housing in Chile: energy, environment, economic and codes implications. **Revista de la Construcción**, Santiago, v. 15, n. 3, p. 17-26, 2016.
- CAVALCANTE, M. B.; DIAS, T. A. (Orgs.). **Portalegre do Brasil: história e desenvolvimento - 250 anos de fundação de Portalegre**. Natal: EDUFERN, 2010. p.14-34. Disponível em: <<https://cchla.ufrn.br/publicacoes/downloads/livrosportalegre.pdf>> Acesso em: Dez 2019.
- CBCS , C. B. D. C. **Sobre CBCS**, 2007. Disponível em: <<http://www.cbcs.org.br/website/>> Acesso em: dez 2019.
- CID , J. F.; MAZARRON, F. R.; GUERRERO, I. C. Las normativas de construcción con tierra en el mundo. **Informes de la construcción revista de informacion tecnica**, v. 63, n. 523, p. 159-169, 2011.
- COSTA, A. D. L. **Análise Bioclimática e Investigação do Conforto Térmico em Ambientes Externos: Uma experiência no bairro de Petrópolis em Natal/RN**. 2003. 183 f. Dissertação (Mestrado em Conforto no Ambiente Construído; Forma Urbana e Habitação) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2003.
- COSTA, S. R. G. D. **Desempenho térmico e habitação: uma avaliação comparativa no contexto climático da zona bioclimática 8**. 2011. 145 f. Dissertação (Mestrado em Dinâmicas do Espaço Habitado) - Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2011.
- CUNHA, E. G. (coord). **Elementos de arquitetura de climatização natural**. 2. ed. Passo Fundo: UPF, 2005.
- CUNHA, L. J. B. F. **Análise de métodos para aplicação de ventilação natural em projetos de edificações em Natal-RN**. 2010. 140 f. Dissertação (Mestrado em Conforto no Ambiente Construído; Forma Urbana e Habitação) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2010.
- DAIGLE, B.; HALL, K; MACDOUGALL, C. Earthbag housing: structural behaviour and applicability in Sri Lanka.Proceedings of the Institution of Civil Engineers, **Engineering Sustainability**, 164, (4): 261–273, 2011.
- DÁVALOS, A. L. **Desarrollo de un nuevo bloque de tierra mejorado, con la incorporación de aditivos de compuestos orgánicos**. Construcción Avanzada en la Edificación Escola Politècnica Superior d'Edificació de Barcelona. Universidad Politècnica De Catalunya, 2018.
- DESIDERI, U.; PROIETTI, S.; SDRINGOLA, P.; VUILLERMOZ, E. Feasibility study and design of a low-energy residential unit in Sagarmatha Park for environmental impact

reduction of high altitude building. In: **Ecoss 2012 - The 25th International Conference on Efficiency, Cost, Optimization, Simulation and Environmental Impact of Energy Systems, 2012**. Proceedings... Perugia: Itália, 2012.

DIAS, G. D. **Viabilidade técnica e econômica do superadobe na construção de casas populares**. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado - Engenharia Civil) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2015.

DRUMMOND, José Paulo; SILVA, Eliézer; COUTINHO, Mário. **Medicina baseada em evidências**. 2ª ed. São Paulo: Atheneu, 2004.

DUTRA, Sónia Vanessa Meneses. **Estado da Arte Sobre a Utilização de Solos Lateríticos em Pavimentos Rodoviários**. 2014. 65 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado Integrado em Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 2014.

EVANS, J. M. Application of comfort standards in practice: The case of Argentina. In: **Proceedings of Moving Thermal Comfort Standards into the 21st Century**. Oxford: Oxford Brookes University, Apr. 2001. p. 431 – 438.

FITTIPALDI, M. **Habitação Social e Arquitetura Sustentável em Ilhéus/BA**. Dissertação. Universidade Estadual de Santa Catarina: Ilhéus, 2008.

FRANKE, L. N. **Arquitetura Contemporânea em Terra: modos de ver e fazer**. 2017. 237 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Arquitetura, Faculdade de Arquitetura da Universidade do Porto, Portugal, 2017.

FREYRE, G. **Casa-grande e Senzala: formação da família brasileira sob o regime da economia patriarcal**. 36 ed. Rio de Janeiro: Record, 1999.

G1. **Agricultores do Ceará usam tijolo ecológico**. 2009. Online: <<http://g1.globo.com/Noticias/Brasil/0,,MUL1272335-5598,00-AGRICULTORES+DO+CEARA+USAM+TIJOLO+ECOLOGICO.html>> Acesso em: dez 2019.

GERGES, S. N. **Ruído: Fundamentos e Controle**. Florianópolis: NR Editora, 2000.

GIGLIO, T. G. F.; BARBOSA, M. J. Aplicação de métodos de avaliação do desempenho térmico para analisar painéis de vedação em madeira. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 6, n. 3, p. 91-103, 2006. Disponível em: <www.antac.org.br/ambienteconstruido/pdf/revista/artigos/Doc125164.pdf>. Acesso em: dez 2019.

GIVONI, B. Comfort, climate analysis and building design guidelines. **Energy and Buildings**, v. 18, n. 1, p. 11–23, 1 jan. 1992.

GOMES, C. F. **Argilas: o que são e para que servem**. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1988. 475 p

GÓMEZ, C. R. Properties of Natural Reinforced Earth-Based Composites: Advantages And Drawbacks With Synthetic Reinforcements. In: 20TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMPOSITE MATERIALS, 2015. **Anais...** Copenhagen: 2015.

GONÇALVES, T.D; GOMES, M. I. **Construção de Terra Crua: Potencialidades e Questões em Aberto**. Em Atas das Jornadas LNEC Engenharia para a Sociedade, Investigação e Inovação: Cidades e Desenvolvimento. Lisboa, LNEC, 18-20, 2012.

GONTIJO; M. B.; LIMA, T. M. G. Estudo de conforto térmico: do levantamento à seleção das estratégias construtivas relacionadas ao clima de Palmas-TO. **Revista Sítio Novo**, v. 01, 2017.

- GOULART, Solange V. G. **Dados climáticos para avaliação de desempenho térmico de edificações em Florianópolis**. 1993. 111 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. Disponível em: <<http://www.labeee.ufsc.br/arquivos/publicacoes/>>. Acesso em: dez 2019.
- GUESSER, S. M.; LIBRELOTTO, L. I. **Avaliação e desenvolvimento de componentes industrializados aplicados à construção de habitação de interesse social**. Relatório PIBIC. Universidade Federal de Santa Catarina, 2015.
- HAUBER, T. F. **Geosoluções a bioconstruções**: caracterização e estudo comparativo dos solos dos municípios de Rolante, São Francisco de Paula e Maquiné para uso como material de bioconstrução de terra. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Geologia). Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2017.
- HORTELÃO, R. M. J. **Construção com Sacos de Terra**: Aplicação a um caso de estudo. Monografia. Universidade Lusíada de Lisboa, Lisboa, 2009.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Levantamento sistemático da produção agrícola**: pesquisa mensal de previsão e acompanhamento das safras agrícolas no ano civil. Rio de Janeiro, RJ, v.30 n.1 p.1-81, jan. 2017. Disponível em: <[ftp://ftp.ibge.gov.br/Producao_Agricola/Levantamento_Sistemático_da_Producao_Agricola_\[mensal\]/Fasciculo/lspa_201701.pdf](ftp://ftp.ibge.gov.br/Producao_Agricola/Levantamento_Sistemático_da_Producao_Agricola_[mensal]/Fasciculo/lspa_201701.pdf)>. Acesso em: mar 2019.
- JORNAL NACIONAL. **Casas de taipa são uma ameaça à saúde**. 2010. Online: <<http://g1.globo.com/jornal-nacional/noticia/2010/04/casas-de-taipa-sao-uma-ameaca-saude.html>>. Acesso em: dez 2019.
- JIMENO, S. R. **Numerical simulation strategies for superadobe walls and arches**. Dissertação de Mestrado. Universitat Politècnica de Catalunya, 2017.
- LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. **Eficiência energética na arquitetura**. 3a edição. ELETROBRAS/PROCEL, 2014.
- LOURENÇO, P. **Arquitetura de Terra**: uma visão de futuro. 2002. Disponível em: <http://www.ikaza.com.pt/PresentationLayer/ResourcesUser/Documentos/estudos/STUDY_Terra_futuro.pdf> Acesso em: dez 2019.
- LUSHNIKOVA, N. Approaches to Teaching Building Materials and Technologies for Energy-Efficient Sustainable Construction. **Budownictwo i Architektura**, v. 15, n. 3, 2016.
- MACIEL, A. A. **Projeto Bioclimático em Brasília**: Estudo de caso em edifícios de escritório. 2002. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. Disponível em: <<http://www.labeee.ufsc.br/arquivos/publicacoes/>>. Acesso em: dez 2019.
- MADEIRA, J. G. F. Ecological analysis of hydrogen production via biogas steam reforming from cassava flour processing wastewater. **Journal of Cleaner Production**, [s.l.], v. 162, p.709-716, set. 2017.
- MARIGONI, S.; TIMMERMANN, J. **A casa da montanha**. Yvy Porã, Online, 2011. Disponível em: <<http://yvypora.wordpress.com/>>. Acesso em: dez 2019.
- MENDES, M.; SANTOS, C. C. Alvenaria de sacos de terra - Análise do ciclo de vida. **Agroforum**: Revista da Escola Superior Agrária de Castelo Branco. 25:38, p. 35-43, 2017.
- MINKE, G. **Manual de construcción para viviendas antisísmicas de tierra**. Forschungslabor für Experimentelles Bauen Universidad de Kassel, 2001.

