



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE ENERGIAS ALTERNATIVAS E RENOVÁVEIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENERGIAS RENOVÁVEIS



ANTONIO CLÁUDIO XIMENES MASSA

**AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO MECÂNICO E TÉRMICO
DE MATERIAL COMPÓSITO PARA ENVOLTÓRIA DE
HABITAÇÕES VISANDO EFICIÊNCIA ENERGÉTICA**

JOÃO PESSOA/PB
AGOSTO / 2018

PPGER / MESTRADO ACADÊMICO

ANTONIO CLÁUDIO XIMENES MASSA

**AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO MECÂNICO E TÉRMICO
DE MATERIAL COMPÓSITO PARA ENVOLTÓRIA DE HABITAÇÕES
VISANDO EFICIÊNCIA ENERGÉTICA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Energias Renováveis da Universidade Federal da Paraíba PPGER – UFPB – como requisito à obtenção do grau de Mestre em Energias Renováveis, na área de Materiais Aplicados às Energias Renováveis.

Orientadora: Prof^ª. Dr^ª. Pollyana Caetano Ribeiro Fernandes
Coorientador: Prof. Dr. Marçal Rosas Florentino Lima Filho

JOÃO PESSOA/PB
AGOSTO / 2018

Catálogo na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

M414a Massa, Antonio Cláudio Ximenes.

Avaliação de desempenho mecânico e térmico de material compósito para envoltória de habitações visando eficiência energética / Antonio Cláudio Ximenes Massa.
- João Pessoa, 2018.

92 f.

Orientação: Pollyana Caetano Ribeiro Fernandes.
Coorientação: Marçal Rosas Florentino Lima Filho.
Dissertação (Mestrado) - UFPB/CEAR.

1. Eficiência térmica, energética, materiais isolante.
I. Fernandes, Pollyana Caetano Ribeiro. II. Filho,
Marçal Rosas Florentino Lima. III. Título.

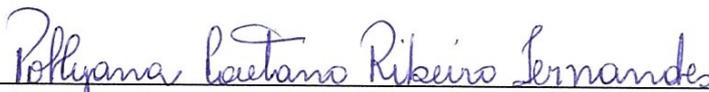
UFPB/BC

ANTONIO CLÁUDIO XIMENES MASSA

**AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO MECÂNICO E TÉRMICO
DE MATERIAL COMPÓSITO PARA ENVOLTÓRIA DE HABITAÇÕES
VISANDO EFICIÊNCIA ENERGÉTICA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Energias Renováveis da Universidade Federal da Paraíba PPGER – UFPB – como requisito à obtenção do grau de Mestre em Energias Renováveis, na área de Materiais Aplicados às Energias Renováveis.

Banca Examinadora:



Orientadora: Prof^a. Dr^a. Pollyana Caetano Ribeiro Fernandes - PPGER-UFPB

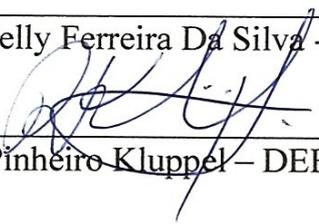


Co-orientador: Prof. Dr. Marçal Rosas Florentino Lima Filho - PPGER-UFPB



Examinador interno: Prof. Dr. José Maurício A. M. Gurgel - PPGER-UFPB

Examinador externo: Prof^a. Dr^a. Cristiane Kelly Ferreira Da Silva -DEER-UFPB


Examinador externo: Prof. Dr. Rogério Pinheiro Kluppel – DEER - UFPB

Examinador externo: Prof^a. Dr^a. Ivanize Cláudia dos Santos e Silva -DEP-UFPB

Examinador externo: Prof. Dr. Ricardo Cabral de Vasconcelos. - DEM-UFCG

JOÃO PESSOA / PB
AGOSTO/ 2018

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho:

A Deus, pelo seu infinito amor que me fortalece e guia em todos os desafios;

A minha amada esposa e filhos, por serem os meus objetivos de vida;

Aos meus pais por serem meus referenciais inspiradores;

Aos familiares e amigos pelo apoio e incentivo.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela vida de cada pessoa colocada ao meu lado na caminhada acadêmica, todas foram fundamentais para a realização dessa Dissertação!

A professora Dr^a. Pollyana Caetano Ribeiro Fernandes, pela atenção, ensinamentos, apoio e empenho dedicados à orientação de todas as etapas da pesquisa.

Ao professor Dr. Marçal Rosas Florentino Lima Filho, por todo o suporte técnico e empenho dedicados à co-orientação do trabalho.

Aos professores e professoras: Dr^a. Flávia de Medeiros Aquino, Dr. José Maurício Gurgel, Dr^a. Marta Célia Dantas Silva, Dr^a. Monica Carvalho, Dr. Luiz Moreira Coelho Jr, Dr. Raphael Abrahão, Dr^a. Riuzuani Michelle Bezerra Pedrosa Lopes e Dr. Zaqueu Ernesto da Silva, a todos minha gratidão pelos preciosos ensinamentos e contribuições para a elaboração do trabalho.

Ao Engenheiro Cláudio Matias da Silva, por toda a atenção e presteza nos ensaios realizados no LABEME - Laboratório de Ensaios de Materiais e Estruturas do Departamento de Engenharia Civil e Ambiental DECA da Universidade Federal da Paraíba.

Ao Professor Dr. Aloísio Braz, por sua disponibilidade e assistência aos ensaios realizados na Câmara Térmica do LABEME - Laboratório de Ensaios de Materiais e Estruturas do Departamento de Engenharia Civil e Ambiental DECA da Universidade Federal da Paraíba.

Aos funcionários e auxiliares dos laboratórios, pela ajuda e instrumentação nos ensaios e testes.

Aos colegas de turma, pelo companheirismo, ajuda e incentivo.

A minha família, por todo amor, compreensão e apoio total aos meus sonhos!

RESUMO

O trabalho de pesquisa avalia o desempenho mecânico e térmico de um compósito cimentício para a confecção de painéis envoltórios, aplicados ao projeto arquitetônico de uma habitação popular pré-fabricada para clima tropical, objetivando o melhoramento da eficiência térmica e energética nos ambientes internos como opção ao sistema construtivo tradicional de blocos cerâmicos. Estuda a viabilidade construtiva e a sustentabilidade do compósito, que utiliza materiais com reconhecidas propriedades termoisolantes (vermiculita, argila expandida e metaculim) aliadas às estratégias projetivas da Arquitetura Bioclimática, com o objetivo de minimizar a absorção e transferência de calor incidente nas cobertas e vedações para os ambientes internos, buscando contribuições para estudo desses fatores no processo construtivo pré-fabricado comprometido com a redução dos desperdícios de materiais. A metodologia investigativa fundamentada na bibliografia e nas normas da ABNT conduziu os ensaios comparativos para a caracterização dos materiais integrantes do compósito, seguindo uma sequência de testes de misturas onde foi selecionada uma escala de três traços para ensaios de pesagem, resistência à compressão axial e densidade, com resultados comparativos de peso 59% mais leve e resistência de 50% dos parâmetros fixados para um traço piloto de concreto tradicional, superando os resultados desses indicadores para a alvenaria de blocos cerâmicos. Os testes de eficiência térmica do compósito foram realizados inicialmente em três séries de corpos de prova submetidos aos ensaios do Fio Quente e do Conduvímetero K 30 com resultados comparativos de resistência e condutividade térmica coerentes, seguiu-se a moldagem de três protótipos de paredes com os respectivos traços para ensaios em uma câmara térmica, que simula e registra simultaneamente a variação térmica diurna e noturna nas duas faces da parede testada, com resultados de eficiência térmica compatíveis aos de uma parede de blocos cerâmicos. Compilados os resultados finais de peso, resistência e desempenho térmico das paredes protótipos comparados aos de uma parede tradicional de blocos cerâmicos ficou evidente a compatibilidade do compósito para a estruturação do projeto da casa pré-fabricada.

PALAVRAS CHAVES: Eficiência térmica, energética, materiais isolantes, arquitetura bioclimática, construção pré-fabricada, sustentabilidade.

ABSTRACT

The research work evaluates the mechanical and thermal performance of a cementitious composite for the preparation of wrapping panels, applied to the architectural design of a prefabricated housing for tropical climate, aiming at the improvement of the thermal and energetic efficiency in the internal environments as an option to the ceramic building blocks. It studies the constructive viability and sustainability of the composite, which uses materials with known thermoinsulating properties (vermiculite, expanded clay and metaculin) allied to the projective strategies of the Bioclimatic Architecture, in order to minimize the absorption and transfer of heat incident on the roofs and walls to the internal environments, seeking contributions for studies of these factors in the prefabricated construction process committed to the reduction of material waste. The research methodology is based on the ABNT bibliography and standards conducted the comparative tests for the characterization of composite materials, following a sequence of mix tests where a three-point scale was selected for weighing, axial compression and density tests, with comparative results of 59% lighter weight and 50% resistance of the parameters set for a traditional concrete Pilot trait, surpassing the results of these indicators for masonry of ceramic blocks. The thermal efficiency tests of the composite were initially performed on three series of test specimens submitted to the tests of the Hot Wire and the K 30 Conductivity Meter with coherent comparative results of resistance and thermal conductivity, followed by the molding of three wall prototypes with the respective traces for tests in a thermal chamber simulating and simultaneously recording the daytime and nighttime thermal variation on the two faces of the wall tested, with thermal efficiency results compatible with those of a ceramic block wall. Compounding the final results of weight, strength and thermal performance of the prototype walls compared to a traditional wall of ceramic blocks, the compatibility of the composite for the design of the prefabricated house was evident.