- MORAIS, G. C. O. Para uma possível etnografia da comunidade do pêga (Portalegre/RN). **Mneme - Revista de Humanidades**, v. 4, n. 08, 1 jul. 2010.
- MORISHITA, N; HAJ ISMAIL, S; CETIN, R. Pre-Design of Transitional Rural Housing for Syria with Recycled Rubble from Destroyed Buildings. IOP Conference Series: **Materials Science and Engineering**. 245. 2017.
- NICOL, F. Adaptative thermal comfort standards in hot-humid tropics. **Energy and Buildings**. 36, 7, 628-637, jul 2004.
- NÓBILE, A. A. **Diretrizes para a sustentabilidade ambiental em empreendimentos habitacionais**. 2003. 386 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003.
- OBONYO, E.; TATE, D.; SIKA, V.; TIA, M. Advancing the Structural Use of Earth-based Bricks: Addressing Key Challenges in the East African Context. **Sustainability**. v2, 3561-3571, 2010.
- OLIVEIRA, C. N. de. **O paradigma da sustentabilidade na seleção de materiais e componentes para edificações**. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Programa de Pós graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Santa Catarina: Florianópolis, 2009.
- OLIVEIRA, J. L. F. de. **Análise climática aplicada a arquitetura: estudos de caso real**. Niterói: Universidade Federal Fluminense, 1990.
- OLIVEIRA, M. F. D. **Estudo da modificação de bentonita para a remoção de fenol em águas produzidas na indústria de petróleo**. 2009. 126 f. Dissertação (Mestrado em Química) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, RN, 2009.
- OSHA. **Permissible Exposure Limits/OSHA Annotated Table Z-1**, 2018. Washington, EUA: OSHA. Disponível em: <<https://www.osha.gov/dsg/annotated-pels/tablez-1.html>>. Acesso em: dez 2019.
- PAPST, A. L. **Eficiência energética e uso racional da energia na edificação**. Florianópolis: LABSOLAR, 2005. 121 p.
- PARRACHO, C. E. J. M. **Estudo do Comportamento Térmico de Construções em Alvenaria de Adobe**. Dissertação. Universidade de Aveiro, 2011.
- PEDROSA, M. S.; XAVIER, T.; NOGUEIRA, A. F.; JAIRO. **Brickeradobe: Proposta Metodológica para Aplicação em Áreas Rurais e Indígenas**. Programa de Iniciação Científica - PIC/UniCEUB - Relatórios de Pesquisa. 2018.
- PINHEIRO, L.; RANGEL, B.; GUIMARÃES, A.; SILVA, A. Panorama da Produção de Obras em Terra Crua com Design Contemporâneo nos Últimos 60 Anos ao Brasil. In: **2º Congresso Internacional de História da Construção Luso-Brasileira**, 2016. Proceedings.... Porto, 2016.
- PISANI, M. A. J. et al. Canteiro Experimental: Prática ou Invenção? **Aedificandi Revista de Arquitetura e Construção (Especial)**, São Paulo, v. I, n. 2, p. 1-15, out 2006.
- PROMPT, C. H.; BORELLA, L. L. Experiências em Construção com Terra no Segmento da Agricultura Familiar. In: III CONGRESSO DE ARQUITETURA E CONSTRUÇÃO COM TERRA NO BRASIL. 2010, Mato Grosso do Sul. **Anais...** Campo Grande: 2010.
- RIBAS, M. M. F.; CEREDA, M. P.; BÔAS, R. L. V. Use of Cassava Wastewater Treated Anaerobically with Alkaline Agents as Fertilizer for Maize (*Zea mays* L.). **Brazilian Archives of Biology and Technology**, [s.l.], v. 53, n. 1, p.55-62, fev. 2010.

RODRIGUES, M.G.M. **Contribuição ao estudo do método físico-químico de dosagem do solo-cimento**. Rio de Janeiro: UFRJ, 1992. (Dissertação de Mestrado).

RODRIGUEZ, D. A.; STEIN, J.; DARBY, T. Cyclic Testing of Reinforced Earthbag Walls **Civil Engineering Senior Theses**. 68, 2018.

SAMPAIO, A. L. P. **E do barro fez-se a vida: anteprojeto de uma casa filarmônica para Pau dos Ferros/RN**. 2017. 112f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Arquitetura e Urbanismo) - Departamento de Arquitetura, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2017.

SAMPAIO, A. V. C. F. **Conforto Ambiental**. Apostila de Conforto Ambiental do curso de Arquitetura e Urbanismo. Londrina: UEL, 1999.

SANTOS A. Usos e impactos ambientais causados pela manipueira na microregião sudoeste da Bahia-Brasil. In: LUZON JL; CARDIM M. (coord). **Problemas sociales y regionales em América Latina: estúdio de casos**. Barcelona: Universitat de Barcelona, 2009. p. 11-25.

SANTOS, C. A. **Construção com terra no Brasil: panorama, normatização e prototipagem com terra ensacada**. 2015. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2015.

SANTOS, J. D. et al. Evaluation of the Combined Process of Coagulation/Flocculation and Microfiltration of Cassava Starch Wastewater: **Removal Efficiency and Membrane Fouling**. 2017.

SANTOS, P. S. **Tecnologia de argilas: aplicada as argilas brasileiras -fundamentos**. São Paulo: Edgard Blucher/Ed. USP, 1975.

SILVA, V. C. **Intoxicação Experimental por Resíduo de Mandioca (Manihot Esculenta Crantz) (Manipueira) em Ovinos**. 2016. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-graduação em Ciência Animal nos Trópicos, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2016.

SILVA, V. M. **Estudo da potencialidade do resíduo cerâmico incorporado na produção de tijolos maciços de solo-aglomerante(s)**. 2013. 117 f. Tese (Doutorado) - Curso de Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2013.

SIMÕES, F. M. **Procel Edifica: Acústica Arquitetônica**. 2011. Disponível em: <<https://www.docsity.com/pt/acustica-arquitetonica-procel-edifica-1/4909153/>> Acesso em: dez 2019.

SISTEMAS PREDIAIS. **Mercado Brasileiro desperta para o conceito de arquitetura sustentável**. Nova Técnica. São Paulo, n.1, Jul, 2007.

SOUTO, L. V. ; LIMA, D. F. ; BARRETO FILHO, B. F. ; DANTAS, J. R. Q. . O Nordeste e a Escassez de Água: uma abordagem da Microrregião de Pau dos Ferros/RN. In: XVII ENANPUR (Encontro Nacional da Associação Nacional de Pós-Graduação e Pesquisa em Planejamento Urbano e Regional), 2017, São Paulo/SP. **Anais...**, 2017. v. 17. p. 1-16.

SOUZA, A. M. N.; SERPA, C. B. **Habitação e Meio Ambiente: abordagem integrada em empreendimentos de interesse social**. São Paulo: IPT, 2002.

SOUZA, J. M. **Tijolos de Solo-Cimento Produzidos com Manipueira em Substituição à Água**. 2019. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2019.

SOUZA, R. S. **Argamassas Produzidas a partir da Substituição do Agregado Miúdo pelo Resíduo do Beneficiamento da Scheelita e da Água de Hidratação por Manipueira**. 2019.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2019.

STRAUB, E. **Consumo de água na Construção Sustentável**. [Online] Disponível em: <https://www.aecweb.com.br/cont/a/consumo-de-agua-na-construcao-sustentavel_8741> Acesso aos 15 de mar de 2019. AECWEB, 2014.

TOKARNIA, C. H. **Plantas tóxicas do Brasil para animais de produção**. Editora Helianthus, Rio de Janeiro, p.443-459, 2012.

TRINDADE, E. C. **Corrosão Acelerada por imersão Modificada (Ensaio Caim) de estruturas de Concreto Armado Contendo Cinza da Casca de Arroz e Água da Mandioca Brava**. 2013. 112 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade Federal do Pampa, Alegrete, 2013.

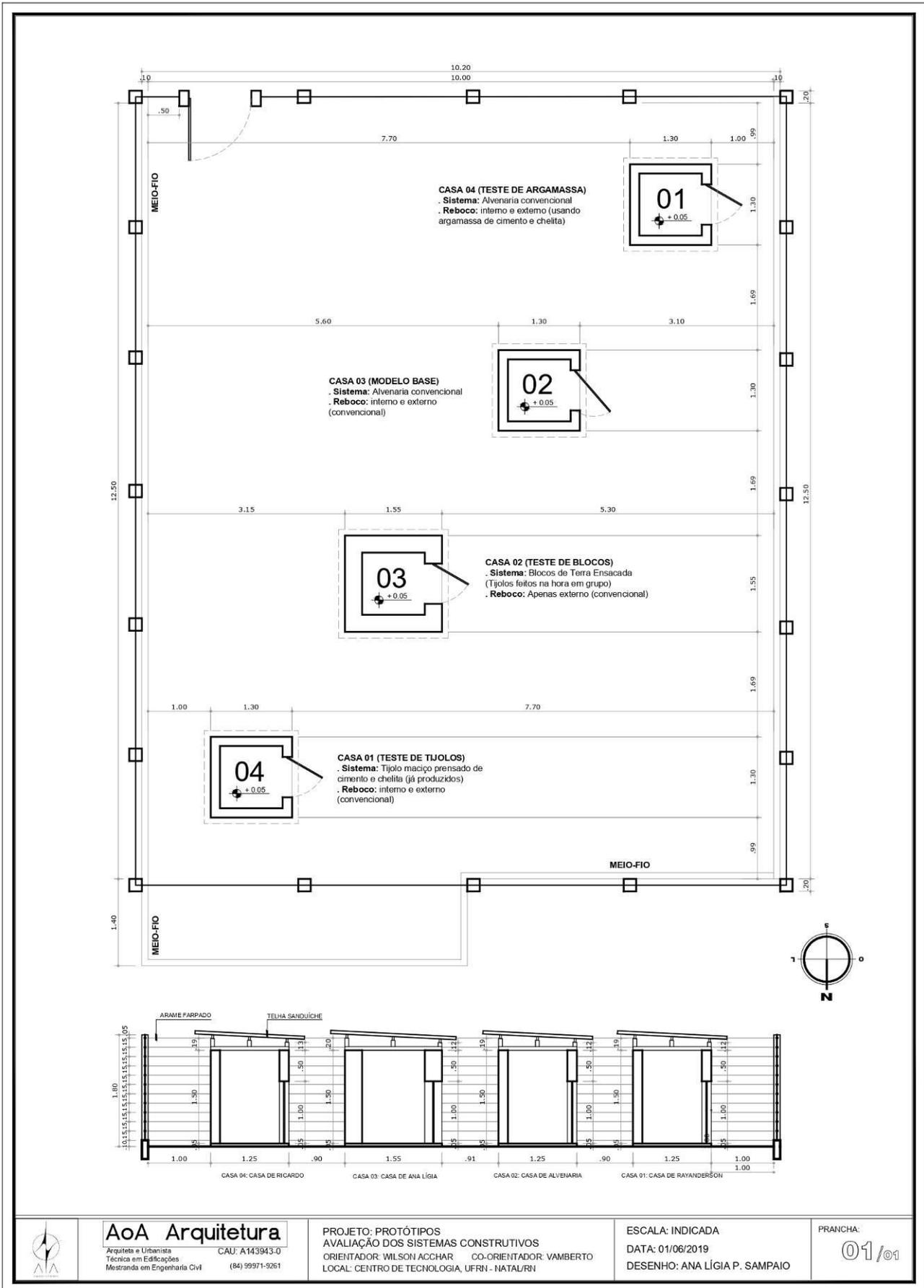
VELDE, B. **Introduction to Clay Minerals. Chemistry, origins, uses and environmental significance**. London, Chapman & Hall, 1992.

VILLIBOR, D. F. et al. **Pavimentos de baixo custo para vias urbanas**. 2. ed. São Paulo: Arte e Ciência, 2009. 193 p.

WOSIACKI, G.; CEREDA, M. P. Valorização de resíduos de processamento da mandioca. **Publicação Universidade Estadual de Ponta Grossa - UEPG**, v. 8, p. 27-43, 2002.

ZIMMER, T.; SOUZA, V. A.; ROMIO, L. C.; BULIGON, L.; ROBERTI, D. R.; MOREIRA, V. S. Estudo da condutividade térmica do solo em relação ao teor de umidade no solo em uma área de pastagem no bioma pampa. In: X WORKSHOP BRASILEIRO DE MICROMETEOROLOGIA, 2018, Santa Maria. **Anais...** X Workshop Brasileiro de Micrometeorologia, 2018.