KEYWORDS: Thermal efficiency, energy, insulating materials, bioclimatic architecture, prefabricated construction, sustainability.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.	Fluxograma das principais áreas de pesquisas da arquitetura e da engenharia para a normatização e certificação das construções	3
Figura 2.	Ilustração comparativa dos conceitos da Arquitetura Convencional e Bioclimática	4
Figura 3.	Zoneamento Bioclimático do Brasil	10
Figura 4.	Ilustra a captação da ventilação e iluminação natural	12
Figura 5.	Ilustra a proteção térmica pelo sombreamento	12
Figura 6.	Ilustra proteção das aberturas com ventilação e iluminação natural	13
Figura 7.	Ilustra a integração dos ambientes	13
Figura 8.	Ilustra continuidade espacial / ventilação e iluminação	13
Figura 9.	Ilustra a captação da ventilação e iluminação natural	14
Figura 10.	Ilustra a captação da ventilação e iluminação natural	14
Figura 11.	Projeto correlato. (a) planta baixa, (b) fachada, (c) corte esquemático, (d) implantação geral.	22
Figura 12.	Sistema construtivo de blocos cerâmicos	24
Figura 13.	Esquema construtivo pré-fabricado	25
Figura 14.	Fluxograma de sustentabilidade dos sistemas construtivo Tradicional e Pré-fabricado	28
Figura 15.	Argila Expandida Cinexpan	30
Figura 16.	Agregado Miúdo - Areia	31
Figura 17.	Vermiculita	31
Figura 18.	Aglomerante - Cimento Portland CP V ARI	32
Figura 19.	Metacaulinita	33
Figura 20.	Fotos do processo de caracterização do agregado miúdo	40
Figura 21.	Fotos do processo de caracterização do agregado graúdo	42
Figura 22.	Fotos do processo de preparo do traço e moldagem dos corpos de prova	43
Figura 23.	Fotos do processo de desmolde dos corpos de prova	44
Figura 24.	Fotos do processo de pesagem dos corpos de prova	45
Figura 25.	Fotos do processo de ensaio de tensão até o rompimento dos corpos de prova	45
Figura 26.	Fotos do processo de ensaio de densidade do compósito	46
Figura 27.	Fotos do processo de usinagem dos traços	47
Figura 28.	Fotos do processo de concretagem de placas para ensaios de Condutivímetro	47
Figura 29.	Proposta do sistema pré-fabricado em compósito cimentício	48
Figura 30.	Fotos do processo de concretagem de paredes para ensaios na câmara térmica	48
Figura 31.	Fotos do processo de ensaios do Fio Quente	50
Figura 32.	Esquema de medição da condutividade térmica no Condutivímetro K 30	51
Figura 33.	Placas planas, Condutivímetro K 30 e aquisição de dados	52
Figura 34.	Planta baixa da Câmara Térmica do LABEME para ensaios dos protótipos de parede	53
Figura 35.	Câmara Térmica do LABEME com (a) Sistema de aquisição de dados, (b) caixa de lâmpadas, (c) ar-condicionado e globo negro, (d) Parede protótipo, (e) Aquecimento, (f) Conexão de termopares.	54
Figura 36.	Temperaturas e Pluviosidades anuais na cidade de João Pessoa.	55
Figura 37.	Perdas de materiais no sistema construtivo tradicional e pré-fabricado.	59

Figura 38.	Curva granulométrica Agregado Miúdo	59
Figura 39.	Curva granulométrica Agregado Graúdo.	60
Figura 40.	Temperaturas T_Q e T_F Ensaios do Fio Quente e Condutímetro K30 - Traço 01	61
Figura 41.	Temperaturas T_Q e T_F Ensaios do Fio Quente e Condutímetro K30 - Traço 02	62
Figura 42.	Temperaturas T_Q e T_F Ensaios do Fio Quente e Condutímetro K30 - Traço 03	62
Figura 43.	Temperaturas T_Q e T_F Ensaios do Fio Quente e Condutímetro K30 Traço Piloto.	62
Figura 44.	Curvas de aquecimento e resfriamento da parede 01 / traço 01.	63
Figura 45.	Curvas de aquecimento e resfriamento da parede 02 / traço 02.	63
Figura 46.	Curvas de aquecimento e resfriamento da parede 03 / traço 03.	64
Figura 47.	Curvas de aquecimento e resfriamento da parede de concreto convencional.	64
Figura 48.	Curvas de aquecimento e resfriamento da parede de blocos cerâmicos (referência).	65
Figura 49.	Temperatura da face interna – Parede 01 / Traço 01	65
Figura 50.	Temperatura do ar interno (globo negro) – Parede 01 / Traço 01	66
Figura 51.	Temperatura da face externa – Parede 01 / Traço 01	66
Figura 52.	Temperatura do ar externo (globo negro) – Parede 01 / Traço 01	66
Figura 53.	Temperatura da face interna – Parede 02 / Traço 02	66
Figura 54.	Temperatura do ar interno (globo negro) – Parede 02 / Traço 02	67
Figura 55.	Temperatura da face externa – Parede 02 / Traço 02	67
Figura 56.	Temperatura do ar externo (globo negro) – Parede 02 / Traço 02	67
Figura 57.	Temperatura da face interna – Parede 03 / Traço 03	67
Figura 58.	Temperatura do ar interno (globo negro) – Parede 03 / Traço 03	68
Figura 59.	Temperatura da face externa – Parede 03 / Traço 03	68
Figura 60.	Temperatura do ar externo (globo negro) – Parede 03 / Traço 03	68
Figura 61.	Temperatura da face interna – Parede piloto / Traço piloto	68
Figura 62.	Temperatura do ar interno (globo negro) – Parede piloto / Traço piloto	69
Figura 63.	Temperatura da face externa – Parede piloto / Traço Piloto	69
Figura 64.	Temperatura do ar externo (globo negro) – Parede piloto / Traço Piloto	69
Figura 65.	Proposta do sistema pré-fabricado em concreto leve e sistemas de ventilação naturais.	71
Figura 66.	Planta Baixa proposta	72
Figura 67.	Cortes do Protótipo 01 com laje inclinada pré-fabricada em compósito cimentício	73
Figura 68.	Corte do Protótipo 01 com laje inclinada pré-fabricada em concreto leve	73
Figura 69.	Fachadas do Protótipo 01 com laje inclinada pré-fabricada em compósito cimentício	73
Figura 70.	Sistema de montagem do Protótipo 02 com laje plana pré-fabricada em compósito cimentício.	74
Figura 71.	Perspectiva interna do Protótipo 02 com laje plana pré-fabricada em compósito cimentício	74
Figura 72.	Perspectivas externas do Protótipo 02 com laje plana pré-fabricada em compósito cimentício	
Figura 73.	Cortes do Protótipo 01 com laje plana e inclinada pré-fabricada em compósito cimentício.	75
Figura 74.	Perspectivas externas do Protótipo 01 com laje inclinada pré-fabricada	76

Figura 75. em compósito cimentício.
Perspectivas externas do Protótipo 02 com laje plana pré-fabricada em compósito cimentício. 77

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.	Diretrizes construtivas para habitações de interesse social.	11
Tabela 2.	Valores de resistência à compressão e massa específica de concretos. leves estruturais (NBR NM 35) Resistência à compressão (Mpa aos 28 dias).	29
Tabela 3.	Especificações técnicas da Argila Expandida Cinexpan 2215	30
Tabela 4.	Granulometria e especificações técnicas da Argila Expandida Cinexpan 2215	30
Tabela 5.	Composição e especificações técnicas da vermiculita	32
Tabela 6.	Composição e especificações técnicas da metacaulinita	33
Tabela 7.	Determinação da massa unitária e do volume de vazios – Método C. Valores para Agregado Miúdo.	39
Tabela 8.	Determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água. Valores para Agregado Miúdo.	39
Tabela 9.	Composição Granulométrica para Agregado Miúdo.	40
Tabela 10.	Determinação da massa unitária e do volume de vazios – Método C. Valores para Agregado Graúdo.	41
Tabela 11.	Determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água. Valores para agregado graúdo.	41
Tabela 12.	Composição granulométrica para agregado graúdo.	42
Tabela 13.	Composição do piloto e ensaio de peso e resistência mecânica.	44
Tabela 14.	Composição dos traços e ensaios de peso e resistência mecânica.	45
Tabela 15.	Ensaio para o cálculo da densidade.	46
Tabela 16.	Materiais básicos: perdas na obra detectadas por esta pesquisa (FINEP/ITQC/PCC) e por outras fontes	56
Tabela 17.	Perdas de cimento nos serviços: emboço ou massa única interna; emboço ou massa única externa; contrapiso (FINEP/ITQC/PCC).	57
Tabela 18.	Tabela comparativa de perdas nos sistemas tradicional e pré-fabricados.	58
Tabela 19.	Composição dos traços e ensaios de peso e resistência mecânica.	60
Tabela 20.	Resumo comparativo dos ensaios de peso e resistência mecânica.	61
Tabela 21.	Composição do traço 03 e ensaios de peso e resistência mecânica e eficiência térmica.	70
Tabela 22.	Composição do traço 01, ensaios de peso, resistência mecânica e condutividade.	87
Tabela 23.	Composição do traço 02, ensaios de peso, resistência mecânica e condutividade.	87
Tabela 24.	Composição do traço 03, ensaios de peso, resistência mecânica e condutividade.	88
Tabela 25.	Composição do traço 01, ensaios de peso, resistência mecânica e ciclo térmico	89
Tabela 26.	Composição do traço 02, ensaios de peso, resistência mecânica e ciclo térmico	89
Tabela 27.	Composição do traço 03, ensaios de peso, resistência mecânica e ciclo térmico	89