APÊNDICE A – PLANTA BAIXA DOS PROTÓTIPOS



APÊNDICE B – DADOS PARA GRÁFICO SEM VENTILAÇÃO

Nº	Cód.	Dia	Cont. (dias)	Cont. (horas)	Hora Real	T1 (°C)	T2 (°C)	T. Ext. (°C)*	Δ Temp. (T1 - T2) (°C)	Umd. (%)*	Chuva (mm)*	Radiação (KJ/m ²)*
1	10	1/1/20	1º	10:00	00:25	29,7	28,9	27,3	0,8	80	0	
2	11			11:00	01:25	29,3	28,5	27,1	0,8	81	0	
3	12			12:00	02:25	29,3	28,3	27,1	1	80	0	
4	13			13:00	03:25	29,2	28,2	27,1	1	81	0	
5	14			14:00	04:25	29,1	28,1	27	1	81	0	
6	15			15:00	05:25	29	28	26,9	1	81	0	
7	16			16:00	06:25	28,8	28	26,8	0,8	82	0	
8	17			17:00	07:25	28,8	27,9	26,8	0,9	82	0	
9	18			18:00	08:25	28,8	28	26,8	0,8	81	0	
10	19			19:00	09:25	28,7	28	26,8	0,7	82	0	14,33
11	20			20:00	10:25	28,8	28,3	27,2	0,5	80	0	135,54
12	21			21:00	11:25	29,6	29,4	27,4	0,2	79	0	352,85
13	22			22:00	12:25	29,3	29,6	27,4	-0,3	80	0	364,17
14	23			23:00	13:25	29,4	29,8	28,4	-0,4	76	0	762,95
15	24	2/1/20	2º	00:00	14:25	29,7	30,5	28,9	-0,8	74	0	2.088,89
16	25			01:00	15:25	29,3	30,2	28	-0,9	76	0	1.220,39
17	26			02:00	16:25	29,4	30,4	28,5	-1	74	0	1.695,92
18	27			03:00	17:25	29,4	30,2	28,1	-0,8	75	0	2.160,43
19	28			04:00	18:25	29,2	29,8	28	-0,6	76	0	1.074,42
20	29			05:00	19:25	29,2	29,6	27,7	-0,4	76	0	902,12
21	30			06:00	20:25	29	29	27,5	0	78	0	308,21
22	31			07:00	21:25	29,1	28,8	27,1	0,3	78	0	14,63
23	32			08:00	22:25	29	28,6	27,2	0,4	79	0	
24	33			09:00	23:25	28,9	28,3	27,1	0,6	80	0	
25	34			10:00	00:25	28,8	28,2	27	0,6	81	0	
26	35			11:00	01:25	28,7	28	27,1	0,7	81	0	
27	36			12:00	02:25	28,6	27,7	27	0,9	81	0	
28	37			13:00	03:25	28,4	27,5	26,9	0,9	81	0	
29	38	14:00	04:25	28,3	27,3	26,8	1	82	0			
30	39	15:00	05:25	28,1	27,3	26,5	0,8	83	0			
31	40	16:00	06:25	28,1	27,1	26,6	1	84	0			
32	41	17:00	07:25	28,8	28	26,6	0,8	82	0			
33	42	18:00	08:25	29,7	29,1	26,6	0,6	82	0			
34	43	19:00	09:25	30,4	30,7	27,1	-0,3	81	0	99,82		
35	44	20:00	10:25	30,6	31,1	28,4	-0,5	77	0	733,83		
36	45	21:00	11:25	30,7	31,9	28,8	-1,2	74	0	1.598,06		
37	46	22:00	12:25	30,5	31,9	28,6	-1,4	73	0	2.264,45		
38	47	23:00	13:25	30,6	32,3	29,3	-1,7	72	0	2.595,61		
39	48	3º	3º	00:00	14:25	30,7	32,5	29,8	-1,8	70	0	2.993,82
40	49			01:00	15:25	30,7	32,5	30,6	-1,8	68	0	3.414,64

41	50	3/1/20	4°	02:00	16:25	30,4	32,5	29,6	-2,1	70	0	3.181,39
42	51			03:00	17:25	30,3	32,4	29,2	-2,1	68	0	2.256,34
43	52			04:00	18:25	30	31,7	28,6	-1,7	71	0	1.901,40
44	53			05:00	19:25	30,1	31,4	28,5	-1,3	74	0	1.301,76
45	54			06:00	20:25	30	30,5	28,1	-0,5	73	0	617,76
46	55			07:00	21:25	29,9	30	27,4	-0,1	78	0	83,89
47	56			08:00	22:25	29,8	29,3	27,2	0,5	79	0	
48	57			09:00	23:25	29,6	29	27,3	0,6	79	0	
49	58			10:00	00:25	29,5	28,7	27,2	0,8	79	0	
50	59			11:00	01:25	29,4	28,4	27,1	1	79	0	
51	60			12:00	02:25	29,4	28,1	27	1,3	80	0	
52	61			13:00	03:25	29,3	28,1	26,9	1,2	80	0	
53	62			14:00	04:25	29,2	28	26,9	1,2	80	0	
54	63			15:00	05:25	29,1	27,9	26,8	1,2	81	0	
55	64			16:00	06:25	29	27,7	26,7	1,3	81	0	
56	65			17:00	07:25	29,8	29,1	26,9	0,7	81	0	
57	66			18:00	08:25	29,6	29,5	26,8	0,1	82	0	
58	67			19:00	09:25	30,2	30	27,1	0,2	81	0	68,37
59	68			20:00	10:25	29,4	29,5	28,1	-0,1	77	0	815,39
60	69			21:00	11:25	30,7	31,1	26,8	-0,4	85	1,2	893,94
61	70			22:00	12:25	30,5	31,5	26,8	-1	83	0,6	1.486,42
62	71			23:00	13:25	30,6	31,9	28,1	-1,3	76	0,4	1.704,27
63	72			00:00	14:25	30,6	32,2	28,9	-1,6	75	0	3.397,80
64	73	01:00	15:25	30,7	32,4	29,7	-1,7	70	0	3.540,05		
65	74	02:00	16:25	30,4	32,4	30	-2	66	0	3.276,67		
66	75	03:00	17:25	30,2	32,4	29,5	-2,2	70	0	2.882,21		
67	76	04:00	18:25	30,4	32,2	29,2	-1,8	73	0	2.398,90		
68	77	05:00	19:25	30,4	31,7	28,6	-1,3	74	0	1.609,83		
69	78	06:00	20:25	30,2	31	27,8	-0,8	78	0	432,95		
70	79	07:00	21:25	30,1	30,3	27,3	-0,2	77	0	88,88		
71	80	08:00	22:25	30,2	29,9	27,2	0,3	80	0			
72	81	09:00	23:25	30	29,2	27,1	0,8	80	0			
73	82	10:00	00:25	29,7	28,7	27,1	1	79	0			
74	83	11:00	01:25	29,8	28,6	26,9	1,2	80	0			
75	84	12:00	02:25	29,5	28,2	26,9	1,3	80	0			
76	85	13:00	03:25	29,4	28,1	26,6	1,3	79	0			
77	86	14:00	04:25	28,9	27,6	26,6	1,3	79	0			
78	87	15:00	05:25	29,1	27,5	26,3	1,6	80	0			
79	88	16:00	06:25	28,8	27,5	26,3	1,3	80	0			
80	89	17:00	07:25	29,5	28,5	26,3	1	81	0			
81	90	18:00	08:25	30	29,7	26,4	0,3	80	0			
82	91	19:00	09:25	29,7	29,5	26,9	0,2	79	0	84,66		
83	92	20:00	10:25	30,8	31,1	27,7	-0,3	75	0	693,52		
84	93	21:00	11:25	30,6	31,2	28,7	-0,6	71	0	1.625,53		
85	94	22:00	12:25	30,7	31,9	29,4	-1,2	68	0	2.108,94		

86	95	5/1/20	5°	23:00	13:25	30,8	32	29,6	-1,2	67	0	3.122,19
87	96			00:00	14:25	30,4	31,9	29,6	-1,5	66	0	3.425,68
88	97			01:00	15:25	30,5	32	30,1	-1,5	66	0	3.533,03
89	98			02:00	16:25	30,3	31,9	29,9	-1,6	67	0	3.402,75
90	99			03:00	17:25	30	31,5	29,8	-1,5	66	0	2.995,14
91	100			04:00	18:25	29,9	30,9	29,5	-1	67	0	2.360,66
92	101			05:00	19:25	30,4	30,8	28,4	-0,4	73	0	1.504,86
93	102			06:00	20:25	30,1	30,3	27,8	-0,2	75	0	520,14
94	103			07:00	21:25	29,7	29,4	27,3	0,3	77	0	59,67
95	104			08:00	22:25	29,4	28,8	27,2	0,6	76	0	
96	105			09:00	23:25	29,6	28,5	27	1,1	75	0	
97	106			10:00	00:25	29,4	28,2	26,9	1,2	77	0	
98	107			11:00	01:25	29,3	28,1	26,7	1,2	78	0	
99	108			12:00	02:25	29,1	27,9	26,6	1,2	79	0	
100	109			13:00	03:25	29,3	27,8	26,6	1,5	80	0	
101	110			14:00	04:25	29,1	27,4	26,6	1,7	79	0	
102	111			15:00	05:25	28,8	27,2	26,4	1,6	80	0	
103	112			16:00	06:25	28,5	26,7	26,2	1,8	80	0	
104	113			17:00	07:25	28,9	27,4	25,9	1,5	79	0	
105	114			18:00	08:25	29,3	28,4	25,2	0,9	84	0	
106	115	19:00	09:25	29,4	28,9	25	0,5	85	0	60,93		
107	116	20:00	10:25	29,4	29,1	27,1	0,3	78	0	777,77		
108	117	21:00	11:25	29,6	30	28	-0,4	74	0	1.182,74		
109	118	22:00	12:25	30,1	30,6	28,6	-0,5	74	0	1.466,49		
110	119	23:00	13:25	30,2	31,3	29,2	-1,1	72	0	1.919,74		
111	120	6/1/20	6°	00:00	14:25	30,3	31,8	29,4	-1,5	70	0	2.776,65
112	121			01:00	15:25	30,1	31,9	29,9	-1,8	66	0	2.593,74
113	122			02:00	16:25	30,1	31,8	29,2	-1,7	69	0	2.504,38
114	123			03:00	17:25	30,2	32	28,9	-1,8	70	0	2.362,27
115	124			04:00	18:25	30,1	31,6	28,8	-1,5	71	0	1.844,13
116	125			05:00	19:25	29,6	30,7	28,4	-1,1	73	0	1.195,56
117	126			06:00	20:25	29,8	30,1	27,9	-0,3	75	0	728,54
118	127			07:00	21:25	29,7	29,6	27,4	0,1	77	0	94,15
119	128			08:00	22:25	29,4	29,1	27,3	0,3	78	0	
120	129			09:00	23:25	29,6	28,9	27,2	0,7	79	0	
121	130			10:00	00:25	29,3	28,5	27,2	0,8	79	0	
122	131			11:00	01:25	29,1	28,3	27,2	0,8	78	0	
123	132			12:00	02:25	29,2	28,1	27,2	1,1	78	0	
124	133			13:00	03:25	29	27,9	27,1	1,1	80	0	
125	134			14:00	04:25	28,8	27,8	27	1	77	0	
126	135			15:00	05:25	28,8	27,6	27	1,2	77	0	
127	136			16:00	06:25	28,7	27,6	26,9	1,1	78	0	
128	137			17:00	07:25	28,7	27,5	26,7	1,2	79	0	
129	138			18:00	08:25	29	28,2	26,6	0,8	79	0	
130	139			19:00	09:25	29,2	28,6	27	0,6	77	0	69,41