LISTA DE SIGLAS SIMBOLOS E ABREVIATURAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas
ACI - American Concrete Institute
BTU - Unidade térmica britânica
C - Capacidade térmica
c - Calor específico
CDHU - Companhia de Desenvolvimento Habitacional e Urbano do Estado de São Paulo
cm - Centímetro
cm² - Centímetro quadrado
cm³ - Centímetro cúbico
CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente
CP - Corpo de prova
CT - Capacidade Térmica
dm³ - Decímetro cúbico
EPS - Poliestireno Expandido isopor
EVA - Acetato-vinilo de etileno
FINEP - Financiadora de Estudos e Projetos
g - Grama
I - Inércia térmica
IAB - Instituto dos Arquitetos do Brasil
ITQC - Instituto Brasileiro de Tecnologia e Qualidade na Construção Civil
K - Kelvin
K - Condutividade do material
Kcal - Quilocaloria
kg - Quilograma
kJ - Quilojoule
LABEME - Laboratório de Ensaios de Materiais e Estruturas
m² - Metro quadrado
m³ - Metro cúbico
ml - Mililitro
mm - Milímetro
MPa - Mega Pascal
NBR - Norma Brasileira
PCC - Departamento de Engenharia de Construção Civil da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
PVA - Acetato de polivinila
q_x - Fluxo de calor
R - Resistência térmica
Sindus Con - Sindicato da Indústria da Construção Civil
T - Tempo
TA - Temperatura ambiente

TF - Temperatura fria

TQ - Temperatura quente

TCPO - Tabelas de Composições de Preços para Orçamentos

U - Transmitância Térmica

UFPB – Universidade Federal da Paraíba

W – Watt

α – Difusibilidade Térmica

φ - Atraso térmico

λ - Condutividade térmica

σ - Constante de Stefan – Boltzmann

°C - Celsius

ε - Emissividade

ρ - Massa específica

μm – Micrometro

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
1.1 JUSTIFICATIVA	3
1.2 OBJETIVO GERAL	5
1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	5
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	6
2.1 A HABITAÇÃO POPULAR	6
2.2 CONFORTO TÉRMICO NA ARQUITETURA BIOCLIMÁTICA	8
2.3 TRANSFERÊNCIAS TÉRMICAS APLICADAS ÀS ENVOLTÓRIAS	15
2.4 EFICIÊNCIA TÉRMICA EM PAINÉIS DE VEDAÇÕES ARQUITETÔNICAS	19
2.5 ESTUDO DE PROJETO CORRELATO	21
2.6 SISTEMAS CONSTRUTIVOS (Tradicional x Pré-fabricado)	24
2.6.1 Sistema Construtivo Tradicional	25
2.6.2 Sistema Construtivo Pré-fabricado	25
2.6.3 Sistema Pré-fabricado em Paredes de Concreto	26
2.6.4 Análise da geração de resíduos do Sistema Construtivo Tradicional x Pré-fabricado	27
2.7 CICLO DE VIDA E SUSTENTABILIDADE DO COMPÓSITO CIMENTÍCIO.....	28
2.8 COMPOSIÇÃO DO COMPÓSITO CIMENTÍCIO.....	30
2.8.1 Agregado Graúdo	31
2.8.2 Agregado Miúdo	32
2.8.3 Vermiculita	32
2.8.4 Aglomerante	33
2.8.5 Metacaulinita	34
3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS EXPERIMENTAIS	35
3.1 CARACTERIZAÇÃO DO COMPÓSITO CIMENTÍCIO (Ensaio de traços)	39
3.1.1 Caracterização dos materiais.....	39
3.2 ELABORAÇÃO DOS PROTÓTIPOS	48
3.3 ENSAIOS TÉRMICOS DO COMPÓSITO	51
3.4 ESTUDO BIOCLIMÁTICO PARA O PROJETO DA CASA TROPICAL.....	56
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	57
4.1 EFICIÊNCIA NA CONSTRUÇÃO: TRADICIONAL X PRÉ-FABRICADA	58
4.2 CARACTERIZAÇÃO DO COMPÓSITO CIMENTÍCIO	61
4.3 AVALIAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS TÉRMICAS DO COMPÓSITO CIMENTÍCIO	63
4.4 DESENVOLVIMENTO DO PROJETO ARQUITETÔNICO	72
5. CONCLUSÕES	78
6. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	80
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	82
APÊNDICES	89

1. INTRODUÇÃO

Desde o início da epopéia humana na Terra, todo o desenvolvimento foi construído sobre o consumo inconsequente dos recursos naturais. Nos últimos anos diante dos alarmantes sinais de colapso dos ecossistemas, o termo “sustentabilidade” invadiu a mídia conclamando todos a tomarem consciência e atitudes para reduzir os danos que causamos à natureza, pelo simples desempenho das nossas atividades. Como a maioria destas atividades são abrigadas por edificações, uma parcela dessa responsabilidade recai sobre a arquitetura e a engenharia, que as planejam e as executam, bem como das normativas que limitam e balizam esse processo que pode ser um dos maiores agressores do meio ambiente natural ou do ambiente urbano construído, afetando também o meio social e econômico. Quando se considera o porte, uso e funcionalidade da obra em questão, os danos ambientais podem variar de uma pequena interferência causada pela construção de uma casa popular a eventos de grande impacto, como barragens, aterros, estradas, cidades indústrias, entre outros que, considerando os danos causados durante todo o ciclo de vida dos materiais e das construções, atingem níveis altíssimos de interferências que podem inviabilizar o próprio objetivo da construção.

No âmbito das normativas, o Conselho Nacional do Meio Ambiente define os impactos ambientais na Resolução CONAMA nº 001 de 23 de 1986 nos seguintes termos:

Qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que, direta ou indiretamente afetam:

I - A saúde, a segurança e o bem-estar da população;

II - As atividades sociais e econômicas;

III - A biota;

IV - As condições estéticas e sanitárias do meio ambiente;

V - A qualidade dos recursos ambientais.

Os impactos provocados pela construção civil podem afetar negativamente cada um dos cinco itens descritos na Resolução CONAMA nº 001, desde o bioma até o ser humano e o desempenho das suas atividades econômicas e sociais. As evoluções dos materiais e das tecnologias projetivas e construtivas vêm proporcionando caminhos para o equacionamento e mitigação dos danos ambientais resultantes do processo construtivo e do uso dos edifícios. Os passos iniciais em direção à busca de soluções foram dados nos anos 60, pelas ciências ambientais com ações denominadas ecológicas que preconizavam o zelo pelos valores ambientais, iniciando os debates acadêmicos e políticos sobre os sinais de danos ambientais

significativos surgidos em várias regiões muito afetadas pela ação humana. Como afirma Milani (1999):

Ao redescobrir a noção de finitude dos recursos naturais, a sociedade põe em xeque o comportamento predatório do ser humano no processo de ocupação e de civilização do espaço geográfico. Se, de um lado, esta redescoberta introduz como premissa básica a “sustentabilidade” do comportamento econômico e social do homem, de outro, demanda medidas de controle e de ordenamento do portar-se humano, a fim de evitar crise ecológica e ambiental de dimensões desconhecidas.

A preocupação com a preservação do meio ambiente emergiu no período pós segunda guerra mundial depois da constatação dos prejuízos causados pela destruição dos ambientes naturais e urbanos a partir da Primeira Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento, ocorrida em Estocolmo, na Suécia, em 1972, onde foi apresentado o conceito de eco-desenvolvimento para uma sociedade sustentável que gerasse meios de suprir suas necessidades garantindo a continuidade das gerações posteriores.

Atualmente com a consolidação dos conceitos de sustentabilidade, temos como norma que a correta arquitetura além de bela por essência deve ser sustentável e inclusiva. Como célula inicial do processo construtivo é imprescindível que ela adote todas as técnicas de sustentabilidade quando se compromete com: a melhora do seu desempenho funcional e energético em relação às atividades que vai abrigar, com a adequação estrutural às necessidades do edifício e a suas proporções dimensionais, com coerência visual correspondente ao tipo de uso que respeite o local em que se inserem. Paralelamente a isto, o desenvolvimento da engenharia, das tecnologias e dos materiais, permite agregar, cada vez mais, novos recursos de cunho sustentável aos projetos. Esses conceitos devem, portanto, produzir normas práticas de sistematização das ações projetivas e gestão das construções que sigam a lógica do respeito ao ser humano e ao planeta. Iniciando com o parcelamento e adensamento democrático do solo, baseado no aproveitamento das condições climáticas e ambientais favoráveis. Adotando estratégias de implantação que respeite ou reconstrua as particularidades locais e componentes dos ecossistemas preexistentes. Utilizando técnicas e materiais construtivos de comprovada eficiência sustentável, desde a sua produção até o reaproveitamento correto dos seus resíduos. Promovendo sempre a possibilidade de climatização natural com as técnicas de isolamento térmico, controle da ventilação e insolação. Fazendo uso das fontes produtoras de energia limpa e das tecnologias compatíveis com a eficiência energética de cada caso. Criando áreas verdes distribuídas

proporcionalmente no volume edificado, fechando o círculo de aproveitamento e reuso das águas e dos resíduos orgânicos. Esses procedimentos já disponíveis devem se tornar regra e não casos isolados; porque a devastação total já é um horizonte visível e real.

1.1 JUSTIFICATIVA

Diante do panorama mundial dos prejuízos ambientais provocados pela construção civil, todos os agentes envolvidos no processo construtivo devem tomar como ponto de partida de suas ações a incorporação dos critérios de sustentabilidade aplicados à construção, que são os princípios de eco-eficiência e conforto ambiental, que aliados às questões fundamentais da arquitetura referentes à funcionalidade, estabilidade e estética como definidas por Vitruvius (1º sec.d.C.), “*utilitas, firmitas e venustas*”, podem realmente contribuir para a construção do habitat sustentável e um futuro positivo para a vida humana.

O momento atual da arquitetura e da engenharia já reflete uma real preocupação com o colapso ambiental e o esgotamento das fontes energéticas, buscando soluções através do desenvolvimento de pesquisas em técnicas projetivas, técnicas construtivas, materiais e fontes de energias renováveis, para normatização e certificação da sustentabilidade das construções, Figura 1.

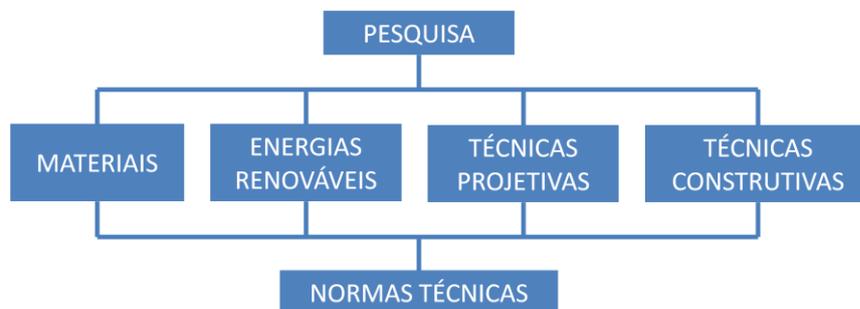


Figura1. Fluxograma das principais áreas de pesquisas da arquitetura e da engenharia para a normatização e certificação das construções.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2017.

No atual contexto de escassez de recursos energéticos, a postura responsável dos estudos recentes apresenta como alternativa uma linha de pensamento arquitetônico definida como arquitetura bioclimática, que se inicia na pesquisa experimental de materiais e modelos construtivos e se consolida na aplicação e construção de projetos arquitetônicos que propõem resultados de eficiência reais para a sustentabilidade do planeta.

Arquitetura bioclimática concebe edificações que proporcionam a continuidade dos ciclos naturais das águas, ar, luz solar, solo e vegetação com o objetivo de reduzir os impactos

ambientais, promovendo a preservação desses elementos da natureza e proporcionando o desenvolvimento do projeto arquitetônico contextualizado com as características do local onde se insere, de modo a potencializar seu desempenho funcional, minimizar o consumo energético e preservar os valores ambientais possibilitando um melhor desempenho das atividades humanas respeitando o meio ambiente (CORBELLA e YANNAS, 2011).

A Figura 2 mostra a comparação dos conceitos da arquitetura convencional com a arquitetura bioclimática, ilustrando os ciclos ambientais e as diferentes respostas oferecidas pela arquitetura, em que o modelo convencional atua como um sistema construtivo fechado aos elementos naturais (chuva, ventos e sol), consumindo energia de fontes não sustentáveis e gerando resíduos poluentes descartados no meio ambiente. A arquitetura bioclimática atua através de sistemas construtivos eficientes abertos e permeáveis aos elementos e forças da natureza, promovendo sua captação e utilização racional bem como a sua transformação em energia sustentável e abastecimento, os resíduos do processo bioclimático são tratados para a reutilização ou devolvidos a natureza dando continuidade aos ciclos naturais.

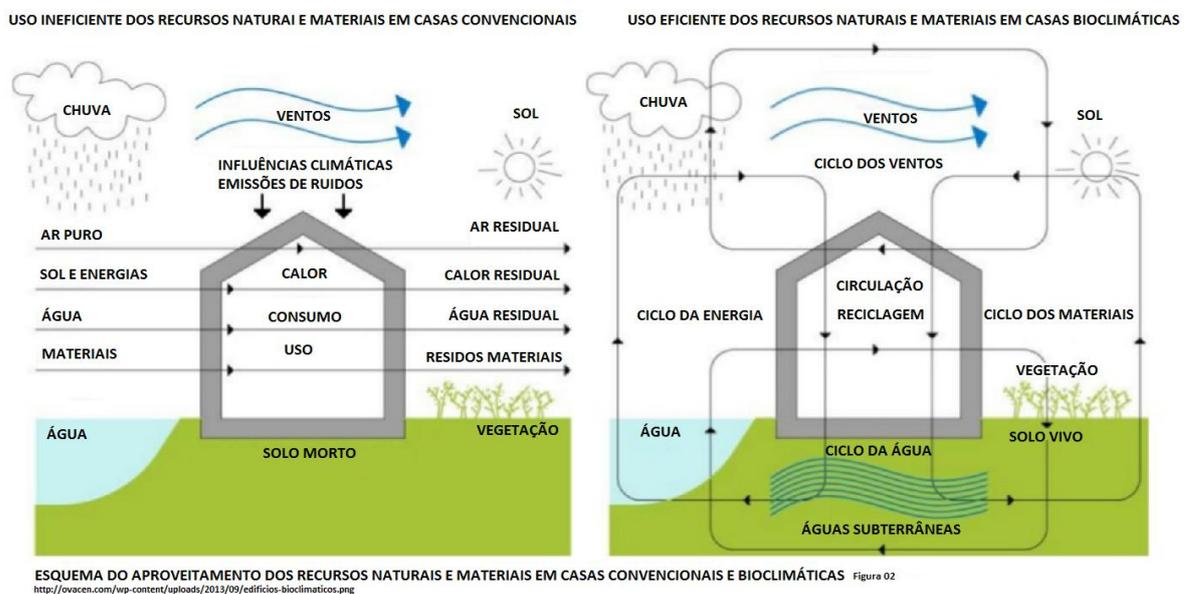


Figura 2. Ilustração comparativa dos conceitos da Arquitetura Convencional e Bioclimática.

Fonte: <http://ovacen.com/wp-contest/upload/2013/09/edificios.bioclimaticos.png> (Acesso em 12/2017)

O avanço das pesquisas e projetos bioclimáticos vem quebrando os paradigmas da arquitetura convencional e estabelecendo posturas sustentáveis que contribuem com a formação de normas e legislações para o aprimoramento dos processos construtivos e da sustentabilidade da construção civil. De acordo com Melo (2004), um dos avanços já consolidado no Brasil é a pré-fabricação que possibilita reduções de prazos, materiais e de desperdícios, passando a uma fase de racionalização, qualificação e planejamento da mão de

obra para atender requisitos de projetos comprometidos com as normativas de certificações ambientais e do PBQP-H - Programa Brasileiro da Qualidade e Produtividade do Habitat.

As atuais normas de desempenho adotadas para edificações brasileiras são: a NBR 15575 (2013) e os selos de certificações ambientais Casa Azul - Caixa Econômica Federal (2008); LEED, Leadership in Energy and Environmental Design (1993); AQUA, Alta Qualidade Ambiental do Empreendimento (2007); BREEAM, Building Research Establishment Environmental Assessment Method (1990); DGNB, Deutsche Gesellschaft Fur Nachhaltiges Bauen (2007) e Procel Edifica, Programa Nacional de Eficiência Energética em Edificações (2003). Todas buscam fornecer subsídios para a aferição dos conceitos gerais da arquitetura bioclimática.

O consumo de energia envolvido no processo da construção civil também passa pelas pesquisas de eficiência energética bioclimáticas associadas às técnicas projetivas de pré-fabricação da construção e suas interações com materiais isolantes em sistemas arquitetônicos de climatização natural, analisando as potencialidades e debilidades de cada material construtivo utilizado, possibilitando a identificação de possíveis complementações e melhoramentos a esse sistema construtivo.