131	140			20:00	10:25	29,6	29,6	27,4	0	75	0	360,39
132	141			21:00	11:25	30,2	30,6	28,3	-0,4	70	0	1.030,09
133	142			22:00	12:25	30,1	30,9	28,7	-0,8	71	0	1.335,49
134	143			23:00	13:25	30	31	29,4	-1	67	0	2.342,65
135	144			00:00	14:25	30,5	31,8	29,2	-1,3	70	0	2.893,09
136	145			01:00	15:25	30,3	31,8	29,3	-1,5	68	0	2.620,09
137	146			02:00	16:25	30,2	31,8	29,5	-1,6	69	0	2.413,36
138	147			03:00	17:25	30,1	31,6	30,1	-1,5	67	0	2.892,85
139	148			04:00	18:25	29,6	31,3	28,8	-1,7	72	0	1.885,77
140	149			05:00	19:25	29,9	30,8	28,8	-0,9	72	0	1.539,44
141	150			06:00	20:25	30	30,3	28,2	-0,3	75	0	738,09
142	151			07:00	21:25	29,8	29,8	27,6	0	78	0	133,90
143	152			08:00	22:25	29,4	29	27,4	0,4	81	0	
144	153			09:00	23:25	29,7	28,8	27,3	0,9	82	0	
145	154			10:00	00:25	29,4	28,5	27,3	0,9	81	0	
146	155			11:00	01:25	29,1	28,2	27,3	0,9	82	0	
147	156			12:00	02:25	29,3	28,1	27,2	1,2	81	0	
148	157			13:00	03:25	29,1	27,9	27	1,2	81	0	
149	158			14:00	04:25	29	27,7	27	1,3	82	0	
150	159			15:00	05:25	28,8	27,6	26,9	1,2	83	0	
151	160			16:00	06:25	28,8	27,2	26,8	1,6	81	0	
152	161			17:00	07:25	28,6	27,2	26,5	1,4	83	0	
153	162			18:00	08:25	29,8	29,2	25,2	0,6	88	0	
154	163			19:00	09:25	30,4	30,5	25,3	-0,1	88	0	54,84
155	164			20:00	10:25	30,6	30,8	27,2	-0,2	82	0	710,33
156	165			21:00	11:25	30,8	31,4	28,5	-0,6	74	0	1.713,12
157	166			22:00	12:25	30,9	32,1	28,9	-1,2	75	0	2.415,56
158	167			23:00	13:25	30,7	32,3	30,3	-1,6	69	0	2.988,10
159	168			00:00	14:25	30,8	32,3	30	-1,5	69	0	3.362,50
160	169			01:00	15:25	30,8	32,3	30,4	-1,5	68	0	3.495,96
161	170			02:00	16:25	30,7	32,4	30,7	-1,7	67	0	3.398,53
162	171			03:00	17:25	30,3	31,9	29,7	-1,6	70	0	3.017,15
163	172			04:00	18:25	30,2	31,4	29,4	-1,2	73	0	2.153,53
164	173			05:00	19:25	30,5	31,4	29,1	-0,9	73	0	1.561,26
165	174			06:00	20:25	30,5	31	28,3	-0,5	77	0	469,41
166	175			07:00	21:25	30,3	30,3	27,9	0	78	0	89,45
167	176			08:00	22:25	30,3	30	28	0,3	78	0	
168	177			09:00	23:25	30	29,5	27,9	0,5	80	0	
169	178			10:00	00:25	29,8	29,2	27,7	0,6	80	0	
170	179			11:00	01:25	29,7	28,9	27,7	0,8	81	0	
171	180			12:00	02:25	29,4	27,8	27,7	1,6	80	0	
172	181			13:00	03:25	29,2	27,7	27,5	1,5	81	0	
173	182			14:00	04:25	29,2	27,4	23,9	1,8	88	1,2	
174	183			15:00	05:25	28,9	26,9	25,4	2	93	25,2	
175	184			16:00	06:25	28,7	26,6	26	2,1	90	0,2	2,52

176	185			17:00	07:25	28,6	26,8	26,4	1,8	88	0	1,36				
177	186			18:00	08:25	28,9	27,3	25,2	1,6	90	0	1,47				
178	187			19:00	09:25	28,8	27,4	26,7	1,4	86	0	73,37				
179	188			20:00	10:25	29,4	29	27,2	0,4	83	0	308,96				
180	189			21:00	11:25	29,5	29,1	27,1	0,4	84	0	360,86				
181	190			22:00	12:25	29,8	30	27,9	-0,2	78	0,2	1.187,55				
182	191			23:00	13:25	30	30,8	28,8	-0,8	75	0	2.483,63				
183	192			9°		00:00	14:25	30,2	31	28,7	-0,8	74	0	1.825,89		
184	193					01:00	15:25	30,1	31,3	29,4	-1,2	75	0	1.694,32		
185	194					02:00	16:25	29,7	30,4	29,4	-0,7	72	0	3.068,24		
186	195					03:00	17:25	29,3	30,9	29,5	-1,6	71	0	2.748,57		
187	196					04:00	18:25	29,5	30,3	28,6	-0,8	75	0	1.544,78		
188	197					05:00	19:25	29,4	30,2	29	-0,8	72	0	1.451,03		
189	198					06:00	20:25	29,5	29,8	28	-0,3	75	0	627,61		
190	199					07:00	21:25	29,5	29,5	27,5	0	78	0	24,13		
191	200					08:00	22:25	29,3	29,1	27,5	0,2	78	0			
192	201					09:00	23:25	29,3	28,9	27,6	0,4	78	0			
193	202					9/1/20		10:00	00:25	29,2	28,6	27,2	0,6	79	0	
194	203							11:00	01:25	29,3	28,5	27,4	0,8	79	0	
195	204							12:00	02:25	29	28,2	27,4	0,8	79	0	
196	205							13:00	03:25	29,1	28,4	27,4	0,7	80	0	
197	206							14:00	04:25	28,9	28,1	27,3	0,8	81	0	
198	207							15:00	05:25	28,7	27,9	27,2	0,8	80	0	
199	208	16:00	06:25					28,2	27,1	25,3	1,1	86	0			
200	209	17:00	07:25					28,3	26,8	25,3	1,5	89	0			
201	210	18:00	08:25					27,6	25,9	23,6	1,7	95	17	0,22		
202	211	19:00	09:25					27,9	26,1	23,4	1,8	97	28,6	74,01		
203	212	20:00	10:25					28	26,3	23,1	1,7	96	8,4	220,31		
204	213	21:00	11:25					28,4	27,4	23,6	1	96	0,6	586,58		
205	214	22:00	12:25					28,4	28,1	24,5	0,3	95	0	920,50		
206	215	23:00	13:25	28,8	28,8			26,9	0	83	0	1.534,55				
207	216	10°		00:00	14:25			28,7	29,1	28	-0,4	74	0	2.416,98		
208	217			01:00	15:25			28,9	28,5	28,1	0,4	73	0	1.356,32		
209	218			02:00	16:25			28,5	29,6	28,3	-1,1	75	0	1.707,17		
210	219			03:00	17:25			28,7	29,9	27,9	-1,2	75	0	2.377,15		
211	220			04:00	18:25			28,6	29,7	27,9	-1,1	76	0	1.403,04		
212	221			05:00	19:25			28,3	29,6	28,3	-1,3	76	0	1.036,62		
213	222			06:00	20:25			28,3	29,1	27,8	-0,8	75	0	855,34		
214	223			07:00	21:25			28,3	29	27,1	-0,7	80	0	60,95		
215	224			08:00	22:25			28,4	28,6	27,1	-0,2	80	0			
216	225			09:00	23:25	28,2	28,3	27,1	-0,1	79	0					
217	226			10/1/20		10:00	00:25	28,1	28	27,1	0,1	79	0			
218	227					11:00	01:25	28	27,8	26,9	0,2	79	0			
219	228					12:00	02:25	27,3	27,2	26,9	0,1	78	0			
220	229					13:00	03:25	27,5	26,5	26,8	1	80	0			

221	230			14:00	04:25	27,4	26,5	26,5	0,9	83	0			
222	231			15:00	05:25	27,3	26,2	23,9	1,1	94	13,6			
223	232			16:00	06:25	27,2	26,1	24,3	1,1	95	8,8	0,77		
224	233			17:00	07:25	26,9	26,2	24,2	0,7	95	0	1,84		
225	234			18:00	08:25	27,4	26,5	24,3	0,9	96	0	1,08		
226	235			19:00	09:25	26,7	25,8	25,1	0,9	95	0	42,37		
227	236			20:00	10:25	28,5	28,5	25,6	0	89	0	286,87		
228	237			21:00	11:25	28,8	29,2	27,3	-0,4	80	0	808,69		
229	238			22:00	12:25	29	29,8	28,5	-0,8	76	4,6	1.358,04		
230	239			23:00	13:25	29,2	30,2	28,3	-1	76	0	2.323,17		
231	240			11/1/20	11°	00:00	14:25	29,4	31	29	-1,6	72	0	3.343,68
232	241					01:00	15:25	29,5	31,1	29,2	-1,6	69	0	3.383,07
233	242	02:00	16:25			29,6	31,5	29,7	-1,9	67	0	3.423,25		
234	243	03:00	17:25			28,9	31	29,4	-2,1	68	0	3.070,59		
235	244	04:00	18:25			28,8	31	29	-2,2	69	0	2.463,55		
236	245	05:00	19:25			28,7	30,5	28,5	-1,8	71	0	1.625,52		
237	246	06:00	20:25			28,7	29,8	28	-1,1	75	0	691,97		
238	247	07:00	21:25			28,6	29,1	27,4	-0,5	76	0	119,98		
239	248	08:00	22:25			28,5	28,5	27,3	0	77	0			
240	249	09:00	23:25			28,6	28,2	27,3	0,4	78	0			
241	250	10:00	00:25			28,5	27,9	27,3	0,6	79	0			
242	251	11:00	01:25			28,2	27,8	27,2	0,4	81	0			
243	252	12:00	02:25	28,2	27,6	27,3	0,6	81	0					
244	253	13:00	03:25	28,2	27,4	27	0,8	81	0					
245	254	14:00	04:25	28,1	27,3	27,1	0,8	81	0					
246	255	15:00	05:25	28	27,1	27	0,9	81	0					
247	256	16:00	06:25	27,9	27,1	26,9	0,8	82	0					
248	257	17:00	07:25	28	27,3	26,9	0,7	81	0					
249	258	18:00	08:25	28,8	28,6	26,8	0,2	82	0					
250	259	19:00	09:25	29,4	29,6	27,3	-0,2	80	0	66,95				
251	260	20:00	10:25	30,2	30,8	27,4	-0,6	78	0	562,10				
252	261	21:10	11:25	30,3	31,4	28,3	-1,1	75	0	1.301,43				

* Dados obtidos através do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), a partir de estação do tipo Automática, código NATAL (A304).

APÊNDICE B – DADOS PARA GRÁFICO COM VENTILAÇÃO

Nº	Cód.	Dia	Cont. (dias)	Cont. (horas)	Hora Real	T1 (°C)	T2 (°C)	T. Ext. (°C)*	Δ Temp. (T1 - T2) (°C)	Umd. (%)*	Chuva (mm)*	Radiação (KJ/m²)*
1	357	14/fev	1	00:00	15:00	29,9	31,7	30,2	-1,8	70	0	3.529
2	358			01:00	16:00	30,4	31,8	30,6	-1,4	69	0	3.669
3	359			02:00	17:00	29,4	30,5	30	-1,1	72	0	3.224
4	360			03:00	18:00	29,1	29,8	29,2	-0,7	75	0	1.849
5	361			04:00	19:00	29	29,4	29,7	-0,4	73	0	1.807
6	362			05:00	20:00	28,7	29	29	-0,3	76	0	970
7	363			06:00	21:00	28,7	28,6	28,3	0,1	79	0	163
8	364			07:00	22:00	28,8	28,4	28,1	0,4	79	0	
9	365			08:00	23:00	28,6	28,1	28,1	0,5	79	0	
10	366	15/fev	1	09:00	00:00	28,2	27,9	28	0,3	81	0	
11	367			10:00	01:00	28,3	27,8	28	0,5	80	0	
12	368			11:00	02:00	28	27,5	27,8	0,5	81	0	
13	369			12:00	03:00	27,9	27,3	27,8	0,6	81	0	
14	370			13:00	04:00	27,7	27,2	27,5	0,5	80	0	
15	371			14:00	05:00	27,4	26,7	27,3	0,7	82	0	
16	372			15:00	06:00	27,2	26,5	27,3	0,7	80	0	
17	373			16:00	07:00	29,3	28,7	27,2	0,6	81	0	
18	374			17:00	08:00	31,1	31,2	25,8	-0,1	86	0	
19	375			18:00	09:00	31,4	31,8	25,6	-0,4	89	0	28
20	376			19:00	10:00	31,5	32,2	26,5	-0,7	84	0	503
21	377			20:00	11:00	31,6	32,5	28,5	-0,9	75	0	1.501
22	378			21:00	12:00	31,7	32,5	29	-0,8	71	0	2.408
23	379			22:00	13:00	31,3	32,4	30,2	-1,1	66	0	3.001
24	380			23:00	14:00	31,1	32,5	29,9	-1,4	67	0	3.381
25	381	16/fev	2	00:00	15:00	30,7	31,6	30,1	-0,9	63	0	3.558
26	382			01:00	16:00	30,3	31,6	30	-1,3	60	0	3.538
27	383			02:00	17:00	30	30,6	30,5	-0,6	63	0	3.122
28	384			03:00	18:00	29,6	29,9	29,6	-0,3	65	0	2596
29	385			04:00	19:00	29,5	29,3	29,5	0,2	68	0	1.784
30	386			05:00	20:00	29,4	28,8	28,8	0,6	73	0	917
31	387			06:00	21:00	29,1	28,6	28,1	0,5	77	0	123
32	388			07:00	22:00	29,3	28,5	28,1	0,8	79	0	
33	389			08:00	23:00	29,2	28,3	28	0,9	79	0	
34	390			09:00	00:00	28,6	28	27,9	0,6	80	0	
35	391			10:00	01:00	28,9	27,8	27,9	1,1	80	0	
36	392			11:00	02:00	28,6	27,2	27,7	1,4	81	0	
37	393			12:00	03:00	27,3	26,4	27,5	0,9	81	0	
38	394			13:00	04:00	27,9	26,3	27,3	1,6	81	0	
39	395			14:00	05:00	27,4	25,5	25,7	1,9	88	0	

40	396			15:00	06:00	27,3	25,8	25,2	1,5	89	0			
41	397			16:00	07:00	29,9	28,7	24,9	1,2	89	0			
42	398			17:00	08:00	31,5	31	24,9	0,5	88	0			
43	399			18:00	09:00	31,7	31,8	25,2	-0,1	88	0	22		
44	400			19:00	10:00	31,5	32	26,7	-0,5	81	0	640		
45	401			20:00	11:00	31,6	32,2	28,4	-0,6	75	0	1.501		
46	402			21:00	12:00	31,7	32,5	29,1	-0,8	69	0	1.899		
47	403			22:00	13:00	32,1	33	31,4	-0,9	62	0	2.922		
48	404			23:00	14:00	32	32,9	31,4	-0,9	62	0	3.508		
49	405			3		00:00	15:00	31,5	32,6	30,3	-1,1	68	0	3.584
50	406					01:00	16:00	30,9	31,9	30,1	-1	67	0	3.503
51	407					02:00	17:00	30,5	31,1	30,4	-0,6	69	0	3.193
52	408					03:00	18:00	29,8	30,4	29,4	-0,6	73	0	2.306
53	409					04:00	19:00	29,9	29,7	29,8	0,2	71	0	1827
54	410					05:00	20:00	29,6	29,2	29	0,4	74	0	915
55	411					06:00	21:00	29,7	28,9	28,4	0,8	76	0	157
56	412					07:00	22:00	29,3	28,8	28,3	0,5	77	0	
57	413					08:00	23:00	29,4	28,5	28,3	0,9	78	0	
58	414					09:00	00:00	29,1	28,4	28,2	0,7	79	0	
59	415					10:00	01:00	28,9	28,1	28,3	0,8	79	0	
60	416					11:00	02:00	28,8	27,9	28,3	0,9	81	0	
61	417					12:00	03:00	28,6	27,8	28,2	0,8	79	0	
62	418					13:00	04:00	28,7	27,9	27,9	0,8	79	0	
63	419	14:00	05:00			28,7	27,7	27,4	1	81	0			
64	420	15:00	06:00			28,3	27,2	27,4	1,1	80	0,2			
65	421	16:00	07:00			30,5	29,8	27,6	0,7	79	0			
66	422	17:00	08:00			30,8	30,3	27,6	0,5	80	0			
67	423	18:00	09:00			29,6	30	25,6	-0,4	91	4,4	51		
68	424	19:00	10:00			31,3	31,5	27,8	-0,2	88	0	585		
69	425	20:00	11:00			31,5	31,9	28,6	-0,4	80	0	1.177		
70	426	21:00	12:00			31,9	32,5	29,6	-0,6	75	0	2.181		
71	427	22:00	13:00			31,5	32,7	29	-1,2	78	0,2	1.826		
72	428	23:00	14:00	31,5	32,2	30,1	-0,7	74	0	3.255				
73	429	4		00:00	15:00	31,4	32,3	30,9	-0,9	74	0	3.722		
74	430			01:00	16:00	30,8	31,6	30,4	-0,8	73	0	3.642		
75	431			02:00	17:00	30	30,7	30,3	-0,7	75	0	2.819		
76	432			03:00	18:00	29,8	30,1	29,9	-0,3	74	0	2.096		
77	433			04:00	19:00	29,5	29,3	29,1	0,2	75	0	1.385		
78	434			05:00	20:00	29,7	29	28,7	0,7	78	0	394		
79	435			06:00	21:00	29,4	28,5	28,4	0,9	81	0	42		
80	436			07:00	22:00	29,3	28,4	27,7	0,9	84	0			
81	437			08:00	23:00	29,1	28,2	28,1	0,9	80	0			
82	438			09:00	00:00	29	27,9	27,7	1,1	82	0			
83	439			10:00	01:00	28,8	27,8	27,9	1	82	0			
84	440	18/fev		11:00	02:00	28,9	27,8	27,7	1,1	83	0			

130	486	20/fev	7	09:00	00:00	26,4	25,7	26,2	0,7	90	0	
131	487			10:00	01:00	26,3	25,6	26,5	0,7	88	0	
132	488			11:00	02:00	25,9	25,1	26,4	0,8	90	0	
133	489			12:00	03:00	25,8	25	26,1	0,8	89	0	
134	490			13:00	04:00	25,8	24,9	25,7	0,9	91	0	
135	491			14:00	05:00	25,7	25	24,7	0,7	94	1,4	
136	492			15:00	06:00	25,6	24,8	24,7	0,8	96	4,4	
137	493			16:00	07:00	25,9	25,5	24,6	0,4	95	3,8	
138	494			17:00	08:00	27	26,8	24,5	0,2	96	0,2	
139	495			18:00	09:00	28,3	28,4	24,2	-0,1	97	0	17
140	496			19:00	10:00	28,9	29	24,7	-0,1	96	0	268
141	497			20:00	11:00	29,8	30,2	26,4	-0,4	93	0	855
142	498			21:00	12:00	26,2	26,7	27,7	-0,5	85	0	1.333
143	499			22:00	13:00	26	26	28,7	0	79	0	1.817
144	500	23:00	14:00	26,4	26,3	29,3	0,1	77	0	2648		
145	501	21/fev	7	00:00	15:00	26,6	26,3	24,7	0,3	95	1,6	1.249
146	502			01:00	16:00	26,5	26,4	25	0,1	95	11,4	283,49
147	503			02:00	17:00	26,6	26,3	25,3	0,3	91	0,4	339
148	504			03:00	18:00	26,3	25,9	25,6	0,4	89	0,8	356
149	505			04:00	19:00	26	25,6	26	0,4	86	0	509,21
150	506			05:00	20:00	25,9	25,4	26,1	0,5	89	0	156
151	507			06:00	21:00	25,9	25,3	26	0,6	88	0	34
152	508			07:00	22:00	25,8	25,1	25,7	0,7	89	0	
153	509			08:00	23:00	25,8	25,1	25,5	0,7	89	0	
154	510			09:00	00:00	25,5	24,9	25,5	0,6	90	0	
155	511			10:00	01:00	25,3	24,7	25,2	0,6	92	0	
156	512			11:00	02:00	25,4	24,6	25,1	0,8	91	0	
157	513			12:00	03:00	25,3	24,4	25,1	0,9	89	0	
158	514			13:00	04:00	25	24,3	24,9	0,7	90	0	
159	515	14:00	05:00	24,9	24,2	24,6	0,7	90	0			
160	516	15:00	06:00	25,2	24,5	24,4	0,7	91	0			
161	517	16:00	07:00	26,7	26,4	24,4	0,3	91	0			
162	518	17:00	08:00	28,6	28,9	24,3	-0,3	92	0			
163	519	18:00	09:00	29,7	30,3	24,6	-0,6	92	0	29		
164	520	19:00	10:00	30,3	31,3	25,7	-1	89	0	515		
165	521	20:00	11:00	30,4	31,8	27,8	-1,4	84	0	1.294		
166	522	21:00	12:00	30,3	31,6	29,4	-1,3	77	0	2.354		
167	523	22:00	13:00	30	31,4	30	-1,4	77	0	2.806		
168	524	23:00	14:00	30,3	31,7	30	-1,4	77	0	3.389		
169	525	8	00:00	15:00	29,9	31,3	29,7	-1,4	78	0	3.020	
170	526		01:00	16:00	29,7	31,2	29,6	-1,5	77	0	2.497	
171	527		02:00	17:00	29,3	30,3	29,7	-1	77	0	2.143	
172	528		03:00	18:00	28,7	29,4	29,6	-0,7	78	0	1.532	
173	529		04:00	19:00	28,7	28,9	29,1	-0,2	80	0	888	
174	530		05:00	20:00	28,7	28,7	28,7	0	81	0	652	