Nesses termos, os conceitos de sustentabilidade e eficiência energética orientaram o presente trabalho avaliativo do desempenho mecânico e térmico de um compósito, constituído por materiais isolantes que reduzem a absorção e transferência de calor nas cobertas e vedações propostas para um projeto de casa popular tropical, estabelecendo os seguintes objetivos:

1.2 OBJETIVO GERAL

Avaliar o desempenho mecânico e térmico de um compósito cimentício leve proposto como envoltório de painéis para vedação e cobertura de uma casa popular tropical pré-fabricada, buscando o melhoramento da sua eficiência térmica nos ambientes internos como opção ao sistema construtivo tradicional de blocos cerâmicos.

1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Pesquisar conceitos da Arquitetura Bioclimática aplicados desempenho térmico de edificações tropicais de acordo com a NBR 15220-3: 2005.

Avaliar aspectos de sustentabilidade dos sistemas construtivos de blocos cerâmicos x pré-fabricado em concreto leve para construção de casas populares.

Testar a compatibilidade e o desempenho mecânico de agregados leves (argila expandida, vermiculita e metacaulinita) na composição de compósito cimentício leve para moldagem de painéis de vedação leves.

Testar as características térmicas de painéis de vedação cimentícios propostos como envoltório para sistema construtivo pré-fabricado.

Analisar possibilidades de aplicação do compósito cimentício proposto em painéis de vedação pré-fabricado para envoltório de projeto para casa popular em regiões tropicais.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 A HABITAÇÃO POPULAR

No Brasil a crise habitacional das populações de baixa renda agravou-se a partir de 1950, quando o processo de industrialização iniciou uma grande demanda de mão de obra nos centros urbanos, gerando o êxodo rural e o conseqüente adensamento das periferias das grandes cidades com construções subnormais edificadas com sobras de materiais descartados, madeira, taipa de pião, e alvenarias de tijolos sem cozimento que foram denominadas de favelas ou mocambos. Os períodos que se sucederam foram caracterizados por tentativas governamentais para solucionar o problema com planos nacionais de habitação descontínuos de financiamentos e construções de moradias mínimas, repetidas e agrupadas indistintamente sem maiores planejamentos arquitetônicos de orientação e locação, resultando quase sempre em segregação social e urbanismos equivocados danosos ao meio ambiente. (AZEVEDO e ANDRADE, 2011).

Atualmente os planos nacionais e estaduais de fomento ao financiamento de habitações populares, têm proporcionado significativo avanço quantitativo e qualitativo nas edificações de interesse social, tendo aberto possibilidades para o aprimoramento dos projetos arquitetônicos através de concursos públicos e atuações da iniciativa privada mais comprometidas com uma arquitetura de boa qualidade sustentável, observando-se grande interesse do público e dos incorporadores pelas melhorias físicas, funcionais e ambientais que atendam aos novos parâmetros de durabilidade, acessibilidade e sustentabilidade dos empreendimentos solicitados pelo mercado, que se mostra progressivamente mais consciente dos valores decorrentes dos edifícios eficientes.

Esse novo paradigma começa a ganhar visibilidade em Estados como São Paulo onde as obras gerenciadas pela Companhia de Desenvolvimento Habitacional e Urbano do Estado de São Paulo (CDHU), apresentam resultados positivos e coerentes com os conceitos de eco eficiência, como afirmam Lisboa e Amado (2010):

O principal enfoque é demonstrar a viabilidade de soluções que estão, antes de tudo, na própria arquitetura. Preconizamos a substituição da busca dos projetos pela “boa arquitetura”, que conjuga as soluções adequadas em termos funcionais com o resultado estético, pela busca da “boa arquitetura sustentável”, que, além dos quesitos anteriores, contém soluções de qualidade e preservação ambiental, redução dos recursos financeiros e melhoria nas condições sociais.

Em concordância com a argumentação de Lisboa e Amado (2010) o tema da habitação popular ressurge sob a ótica da sustentabilidade incorporando os avanços das tecnologias dos materiais e das construções. Essa nova fase da arquitetura e urbanismo voltados para a eficiência energética e ambiental tem adotado propostas arquitetônicas comprometidas com o tema da habitação popular, em que a economia de recursos e a utilização de processos construtivos compatíveis com as carências econômicas e sociais de um grande contingente da população brasileira exigem o desenvolvimento de projetos específicos que avancem com soluções sustentáveis e economicamente viáveis.

O conceito de “casa mínima” está ligado às transformações pelas quais vem passando a sociedade ao longo de sua história. No geral, esse conceito explica a habitação como um bem fundamental, constituída dos espaços estritamente necessários ao atendimento das funções básicas do ser humano, se propondo a atender às necessidades econômicas, sociais e psicológicas do indivíduo e do grupo familiar. (ANDRADE, 1996).

No referente às necessidades individuais, as populações de baixa renda mostram-se mais propensas a preferir a habitação unifamiliar em lotes privativos, com possibilidades de ampliações, jardim e livre do ônus condominial, uma vez que a renda familiar é insuficiente para a cobertura dessa despesa, mesmo porque, esses serviços condominiais podem ser facilmente executados pela própria família (ANDRADE, 1996).

Em contrapartida a essa afirmação os agentes governamentais apresentam necessidades econômicas atreladas às linhas de financiamentos oficiais que exigem soluções multifamiliares com maiores índices de aproveitamento para atender a crescente demanda por habitação com um menor consumo do solo e da infraestrutura urbana.

Esses dois conceitos aparentemente antagônicos podem alcançar êxito num planejamento habitacional equilibrado e sensível às demandas populares traduzidas em projetos integrados aos anseios pelo espaço individual ou coletivo, com possibilidade de convívio com áreas verdes projetadas sob o conceito da arquitetura bioclimática em um urbanismo sustentável que respeite as características do lugar.

As linhas de financiamento atuais, como o projeto “Minha Casa Minha Vida”, apresentam viabilidade para as duas opções de moradia (unifamiliar e multifamiliar), quando abre o processo de construção à incorporação privada, mais sensível às solicitações do público no mercado imobiliário atual, no qual os conceitos de sustentabilidade já agregam valor e despertam interesses de compradores e construtores. Nesse contexto também ganha espaço os processos de construções pré-fabricados, que utilizam painéis de materiais únicos como madeira e concreto em substituição aos processos construtivos tradicionais em alvenaria de tijolos, permitindo maior rapidez sem desperdícios de materiais e de recursos, reduzindo os prazos de entrega com ganhos ambientais.

2.2 CONFORTO TÉRMICO NA ARQUITETURA BIOCLIMÁTICA

Uma das premissas da arquitetura bioclimática como atividade propositiva é a de proporcionar conforto térmico aos seus usuários com o uso coerente das características climáticas locais, através de estratégias projetivas que tragam respostas concretas às necessidades de adequação térmica das edificações, reduzindo o consumo de energia com iluminação e, equipamentos de condicionamento de ar. Estas ações projetivas visam o tratamento da arquitetura com a adequação das aberturas para captação da iluminação solar e da ventilação dominante, fazendo esse controle com a adoção de elementos de proteção que favoreçam o sombreamento das aberturas e fachadas externas. (FROTA e SCHIFFER, 2001).

Considerando os indicadores climáticos para o estudo do conforto térmico, onde temperatura, umidade, velocidade do ar e radiação solar em interação com o ciclo das águas a partir das chuvas e da permeabilidade do solo, que permite a infiltração subterrânea e o ciclo da vegetação com a absorção e evaporação da umidade provocada pela água retida, fica claro que esses ciclos atuam em conjunto para estabelecer as condicionantes do clima e as ações projetivas que podem ser adequadas no contexto de cada projeto para a obtenção dos índices térmicos propícios ao estado do conforto do ser humano (BARDOU e ARZOUMANIAN, 1980).

Segundo Frota e Schiffer (2001), as exigências humanas de conforto térmico estão relacionadas com o funcionamento de seu organismo, cujo mecanismo, complexo, pode ser comparado a uma máquina térmica que produz calor segundo sua atividade. O homem precisa liberar calor em quantidade suficiente para que sua temperatura interna se mantenha da ordem de 37°C - homeotermia. Quando as trocas de calor entre o corpo humano e o ambiente ocorrem sem maior esforço, a sensação do indivíduo é de conforto térmico e sua capacidade de trabalho, desse ponto de vista, é máxima.

Os parâmetros oficiais de conforto brasileiros são recentes, eles foram definidos e normatizados pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) a partir do ano de 2005 até 2015, quando foram estabelecidos a totalidade dos critérios de desempenho lumínico e térmico para as edificações e seus ambientes nas NBR: 15215-1, 15215-2, 15215-3, 15215-4, 15220-1, 15220-2, 15220-3, 15220-4, 15220-5 e 15575.

Diante das necessidades elencadas na abordagem da arquitetura bioclimática aplicadas ao tema da arquitetura de interesse social brasileiro foi definido que:

As normas de iluminação natural utilizadas nesta pesquisa são:

- NBR15215-1: 2005 - Iluminação Natural - Parte 1: Conceitos básicos e definições.
- NBR15215-2: 2005 - Iluminação Natural - Parte 2: Procedimentos de cálculo para a estimativa da disponibilidade de luz natural.
- NBR15215-3: 2005 - Iluminação Natural - Parte 3: Procedimento de cálculo para determinação da iluminação natural em ambientes internos.
- NBR15215-4: 2005 - Iluminação Natural - Parte 4: Verificação experimental das condições de iluminação interna de edificações.

As normas de desempenho térmico em edificações utilizadas nesta pesquisa são:

- NBR15220-1: 2005 - Desempenho térmico de edificações - Parte 1: Define símbolos, unidades e conceitos.
- NBR15220-2: 2005 - Desempenho térmico de edificações - Parte 2: Métodos de cálculos da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes da edificação.
- NBR15220-3: 2005 - Desempenho térmico de edificações - Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações de interesse social.

- NBR15220-4: 2005 - Desempenho térmico de edificações - Parte 4: Medição da resistência térmica e da condutividade térmica pelo princípio da placa quente protegida. Método de medição para laboratórios das propriedades térmicas dos materiais construtivos.
- NBR15220-5: 2005 - Desempenho térmico de edificações - Parte 5: Medição da resistência térmica e da condutividade térmica pelo método fluximétrico.
- NBR 15575: 2013 - Avaliação de desempenho térmico.

Procedimento para verificação do conforto térmico em casas de interesse social utilizados nessa pesquisa:

Procedimento simplificado: Verificação do atendimento aos requisitos e critérios estabelecidos na parte 4 (Sistemas de vedação – Paredes Externas) e parte 5 (Sistemas de Cobertura) da NBR 15575: 2013.

PROCEDIMENTOS INFORMATIVOS (ANEXO A da NBR 15575-1):

Procedimento 2 – SIMULAÇÃO: Verificação do atendimento aos requisitos e critérios por meio de simulação computacional do desempenho térmico

Parâmetros de Desempenho:

Transmitância Térmica – U ($W/m^2.K$)

Capacidade Térmica – CT ($kJ/m^2.K$)

REQUISITO: Desempenho mínimo para cada Zona Climática (NBR 15220-3: 2005)

MÉTODO DE AVALIAÇÃO: Cálculos de acordo com o disposto na NBR 15220-2: 2005.

Conforme a NBR15220-3: 2005, o projeto arquitetônico para casa popular segue as diretrizes do Zoneamento Bioclimático brasileiro da Z8 da Figura 3 e as diretrizes apontadas no item 8 da Tabela 1.

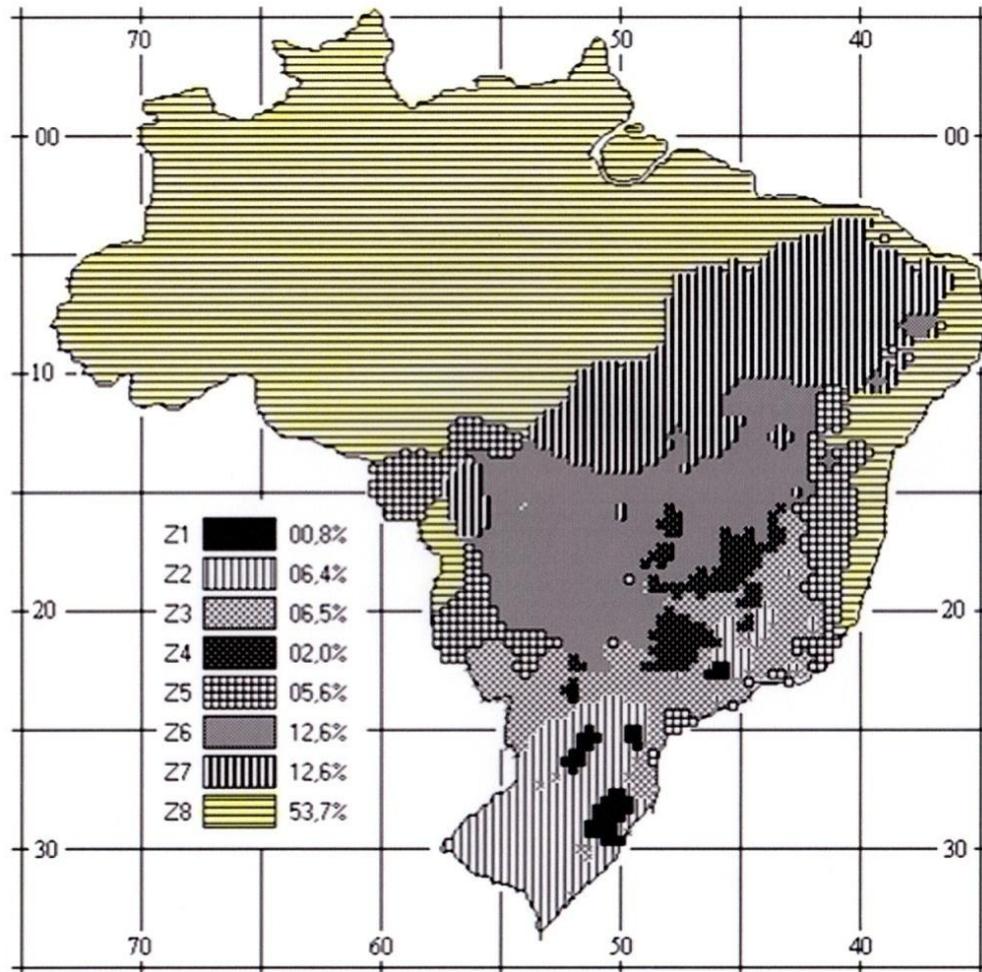


Figura 3. Zoneamento Bioclimático do Brasil.

Fonte: NBR15220-3,2005.

Tabela 1. Diretrizes construtivas para habitações de interesse social.

ZB	Ex. Cidade	Paredes	Cobertura	Aberturas	Estratégias	
					Verão	Inverno
1	Curitiba	Parede leve	Leve isolada	Médias $15\% < A < 25\%$		a) Aquecimento solar da edificação b) Vedações internas pesadas
2	Santa Maria-RS	Parede leve	Leve isolada	Médias	a) Ventilação cruzada	a) Aquecimento solar da edificação b) Vedações internas pesadas
3	São Paulo Florianópolis Belo Horizonte	Parede leve refletora	Leve isolada	Médias	a) Ventilação cruzada	a) Aquecimento solar da edificação b) Vedações internas pesadas
4	Brasília	Parede pesada	Leve isolada	Médias	a) Resfriamento evaporativo e Massa Térmica para resfriamento b) Ventilação seletiva	a) Aquecimento solar da edificação b) Vedações internas pesadas
5	Santos	Parede leve refletora	Leve isolada	Médias	a) Ventilação cruzada	a) Vedações internas pesadas
6	Campo Grande	Parede pesada	Leve isolada	Médias	a) Resfriamento evaporativo e Massa Térmica para resfriamento b) Ventilação seletiva	a) Vedações internas pesadas
7	Cuiabá	Parede pesada	Pesada	Pequenas $10\% < A < 15\%$	a) Resfriamento evaporativo e Massa Térmica para resfriamento b) Ventilação seletiva	
8	Rio de Janeiro Salvador Fortaleza	Parede leve refletora	Leve refletora	Grandes $A > 40\%$	a) Ventilação cruzada permanente	

Variáveis consideradas: Transmissão térmica – U: $W/m^2.K$ / Capacidade térmica - CT: $kJ/m^2.K$ / Atraso térmico - ϕ : Horas / Fator solar - FS_o : %

Fonte: NBR15220-3, 2005

A habitação deve reunir características que atendam às exigências de conforto térmico dos usuários, considerando-se a região de implantação da obra e as respectivas definições ambientais do zoneamento bioclimático da NBR 15220-3, 2005. Nestes termos foram adotadas as seguintes recomendações apontadas no item 8 da Tabela 1 para a proposta arquitetônica dessa pesquisa:

Paredes devem ser leves, composta de materiais porosos e apresentar superfícies refletoras (cores claras).

Aberturas devem ser grandes com áreas maiores que 40% da superfície fechada.

Ventilação cruzada deve ser permanente em todos os ambientes, permitindo a renovação do ar interno pela captação e exaustão natural da ventilação dominante.

Estas normas são coerentes com os conceitos da Arquitetura Bioclimática e podem ser contextualizadas com os postulados de Holanda (2010) no Roteiro para construir no Nordeste: Arquitetura como lugar ameno nos trópicos ensolarados.

Segundo Holanda (2010), o “Construir Frondoso” traduz os melhores princípios de climatização natural para o nosso clima tropical em seis conceitos projetivos que habilitam a arquitetura bioclimática no Nordeste brasileiro.

Criar uma sombra

Por uma sombra alta, com desafogo e espaço e muito ar para respirar. Começamos por uma cobertura decidida, capaz de ser valorizada pela luz e de incorporar sua própria sombra como elemento expressivo. As coberturas podem ser ventiladas pela disposição de seus elementos, criando-se colchões de ar renovado, ou por aberturas protegidas, como lanternins, claraboias ou chaminés. (HOLANDA, 2010)



Figura 4. Ilustra a captação da ventilação e iluminação natural.
Fonte: HOLANDA, 2010.