175	531			06:00	21:00	28,6	28,6	27,8	0	86	0,2	60
176	532			07:00	22:00	28,5	28,4	28	0,1	84	0	
177	533			08:00	23:00	28,5	28,2	28,1	0,3	85	0	
178	534			09:00	00:00	28,4	28	28,2	0,4	84	0	
179	535			10:00	01:00	28,3	27,9	28	0,4	82	0	
180	536			11:00	02:00	28,1	27,7	28,1	0,4	81	0	
181	537			12:00	03:00	28,2	27,7	27,9	0,5	84	0	
182	538			13:00	04:00	28,1	27,7	27,8	0,4	83	0	
183	539			14:00	05:00	28,1	27,6	27,6	0,5	84	0	
184	540			15:00	06:00	27,9	27,4	27,6	0,5	83	0	
185	541			16:00	07:00	28,3	27,8	27,5	0,5	85	0	
186	542			17:00	08:00	29	28,9	27,4	0,1	84	0	
187	543			18:00	09:00	28,9	29,1	26,5	-0,2	88	0	8,33
188	544			19:00	10:00	29,5	29,9	27,3	-0,4	88	0	192
189	545			20:00	11:00	30	30,5	28,5	-0,5	80	0	666
190	546			21:00	12:00	30,4	31,1	28,6	-0,7	81	0	944
191	547			22:00	13:00	30,2	31,2	29	-1	81	0	966
192	548			23:00	14:00	30,8	32,1	29,4	-1,3	78	0	1.904
193	549			00:00	15:00	31,1	32,4	29,8	-1,3	78	0	1.733
194	550			01:00	16:00	30,2	31,4	29,2	-1,2	79	0	1.725
195	551			02:00	17:00	29,7	30,6	29,7	-0,9	75	0	2.349
196	552			03:00	18:00	29,4	30,2	30,1	-0,8	76	0	2.255
197	553			04:00	19:00	29,4	29,6	28,8	-0,2	81	0	1.195
198	554			05:00	20:00	29,1	29,1	28,7	0	79	0	489
199	555			06:00	21:00	29,1	28,9	28,4	0,2	81	0	81
200	556			07:00	22:00	28,8	28,5	28,2	0,3	83	0	
201	557			08:00	23:00	29	28,4	28,3	0,6	82	0	
202	558			09:00	00:00	28,8	28,2	28	0,6	84	0	
203	559			10:00	01:00	28,8	28,2	28	0,6	83	0	
204	560			11:00	02:00	28,6	28	27,9	0,6	85	0	
205	561			12:00	03:00	28,5	27,7	27,8	0,8	82	0	
206	562			13:00	04:00	28,4	27,6	27,7	0,8	84	0	
207	563			14:00	05:00	28,1	27,4	27,5	0,7	84	0	
208	564			15:00	06:00	28,5	27,6	27,3	0,9	85	0	
209	565			16:00	07:00	29,8	29,3	27,3	0,5	84	0	
210	566			17:00	08:00	30,5	30,7	27,3	-0,2	83	0	
211	567			18:00	09:00	31,5	31,5	27,4	0	83	0	22
212	568			19:00	10:00	32	32,2	28,6	-0,2	77	0	635
213	569			20:00	11:00	31,7	32,5	29,1	-0,8	76	0	1165
214	570			21:00	12:00	31,7	32,6	29,3	-0,9	74	0	2.085
215	571			22:00	13:00	31,8	32,8	30,8	-1	68	0	2.996
216	572			23:00	14:00	31,3	32,3	30,7	-1	69	0	3.349
217	573			00:00	15:00	31,1	31,7	30,2	-0,6	70	0	3.506
218	574			01:00	16:00	31	31,7	30,7	-0,7	71	0	3.383
219	575			02:00	17:00	30,4	30,9	30,1	-0,5	73	0	3.078

220	576			03:00	18:00	29,8	30,2	30	-0,4	74	0	2.497
221	577			04:00	19:00	29,6	29,6	29,5	0	74	0	1.679
222	578			05:00	20:00	29,5	29	28,8	0,5	79	0	813
223	579			06:00	21:00	29,5	28,8	28,2	0,7	80	0	96
224	580			07:00	22:00	29,3	28,6	28,1	0,7	81	0	
225	581			08:00	23:00	29,3	28,4	28,2	0,9	79	0	
226	582			09:00	00:00	29,3	28,2	28,2	1,1	80	0	
227	583			10:00	01:00	29,1	28,1	28,2	1	80	0	
228	584			11:00	02:00	29	28,1	28,2	0,9	80	0	
229	585			12:00	03:00	28,9	27,9	28,2	1	79	0	
230	586			13:00	04:00	28,7	28	27,5	0,7	82	0	
231	587			14:00	05:00	28,8	27,9	27,9	0,9	82	0	
232	588			15:00	06:00	28,8	28	27,8	0,8	84	0	
233	589			16:00	07:00	29,6	28,9	27,9	0,7	82	0	
234	590			17:00	08:00	31	30,9	27,9	0,1	82	0	
235	591			18:00	09:00	31,1	31,4	27,9	-0,3	80	0	26
236	592			19:00	10:00	31,9	32,1	28,6	-0,2	80	0	392
237	593			20:00	11:00	32,3	32,8	29,2	-0,5	78	0	1.196
238	594			21:00	12:00	32,4	33,1	29,6	-0,7	77	0	2.253
239	595			22:00	13:00	32,3	32,9	30,1	-0,6	73	0	2.118
240	596			23:00	14:00	32,1	32,7	30,9	-0,6	70	0	3.480
241	597			00:00	15:00	31,8	32,5	31	-0,7	71	0	3.564
242	598			01:00	16:00	31,3	32	30,5	-0,7	72	0	3.486
243	599			02:00	17:00	30,6	30,9	30,1	-0,3	72	0	3.088
244	600			03:00	18:00	30,3	30,2	29,9	0,1	74	0	2.293
245	601			04:00	19:00	30	29,5	29,7	0,5	72	0	1.608
246	602			05:00	20:00	29,9	29,3	29	0,6	78	0	656
247	603			06:00	21:00	29,8	28,8	28,6	1	79	0	71
248	604			07:00	22:00	29,7	28,6	28,5	1,1	80	0	
249	605			08:00	23:00	29,3	28,3	28,4	1	78	0	
250	606			09:00	00:00	29,2	28,1	28,3	1,1	78	0	
251	607			10:00	01:00	29,1	28	28,3	1,1	77	0	
252	608			11:00	02:00	29	27,8	28,2	1,2	80	0	
253	609			12:00	03:00	28,7	27,8	28	0,9	78	0	
254	610			13:00	04:00	28,8	27,7	27,9	1,1	80	0	
255	611			14:00	05:00	28,3	27,5	27,8	0,8	78	0	
256	612			15:00	06:00	28,7	27,7	27,7	1	79	0	
257	613			16:00	07:00	29,3	28,6	27,7	0,7	81	0	
258	614			17:00	08:00	30,8	30,5	27,6	0,3	79	0	
259	615			18:00	09:00	31,3	31,4	27,7	-0,1	78	0	29
260	616			19:00	10:00	31,7	32	28,1	-0,3	78	0	384
261	617			20:00	11:00	31,8	32,3	29,1	-0,5	74	0	1.132
262	618			21:00	12:00	31,9	32,9	29,7	-1	71	0	2.333
263	619			22:00	13:00	32	32,6	30,3	-0,6	67	0	2859
264	620			23:00	14:00	31,9	32,4	30,6	-0,5	69	0	3.383

265	621	26/fev	12	00:00	15:00	31,4	32,1	30,6	-0,7	67	0	3.462
266	622			01:00	16:00	31,1	31,5	30,7	-0,4	66	0	3.434
267	623			02:00	17:00	30,3	31,2	30,4	-0,9	69	0	3.151
268	624			03:00	18:00	30	30,5	29,7	-0,5	71	0	2.450
269	625			04:00	19:00	29,9	30	29,3	-0,1	76	0	1.575
270	626			05:00	20:00	29,7	29,6	28,8	0,1	77	0	710
271	627			06:00	21:00	29,6	29,4	28,4	0,2	76	0	100
272	628			07:00	22:00	29,6	29,3	28,3	0,3	78	0	
273	629			08:00	23:00	29,4	28,9	28,3	0,5	77	0	
274	630			09:00	00:00	29,2	29	28,3	0,2	78	0	
275	631			10:00	01:00	29,2	28,9	28,2	0,3	75	0	
276	632			11:00	02:00	29,1	28,9	28,2	0,2	78	0	
277	633			12:00	03:00	28,8	28,6	28	0,2	76	0	
278	634			13:00	04:00	28,6	28,5	28	0,1	76	0	
279	635			14:00	05:00	28,5	28,5	27,9	0	75	0	
280	636			15:00	06:00	28,6	28,4	27,7	0,2	77	0	
281	637			16:00	07:00	30,1	29,8	27,6	0,3	77	0	
282	638			17:00	08:00	30,5	30,8	27,6	-0,3	77	0	
283	639			18:00	09:00	31,7	31,6	27,4	0,1	78	0	26
284	640			19:00	10:00	32	32,2	28,4	-0,2	75	0	466
285	641	20:00	11:00	32,4	32,6	29,2	-0,2	72	0	1.162		

* Dados obtidos através do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), a partir de estação do tipo Automática, código NATAL (A304).

APÊNDICE C – DADOS PARA GRÁFICO PAREDES (T1)

Nº	Cód.	Dia	Cont. (dias)	Cont. (horas)	Hora Real	P. Norte (°C)	P. Sul (°C)	T. Ext. (°C)*	Δ Temp. (T1 - T2) (°C)	Umd. (%)*	Chuva (mm)*	Radiação (KJ/m²)*
1	1	14/2/20	1	00:00	15:25	30,6	30,2	30,2	0,4	70	0	3.529
2	2			01:00	16:25	30,4	30,2	30,6	0,2	69	0	3.669
3	3			02:00	17:25	30	30,1	30	-0,1	72	0	3.224
4	4			03:00	18:25	29,7	29,8	29,2	-0,1	75	0	1.849
5	5			04:00	19:25	29,7	29,7	29,7	0	73	0	1.807
6	6			05:00	20:25	29,5	29,6	29	-0,1	76	0	970
7	7			06:00	21:25	29,5	29,6	28,3	-0,1	79	0	163
8	8			07:00	22:25	29,4	29,3	28,1	0,1	79	0	
9	9			08:00	23:25	29,2	29,2	28,1	0	79	0	
10	10	15/2/20	1	09:00	00:25	29	29,1	28	-0,1	81	0	
11	11			10:00	01:25	29	28,9	28	0,1	80	0	
12	12			11:00	02:25	28,9	28,9	27,8	0	81	0	
13	13			12:00	03:25	28,7	28,8	27,8	-0,1	81	0	
14	14			13:00	04:25	28,7	28,7	27,5	0	80	0	
15	15			14:00	05:25	28,6	28,4	27,3	0,2	82	0	
16	16			15:00	06:25	28,4	28,4	27,3	0	80	0	
17	17			16:00	07:25	29,8	29,2	27,2	0,6	81	0	
18	18			17:00	08:25	32,3	31,9	25,8	0,4	86	0	
19	19			18:00	09:25	31,5	31,5	25,6	0	89	0	28
20	20			19:00	10:25	31,4	31,4	26,5	0	84	0	503
21	21			20:00	11:25	31,5	31,4	28,5	0,1	75	0	1.501
22	22			21:00	12:25	31,4	31,5	29	-0,1	71	0	2.408
23	23			22:00	13:25	31,5	31,4	30,2	0,1	66	0	3.001
24	24			23:00	14:25	31,4	31,3	29,9	0,1	67	0	3.381
25	25	16/2/20	2	00:00	15:25	31,4	31,4	30,1	0	63	0	3.558
26	26			01:00	16:25	31,2	31,2	30	0	60	0	3.538
27	27			02:00	17:25	30,7	30,9	30,5	-0,2	63	0	3.122
28	28			03:00	18:25	30,4	30,5	29,6	-0,1	65	0	2596
29	29			04:00	19:25	30,4	30,5	29,5	-0,1	68	0	1.784
30	30			05:00	20:25	30,2	30,4	28,8	-0,2	73	0	917
31	31			06:00	21:25	30,3	30,3	28,1	0	77	0	123
32	32			07:00	22:25	30	30,1	28,1	-0,1	79	0	
33	33			08:00	23:25	29,8	30	28	-0,2	79	0	
34	34			09:00	00:25	29,9	29,9	27,9	0	80	0	
35	35			10:00	01:25	29,8	29,7	27,9	0,1	80	0	
36	36			11:00	02:25	29,4	29,4	27,7	0	81	0	
37	37			12:00	03:25	29,2	29	27,5	0,2	81	0	
38	38			13:00	04:25	28,8	28,8	27,3	0	81	0	
39	39			14:00	05:25	28,6	28,4	25,7	0,2	88	0	