Recuar as paredes

Lancemos as paredes sob esta sombra, recuadas, protegidas do sol e do calor, das chuvas e da umidade, criando agradáveis áreas externas de convivência:

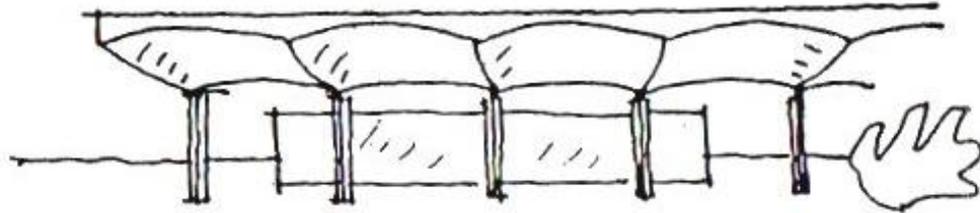


Figura 5. Ilustra a proteção térmica pelo sombreamento.
Fonte: HOLANDA, 2010.

Proteger as janelas

Retomemos a lição de Le Corbusier e protejamos as aberturas externas com proteções e quebra-sóis para que, abrigadas e sombreadas, possam permanecer abertas.

Proteções que, além de sombrearem as fachadas, permitam a renovação do ar dos ambientes, mesmo durante chuvas pesadas.

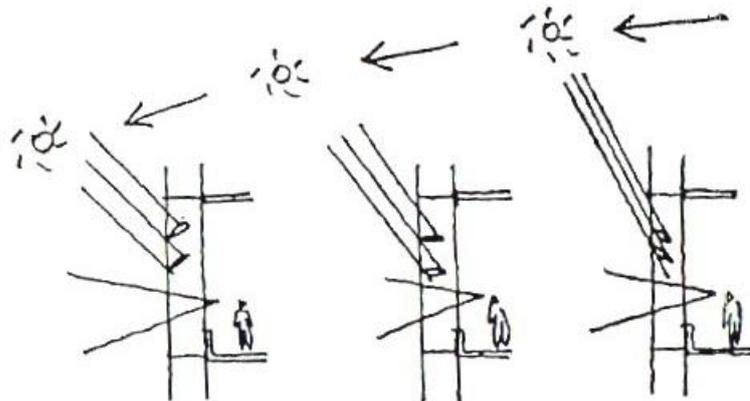


Figura 6. Ilustra proteção das aberturas com ventilação e iluminação natural.
Fonte: HOLANDA, 2010.

Abrir as portas

Portas protegidas e sombreadas que possam permanecer abertas. Desenhemos portas externas vazadas, capazes de garantir a necessária privacidade e admitir ar e luz, bem como portas internas versáteis, que protejam os ambientes e permitam a tiragem de ar.

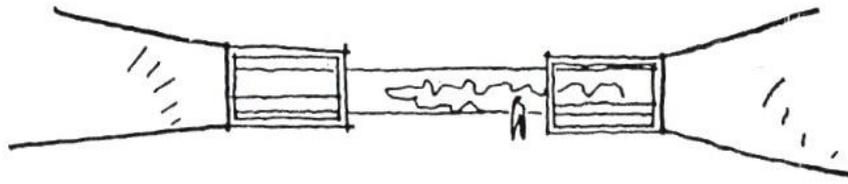


Figura 7. Ilustra a integração dos ambientes.
Fonte: HOLANDA, 2010.

Continuar espaços

Combinemos as paredes compactas com os panos vazados para que filtrem a luz e deixem a brisa penetrar. Tiremos partido das imensas possibilidades construtivas e plásticas do elemento vazado de parede - o cobogó -, que pode assumir uma ampla gama de configurações entre filigranas e marcado jogo de relevos.

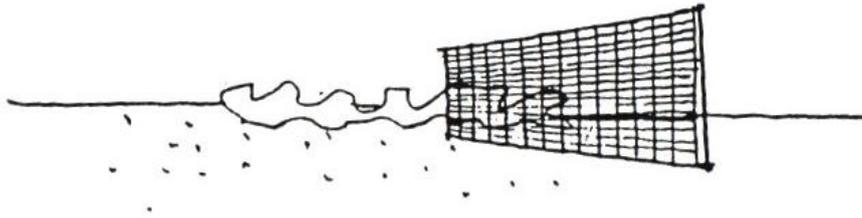


Figura 8. Ilustra continuidade espacial / ventilação e iluminação.
Fonte: HOLANDA, 2010.

Vazar muros

Deixemos o espaço fluir, fazendo-o livre, contínuo e desafogado. Separemos apenas os locais onde a privacidade ou a atividade neles realizada estritamente o recomendem.

Identifiquemos os casos em que as paredes devam isolar completamente os ambientes, para não perdermos a oportunidade de lançá-las livres, soltas do teto.

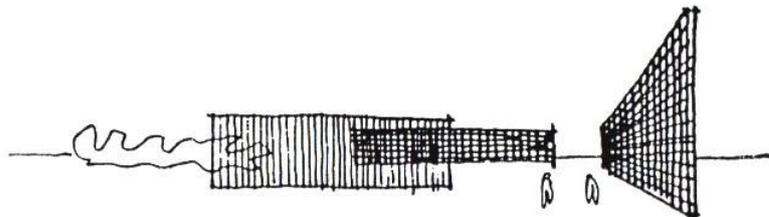


Figura 9. Ilustra a captação da ventilação e iluminação natural.
Fonte: HOLANDA, 2010.

Conviver com a natureza

Estabeçamos com a natureza tropical um entendimento sensível, de forma a podermos nela intervir com equilíbrio.

Não permitamos que a paisagem natural que já foi contínua e grandiosa continue a ser amesquinhada e destruída.

Utilizemos generosamente o sombreamento vegetal, fazendo com que as árvores dos jardins, das vias, dos estacionamentos, das praças e dos parques se articulem e prolonguem pelas praias e pelos campos.

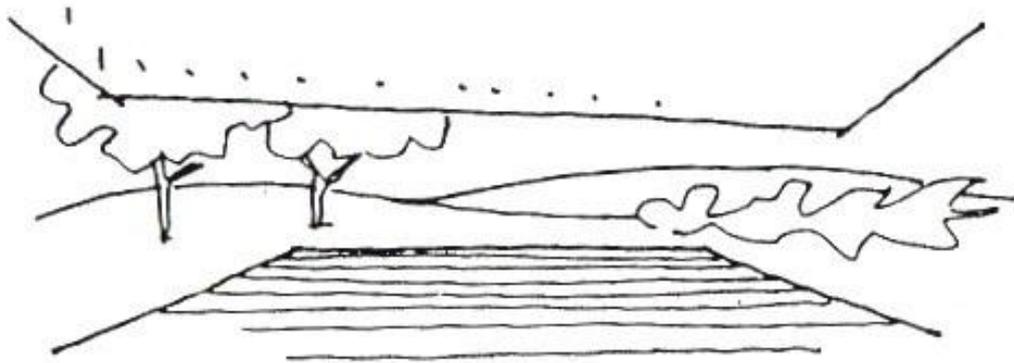


Figura 10. Ilustra a captação da ventilação e iluminação natural.
Fonte: HOLANDA, 2010.

2.3 TRANSFERÊNCIAS TÉRMICAS APLICADAS ÀS ENVOLTÓRIAS

A climatização natural na arquitetura bioclimática é obtida através de determinadas estratégias projetivas e a utilização de materiais com propriedades térmicas compatíveis com o clima de cada local que recebe o projeto arquitetônico. Assim para a utilização correta de uma técnica projetiva bioclimática é necessário conhecer a capacidade de troca térmica do material em análise entendendo os conceitos físicos da transferência de calor.

De acordo com as 2ª lei da termodinâmica, Frota e Schiffer (2001) apresenta que ao aproximamos corpos com temperaturas distintas, ocorre uma movimentação térmica ou uma transformação do estado de agregação molecular destes corpos. Portanto quando um corpo quente é aproximado de um corpo frio perde calor esfriando enquanto o corpo frio ganha calor esquentando, essa quantidade de calor transferido é denominado calor sensível. Quando o aquecimento ou resfriamento provoca a desagregação molecular de um corpo modificando seu estado físico líquido, sólido ou gasoso, observa-se que essa quantidade de calor denominada de calor latente permanece constante até a total mudança de estado do corpo.

Considera-se também que a transferência de calor pode ser transitória quando as temperaturas e propriedades do processo variam, ou permanente quando as temperaturas e propriedades não se modificam durante todo o processo térmico. Esses fenômenos físicos de troca térmica ocorrem através de processos distintos denominados radiação, condução e convecção (FROTA e SCHIFFER, 2001).

A transferência térmica por radiação não ocorre através de contato de meios físicos, mas por propagação de ondas eletromagnéticas geradas por um corpo fonte de calor e transferidas na velocidade da luz através do espaço para outro corpo de menor temperatura (FROTA e SCHIFFER, 2001). Esse processo é descrito pelo seguinte modelo desenvolvido por Stefan (1879), modelo empírico e Boltzmann (1884), modelo teórico:

Para um corpo irradiador perfeito (Corpo Negro).

$$q = \sigma AT^4 \quad (2.1)$$

Onde: σ - constante de Stefan – Boltzmann ($5,669.10^{-8} \text{W/m}^2 \text{K}^4$),

A - Área perpendicular ao fluxo de calor,

T - Temperatura absoluta do corpo emissor K

Para um corpo real (Corpo Cinza).

$$4q = \epsilon \sigma AT \quad (2.2)$$

Onde ϵ é a emissividade ≤ 1

A transferência térmica por condução necessita de continuidade física do meio material ou do contato entre as superfícies do corpo que emite calor com a do que recebe. Esse processo ocorre nos sólidos, líquidos e gases estáveis de variações desse conceito, devido à energia cinética das moléculas de cada corpo ao serem aquecidas vibrarem e colidirem com as vizinhas transferindo elétrons livres e calor do corpo de maior temperatura para o de menor (FROTA e SCHIFFER, 2001). Esse fenômeno é definido pela equação de Fourier (1830):

$$q_x = -KA \frac{dT}{dx} \quad (2.3)$$

Sendo

q_x - fluxo de calor,

A- área perpendicular ao fluxo de calor;

d_x - distância, na direção x do fluxo de calor, dT -variação de temperatura,

K- condutividade do material.