40	40	17/2/20	3	15:00	06:25	28,6	28,5	25,2	0,1	89	0	
41	41			16:00	07:25	30,6	29,8	24,9	0,8	89	0	
42	42			17:00	08:25	32,5	32,2	24,9	0,3	88	0	
43	43			18:00	09:25	31,7	31,6	25,2	0,1	88	0	22
44	44			19:00	10:25	31,9	31,8	26,7	0,1	81	0	640
45	45			20:00	11:25	31,7	31,6	28,4	0,1	75	0	1.501
46	46			21:00	12:25	31,7	31,6	29,1	0,1	69	0	1.899
47	47			22:00	13:25	31,7	31,7	31,4	0	62	0	2.922
48	48			23:00	14:25	31,6	31,6	31,4	0	62	0	3.508
49	49			00:00	15:25	31,8	31,7	30,3	0,1	68	0	3.584
50	50		01:00	16:25	31,5	31,5	30,1	0	67	0	3.503	
51	51		02:00	17:25	31,1	31,4	30,4	-0,3	69	0	3.193	
52	52		03:00	18:25	30,9	31,1	29,4	-0,2	73	0	2.306	
53	53		04:00	19:25	30,7	30,9	29,8	-0,2	71	0	1827	
54	54		05:00	20:25	30,6	30,7	29	-0,1	74	0	915	
55	55		06:00	21:25	30,4	30,6	28,4	-0,2	76	0	157	
56	56		07:00	22:25	30,4	30,4	28,3	0	77	0		
57	57		08:00	23:25	30,1	30,4	28,3	-0,3	78	0		
58	58		09:00	00:25	30,1	30,2	28,2	-0,1	79	0		
59	59		10:00	01:25	30	30	28,3	0	79	0		
60	60		11:00	02:25	29,7	29,8	28,3	-0,1	81	0		
61	61		12:00	03:25	29,5	29,6	28,2	-0,1	79	0		
62	62		13:00	04:25	29,5	29,6	27,9	-0,1	79	0		
63	63	14:00	05:25	29,5	29,5	27,4	0	81	0			
64	64	15:00	06:25	29,3	29,2	27,4	0,1	80	0,2			
65	65	16:00	07:25	31	30,3	27,6	0,7	79	0			
66	66	17:00	08:25	31,5	31,3	27,6	0,2	80	0			
67	67	18:00	09:25	30,9	30,8	25,6	0,1	91	4,4	51		
68	68	19:00	10:25	31,3	31,3	27,8	0	88	0	585		
69	69	20:00	11:25	31,4	31,4	28,6	0	80	0	1.177		
70	70	21:00	12:25	32	31,9	29,6	0,1	75	0	2.181		
71	71	22:00	13:25	32,1	31,9	29	0,2	78	0,2	1.826		
72	72	23:00	14:25	31,9	31,7	30,1	0,2	74	0	3.255		
73	73	00:00	15:25	31,7	31,9	30,9	-0,2	74	0	3.722		
74	74	01:00	16:25	31,5	31,6	30,4	-0,1	73	0	3.642		
75	75	02:00	17:25	31,1	31,1	30,3	0	75	0	2.819		
76	76	03:00	18:25	30,8	30,9	29,9	-0,1	74	0	2.096		
77	77	04:00	19:25	30,8	30,7	29,1	0,1	75	0	1.385		
78	78	05:00	20:25	30,6	30,6	28,7	0	78	0	394		
79	79	06:00	21:25	30,5	30,5	28,4	0	81	0	42		
80	80	07:00	22:25	30,2	30,3	27,7	-0,1	84	0			
81	81	08:00	23:25	30,1	30,2	28,1	-0,1	80	0			
82	82	09:00	00:25	30	30,1	27,7	-0,1	82	0			
83	83	18/2/20	10:00	01:25	29,6	29,8	27,9	-0,2	82	0		

84	84			11:00	02:25	29,6	29,6	27,7	0	83	0			
85	85			12:00	03:25	29,5	29,5	27,8	0	83	0			
86	86			13:00	04:25	29,2	29,2	27,4	0	86	0			
87	87			14:00	05:25	29	29,1	27,6	-0,1	80	0			
88	88			15:00	06:25	29,4	29,2	27,5	0,2	82	0			
89	89			16:00	07:25	30,7	29,4	26,6	1,3	86	0			
90	90			17:00	08:25	31,4	31,3	26,7	0,1	86	0			
91	91			18:00	09:25	31,9	31,8	27	0,1	84	0	40		
92	92			19:00	10:25	32,1	32,1	28,4	0	79	0	562		
93	93			20:00	11:25	32	32	28,7	0	77	0	1.312		
94	94			21:00	12:25	31,9	31,9	29,6	0	75	0	2.081		
95	95			22:00	13:25	32,3	32,2	29,9	0,1	71	0	2.928		
96	96			23:00	14:25	31,9	31,9	29,7	0	76	0	3.192		
97	97			5		00:00	15:25	31,5	31,7	30,5	-0,2	71	0	3.597
98	98					01:00	16:25	31,2	31,5	30,7	-0,3	70	0	3.257
99	99					02:00	17:25	31,2	31,2	30,1	0	69	0	2.706
100	100					03:00	18:25	30,9	30,9	29	0	77	0	2.005
101	101					04:00	19:25	30,7	30,8	28,8	-0,1	74	0	879
102	102					05:00	20:25	30,7	30,8	28,1	-0,1	82	0	363
103	103					06:00	21:25	30,4	30,4	28,3	0	76	0	63
104	104					07:00	22:25	30,2	30,1	28,3	0,1	79	0	
105	105					08:00	23:25	29,9	29,9	28,3	0	79	0	
106	106					19/2/20		09:00	00:25	29,8	29,8	27,4	0	86
107	107	10:00	01:25					29,5	29,6	27,6	-0,1	84	0	
108	108	11:00	02:25					29,3	29,4	27,2	-0,1	87	0	
109	109	12:00	03:25					28,9	29,2	27,4	-0,3	85	0	
110	110	13:00	04:25					28,7	28,8	27,2	-0,1	86	0	
111	111	14:00	05:25	28,7	28,7			26,8	0	87	0			
112	112	15:00	06:25	28,8	28,7			26,9	0,1	86	0			
113	113	16:00	07:25	28,6	28,7			25,3	-0,1	88	0			
114	114	17:00	08:25	29,7	29,4			25,4	0,3	88	0			
115	115	18:00	09:25	29,6	29,4			25,8	0,2	89	0	17		
116	116	19:00	10:25	30,7	30,5			25,6	0,2	90	0,4	185		
117	117	20:00	11:25	30,6	30,5			26,2	0,1	92	0,6	354		
118	118	21:00	12:25	29,2	29,2			26,8	0	87	0,2	1.063		
119	119	22:00	13:25	29	28,9			29,1	0,1	79	0	2.110		
120	120	23:00	14:25	28,9	28,7	29,7	0,2	74	0	2.762				
121	121	6		00:00	15:25	28	28,1	26,6	-0,1	91	2	1.473		
122	122			01:00	16:25	27,7	27,7	25,7	0	90	5,8	403		
123	123			02:00	17:25	27,6	27,6	25,4	0	93	7,8	304		
124	124			03:00	18:25	27,5	27,3	23,6	0,2	97	34,4	94		
125	125			04:00	19:25	27,3	27,3	24	0	98	41,2	110		
126	126			05:00	20:25	27,3	27,2	24,3	0,1	98	4	70		
127	127			06:00	21:25	27,3	27,2	24,5	0,1	98	0	32		

128	128			07:00	22:25	27,1	27,2	25	-0,1	95	0	0,318
129	129			08:00	23:25	27,1	27	26	0,1	93	0	
130	130	20/2/20		09:00	00:25	26,9	26,9	26,2	0	90	0	
131	131			10:00	01:25	26,8	26,9	26,5	-0,1	88	0	
132	132			11:00	02:25	26,6	26,6	26,4	0	90	0	
133	133			12:00	03:25	26,4	26,5	26,1	-0,1	89	0	
134	134			13:00	04:25	26,4	26,5	25,7	-0,1	91	0	
135	135			14:00	05:25	26,5	26,5	24,7	0	94	1,4	
136	136			15:00	06:25	26,4	26,2	24,7	0,2	96	4,4	
137	137			16:00	07:25	26,8	26,5	24,6	0,3	95	3,8	
138	138			17:00	08:25	27,5	27,3	24,5	0,2	96	0,2	
139	139			18:00	09:25	28,1	27,8	24,2	0,3	97	0	17
140	140			19:00	10:25	28,7	28,2	24,7	0,5	96	0	268
141	141			20:00	11:25	29,3	29	26,4	0,3	93	0	855
142	142			21:00	12:25	27,3	27,3	27,7	0	85	0	1.333
143	143			22:00	13:25	27	27,2	28,7	-0,2	79	0	1.817
144	144			23:00	14:25	27,2	27,2	29,3	0	77	0	2648
145	145			00:00	15:25	27,2	27,1	24,7	0,1	95	1,6	1.249

Nº	Cód.	Dia	Cont. (dias)	Cont. (horas)	Hora Real	P. Norte (°C)	P. Sul (°C)	T. Ext. (°C)*	Δ Temp. (T1 - T2) (°C)	Umd. (%)*	Chuva (mm)*	Radiação (KJ/m²)*	
1	146	20/2/20			00:00	15:25	27,4	27,8	24,7	-0,4	95	1,6	1.249
2	147				01:00	16:25	26,9	26,8	25	0,1	95	11,4	283,49
3	148				02:00	17:25	26,8	26,7	25,3	0,1	91	0,4	339
4	149				03:00	18:25	26,5	26,3	25,6	0,2	89	0,8	356
5	150				04:00	19:25	26,3	26,2	26	0,1	86	0	509,21
6	151				05:00	20:25	26,1	26	26,1	0,1	89	0	156
7	152				06:00	21:25	25,9	25,9	26	0	88	0	34
8	153				07:00	22:25	25,8	25,9	25,7	-0,1	89	0	
9	154				08:00	23:25	25,6	25,6	25,5	0	89	0	
10	155	21/2/20	1		09:00	00:25	25,6	25,5	25,5	0,1	90	0	
11	156				10:00	01:25	25,4	25,2	25,2	0,2	92	0	
12	157				11:00	02:25	25,2	25,2	25,1	0	91	0	
13	158				12:00	03:25	25	25	25,1	0	89	0	
14	159				13:00	04:25	24,9	24,9	24,9	0	90	0	
15	160				15:00	05:25	24,8	24,8	24,6	0	90	0	
16	161				16:00	06:25	25,6	25,5	24,4	0,1	91	0	
17	162				17:00	07:25	28,5	28,3	24,4	0,2	91	0	
18	163				18:00	08:25	29,4	30	24,3	-0,6	92	0	
19	164				19:00	09:25	30,2	30,9	24,6	-0,7	92	0	29
20	165				20:00	10:25	31,2	31,6	25,7	-0,4	89	0	515
21	166				21:00	11:25	31,5	31,8	27,8	-0,3	84	0	1.294
22	167				22:00	12:25	31,8	32,1	29,4	-0,3	77	0	2.354

23	168	22/2/20	2	23:00	13:25	32	32,5	30	-0,5	77	0	2.806
24	169			00:00	14:25	32	32,4	30	-0,4	77	0	3.389
25	170			01:00	15:25	31,8	32	29,7	-0,2	78	0	3.020
26	171			02:00	16:25	31,8	32,1	29,6	-0,3	77	0	2.497
27	172			03:00	17:25	31,7	32	29,7	-0,3	77	0	2.143
28	173			04:00	18:25	31,3	31,4	29,6	-0,1	78	0	1.532
29	174			05:00	19:25	30,6	30,8	29,1	-0,2	80	0	888
30	175			06:00	20:25	30,1	30,1	28,7	0	81	0	652
31	176			07:00	21:25	29,6	29,7	27,8	-0,1	86	0,2	60
32	177			08:00	22:25	29,4	29,5	28	-0,1	84	0	
33	178			09:00	23:25	29,1	29,2	28,1	-0,1	85	0	
34	179			10:00	00:25	28,9	28,9	28,2	0	84	0	
35	180			11:00	01:25	28,6	28,7	28	-0,1	82	0	
36	181			12:00	02:25	28,4	28,5	28,1	-0,1	81	0	
37	182			13:00	03:25	28,4	28,4	27,9	0	84	0	
38	183			14:00	04:25	28,3	28,3	27,8	0	83	0	
39	184			15:00	05:25	28,1	28,2	27,6	-0,1	84	0	
40	185			16:00	06:25	28,1	28	27,6	0,1	83	0	
41	186			17:00	07:25	27,9	28	27,5	-0,1	85	0	
42	187			18:00	08:25	28,1	28,3	27,4	-0,2	84	0	
43	188			19:00	09:25	28,9	29	26,5	-0,1	88	0	8,33
44	189			20:00	10:25	29,3	29,5	27,3	-0,2	88	0	192
45	190			21:00	11:25	29,8	30,2	28,5	-0,4	80	0	666
46	191	22:00	12:25	30,6	31	28,6	-0,4	81	0	944		
47	192	23:00	13:25	31,3	31,5	29	-0,2	81	0	966		
48	193	23/2/20	3	00:00	14:25	31,6	31,8	29,4	-0,2	78	0	1.904
49	194			01:00	15:25	32,2	32,5	29,8	-0,3	78	0	1.733
50	195			02:00	16:25	32,6	32,9	29,2	-0,3	79	0	1.725
51	196			03:00	17:25	32,3	32,5	29,7	-0,2	75	0	2.349
52	197			04:00	18:25	31,8	31,8	30,1	0	76	0	2.255
53	198			05:00	19:25	31,2	31,2	28,8	0	81	0	1.195
54	199			06:00	20:25	30,7	30,8	28,7	-0,1	79	0	489
55	200			07:00	21:25	30,3	30,2	28,4	0,1	81	0	81
56	201			08:00	22:25	30	30,1	28,2	-0,1	83	0	
57	202			09:00	23:25	29,5	29,5	28,3	0	82	0	
58	203			10:00	00:25	29,4	29,5	28	-0,1	84	0	
59	204			11:00	01:25	29,1	29,2	28	-0,1	83	0	
60	205			12:00	02:25	28,9	28,9	27,9	0	85	0	
61	206			13:00	03:25	28,8	28,7	27,8	0,1	82	0	
62	207			14:00	04:25	28,6	28,5	27,7	0,1	84	0	
63	208			15:00	05:25	28,2	28,4	27,5	-0,2	84	0	
64	209			16:00	06:25	28,3	28,3	27,3	0	85	0	
65	210			17:00	07:25	28,2	28,2	27,3	0	84	0	
66	211			18:00	08:25	29,2	29,2	27,3	0	83	0	

67	212	24/2/20		19:00	09:25	31,2	31,4	27,4	-0,2	83	0	22			
68	213			20:00	10:25	31,8	32,4	28,6	-0,6	77	0	635			
69	214			21:00	11:25	32,7	32,9	29,1	-0,2	76	0	1165			
70	215			22:00	12:25	32,9	33,4	29,3	-0,5	74	0	2.085			
71	216		4		23:00	13:25	33,2	33,5	30,8	-0,3	68	0	2.996		
72	217				00:00	14:25	33,4	33,6	30,7	-0,2	69	0	3.349		
73	218				01:00	15:25	33,3	33,4	30,2	-0,1	70	0	3.506		
74	219				02:00	16:25	33,1	33,3	30,7	-0,2	71	0	3.383		
75	220				03:00	17:25	32,9	33,1	30,1	-0,2	73	0	3.078		
76	221				04:00	18:25	32,6	32,6	30	0	74	0	2.497		
77	222				05:00	19:25	31,8	31,9	29,5	-0,1	74	0	1.679		
78	223				06:00	20:25	31,1	31,1	28,8	0	79	0	813		
79	224				07:00	21:25	30,6	30,6	28,2	0	80	0	96		
80	225				08:00	22:25	30	30,2	28,1	-0,2	81	0			
81	226				09:00	23:25	29,7	29,8	28,2	-0,1	79	0			
82	227				5		10:00	00:25	29,5	29,5	28,2	0	80	0	
83	228						11:00	01:25	29,3	29,3	28,2	0	80	0	
84	229						12:00	02:25	29,2	29,1	28,2	0,1	80	0	
85	230						13:00	03:25	29	28,9	28,2	0,1	79	0	
86	231						14:00	04:25	28,9	28,8	27,5	0,1	82	0	
87	232		15:00	05:25			28,7	28,8	27,9	-0,1	82	0			
88	233		16:00	06:25			28,6	28,7	27,8	-0,1	84	0			
89	234		17:00	07:25			28,6	28,7	27,9	-0,1	82	0			
90	235		18:00	08:25			29,2	29,1	27,9	0,1	82	0			
91	236	19:00	09:25	31,8			32,2	27,9	-0,4	80	0	26			
92	237	20:00	10:25	31,6	32,2	28,6	-0,6	80	0	392					
93	238	25/2/20		21:00	11:25	32,4	33	29,2	-0,6	78	0	1.196			
94	239			22:00	12:25	33,1	33,6	29,6	-0,5	77	0	2.253			
95	240			23:00	13:25	33,4	33,9	30,1	-0,5	73	0	2.118			
96	241			00:00	14:25	33,8	34	30,9	-0,2	70	0	3.480			
97	242			01:00	15:25	33,8	33,9	31	-0,1	71	0	3.564			
98	243			02:00	16:25	33,7	33,8	30,5	-0,1	72	0	3.486			
99	244			03:00	17:25	33,4	33,5	30,1	-0,1	72	0	3.088			
100	245			04:00	18:25	32,6	32,8	29,9	-0,2	74	0	2.293			
101	246			05:00	19:25	31,8	32	29,7	-0,2	72	0	1.608			
102	247			06:00	20:25	31,1	31,3	29	-0,2	78	0	656			
103	248			07:00	21:25	30,5	30,8	28,6	-0,3	79	0	71			
104	249			08:00	22:25	30,2	30,2	28,5	0	80	0				
105	250			09:00	23:25	29,8	29,9	28,4	-0,1	78	0				
106	251					10:00	00:25	29,5	29,7	28,3	-0,2	78	0		
107	252	11:00	01:25			29,2	29,3	28,3	-0,1	77	0				
108	253	12:00	02:25			29,1	29,2	28,2	-0,1	80	0				
109	254	13:00	03:25			28,8	28,9	28	-0,1	78	0				
110	255	14:00	04:25			28,7	28,7	27,9	0	80	0				

111	256		6	15:00	05:25	28,5	28,6	27,8	-0,1	78	0	
112	257			16:00	06:25	28,4	28,5	27,7	-0,1	79	0	
113	258			17:00	07:25	28,3	28,5	27,7	-0,2	81	0	
114	259			18:00	08:25	28,8	29,1	27,6	-0,3	79	0	
115	260			19:00	09:25	30,9	31,3	27,7	-0,4	78	0	29
116	261			20:00	10:25	31,5	32,2	28,1	-0,7	78	0	384
117	262			21:00	11:25	32,4	32,9	29,1	-0,5	74	0	1.132
118	263			22:00	12:25	32,9	33,4	29,7	-0,5	71	0	2.333
119	264			23:00	13:25	33,3	33,6	30,3	-0,3	67	0	2859
120	265			00:00	14:25	33,4	33,6	30,6	-0,2	69	0	3.383
121	266			01:00	15:25	33,5	33,7	30,6	-0,2	67	0	3.462
122	267			02:00	16:25	33,4	33,6	30,7	-0,2	66	0	3.434
123	268			03:00	17:25	32,9	33,3	30,4	-0,4	69	0	3.151
124	269			04:00	18:25	32,3	32,5	29,7	-0,2	71	0	2.450
125	270			05:00	19:25	31,6	31,8	29,3	-0,2	76	0	1.575
126	271			06:00	20:25	30,9	31	28,8	-0,1	77	0	710
127	272			07:00	21:25	30,2	30,5	28,4	-0,3	76	0	100
128	273			08:00	22:25	30	30,1	28,3	-0,1	78	0	
129	274			09:00	23:25	29,6	29,7	28,3	-0,1	77	0	
130	275			10:00	00:25	29,3	29,5	28,3	-0,2	78	0	
131	276			11:00	01:25	29,1	29,3	28,2	-0,2	75	0	
132	277	12:00	02:25	29,1	29,1	28,2	0	78	0			
133	278	13:00	03:25	28,9	28,9	28	0	76	0			
134	279	14:00	04:25	28,7	28,8	28	-0,1	76	0			
135	280	15:00	05:25	28,5	28,6	27,9	-0,1	75	0			
136	281	16:00	06:25	28,2	28,3	27,7	-0,1	77	0			
137	282	17:00	07:25	28,1	28,4	27,6	-0,3	77	0			
138	283	18:00	08:25	28,7	29,3	27,6	-0,6	77	0			
139	284	19:00	09:25	31,1	31,5	27,4	-0,4	78	0	26		
140	285	20:00	10:25	31,7	32,3	28,4	-0,6	75	0	466		
141	286	21:00	11:25	32,4	33	29,2	-0,6	72	0	1.162		
142	287	22:00	12:25	33,1	33,6	29,5	-0,5	70	0	2.102		

* Dados obtidos através do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), a partir de estação do tipo Automática, código NATAL (A304).