A transferência térmica por convecção é um processo que acontece exclusivamente no meio líquido e gasoso, onde a diferença de gradiente térmico na camada do fluido em contato com uma fonte de calor eleva a porção aquecida e rebaixa a resfriada em movimentação contínua de aquecimento e resfriamento até o seu equilíbrio térmico (FROTA e SCHIFFER, 2001). Esse processo é descrito pela Lei de resfriamento de Newton (1701):

$$q = hA (T_s - T_\infty) \quad (2.4)$$

No estudo do conforto ambiental da arquitetura bioclimática o conhecimento do processo de transferência térmica em um material é de fundamental importância para a sua utilização nos elementos de vedações e anteparos, nestes casos a sistematização das suas propriedades térmicas possibilitam testar e melhorar a sua eficiência para a climatização arquitetônica pretendida. Assim, no trabalho de pesquisa foram sintetizadas as seguintes anotações teóricas que embasaram a caracterização térmica do material compósito estudado para o desenvolvimento do sistema construtivo pré-fabricado.

Difusibilidade é velocidade de transferência do calor através do corpo que sofre variação térmica, ou seja, permite conhecer a capacidade do material em difundir ou reter a variação de temperatura que o material recebe ao ser aquecido ou resfriado. (ABNT 2005). A difusibilidade térmica α é determinada pela seguinte fórmula:

$$\alpha = \frac{K}{\rho C} \quad (2.5)$$

Sendo K - condutividade térmica, ρ - massa específica e c- calor específico.

Onde a condutividade térmica é definida a partir da equação de Fourier abaixo:

$$k = - \frac{q}{A \frac{\partial T}{\partial x}} \quad (2.6)$$

Condutividade térmica é a propriedade de um material puro facilitar ou inibir a transferência de um fluxo de calor fixo ($1\text{W}/\text{m}^2$) em uma oscilação de temperatura uniforme ($1\text{K}/\text{m}^2$) durante um espaço de tempo (ABNT 2005).

A taxa de condutividade térmica é obtida pela seguinte equação:

$$\frac{Q}{t} = \frac{KA\Delta T}{d} \quad (2.7)$$

Q- Calor transmitido, t- Tempo de transferência do calor, K-constante de condutividade térmica do material, A- Área transversal do material aquecido, ΔT -diferença da temperatura entre a face quente e a face fria do material, d-distância entre as faces do material. Unidade Joules/segundo = Watts

Capacidade térmica é a propriedade de um material armazenar calor (Gomes 2015), sua grandeza expressa a quantidade do fluxo de calor necessário para a variação de sua temperatura que é expressa pelas seguintes equações:

$$C = \frac{Q}{\Delta\theta} \quad (2.8)$$

C- Capacidade térmica, Q - quantidade de calor recebida pelo material, ΔT - Variação de temperatura imprimida ao material.

$$C = m \cdot c \quad (2.9)$$

C-capacidade térmica, m-massa do material, c- Calor específico do material.

Atraso térmico homogêneo é o espaço de tempo entre a variação da temperatura da face aquecida de um único material e a alteração térmica na sua face oposta. (ABNT 2005).

$$\varphi = 0,7284\sqrt{R_t \cdot C_T} \quad (2.10)$$

φ - Atraso térmico, R_t - resistência térmica de face a face do componente ($\text{m}^2\text{K}/\text{W}$), C_T capacidade térmica do componente ($\text{kJ}/\text{m}^2\text{K}$).

Inércia térmica é a capacidade dos materiais construtivos de reter e dissipar gradualmente o calor que recebe (ABNT 2005), sua grandeza é resultante da seguinte equação:

$$I = \sqrt{\lambda \cdot \rho \cdot c} \quad (2.11)$$

I- Inércia térmica ($J/m^2 \cdot S^{1/2} \cdot K$), λ - condutividade térmica ($W/m \cdot K$), ρ -densidade, c - calor específico ($kJ/kg \cdot K$)

Resistência térmica superficial externa é a resistência térmica do ar que envolve a superfície externa de um material que transfere calor por radiação ou convecção (ABNT, 2005).

Resistência térmica superficial interna é a resistência térmica do ar que envolve a superfície interna de um material que transfere calor por radiação ou convecção (ABNT, 2005).

Resistência térmica total é o resultado da soma das resistências térmicas das camadas de um material submetido a uma variação térmica (ABNT, 2005).

Amplitude térmica é a diferença entre a temperatura máxima e a mínima em um ciclo de vinte e quatro horas (ABNT, 2005).

2.4 EFICIÊNCIA TÉRMICA EM PAINÉIS DE VEDAÇÕES ARQUITETÔNICAS

De acordo com Lamberts et al. (2010), as vedações verticais das edificações são painéis que preenchem os espaços entre os elementos estruturais com o objetivo de delimitar os ambientes internos e o seu perímetro externo, oferecendo segurança e resistências às intempéries e aos distúrbios ambientais, para o correto funcionamento das atividades abrigadas. Esse conceito é ampliado na arquitetura bioclimática onde os objetivos de conforto térmico, lumínico e acústico transcendem a simples escolha de materiais compatíveis com a proteção necessária às características do clima local, sendo incorporados às exigências de sustentabilidade do processo construtivo empregado. Assim as relações de consumo

energético, conservação e danos ao meio ambiente influem na adoção dos materiais e técnicas construtivas para promover as vedações das edificações bioclimáticas requisitando eficiência ambiental e térmica dos seus elementos em relação ao ganho e perda de calor nos ambientes.

O processo de transferência térmica por incidência solar em um painel de vedação recai sobre vários fatores como: a composição do material, cor, camadas, espessura, orientação da exposição solar e do regime da ventilação dominante no local. Os materiais porosos (argilas expandidas, compósitos de polímeros termoplásticos, vermiculita, etc.), que incorporam vazios na sua constituição oferecem maior resistência à transferência de calor devido a sua descontinuidade física e as células de ar que incorpora.

As cores também apresentam influência na transferência de calor devido ao seu grau de refletância, onde as cores claras refletem maior quantidade de radiação solar, enquanto as cores escuras absorvem mais calor. As vedações que apresentam camadas de materiais ou vazios na sua estrutura oferecem maior resistência às transferências térmicas que variam de acordo com as suas espessuras.

A correta orientação e proteção das edificações em relação à insolação e ventilação incidentes nas suas vedações permitem o seu condicionamento térmico natural através do controle das transferências térmicas nos seus ambientes na medida em que as vedações e aberturas sejam protegidas ou expostas à insolação e ventilação (RIVERO, 1986)

No cálculo da eficiência térmica de uma vedação arquitetônica projetada para um clima tropical com elevada temperatura diurna e baixa temperatura noturna, procura-se retardar o aquecimento das vedações, evitando que o ambiente interno absorva calor excessivo durante o dia e mantenha-se ameno durante a noite. Esse controle das transferências térmicas pode ser obtido através de técnicas projetivas adaptadas ao clima local e da especificação adequada dos materiais e componentes construtivos da edificação (LAMBERTS et al.,2010).

O estudo desses parâmetros térmicos de transferência de calor é fundamental para a arquitetura bioclimática proporcionando eficiência e economia energética. Segundo Incropera e DeWitt (2014), o cálculo de transferência de calor é definido pela seguinte equação:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \alpha_i \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} \quad (2.11)$$

Onde: $0 < x < L$ e $t > 0$

α_i é a difusividade térmica (m^2/s) do material i

T é a temperatura ($^{\circ}C$)

t é o tempo

Com base nos conceitos físicos vários estudos de pesquisas recentes testaram materiais alternativos para a fabricação de vedações para o condicionamento térmico arquitetônico, como as pesquisas exitosas de Bezerra (2002) e Gomes (2015), realizadas no Laboratório de Ensaio de Materiais e Estruturas- LABEME – UFPB, testando na câmara térmica amostras de paredes que utilizaram compósitos leve obtidos pela substituição do tradicional agregado granítico por partículas de EPS (Poliestireno Expandido), fibras e resíduos de EVA (Espuma vinílica acetinada) constataram sua eficiência mecânica e térmica frente a materiais usuais como blocos cerâmicos e de concreto. Trabalhos semelhantes também foram desenvolvidos por Pfeiffer (2004), Lakshmikantham et al (2017) também ensaiaram painéis sanduíches de compósitos leve com EPS, com resultados patenteados comprovando a viabilidade construtiva de pré-fabricados com concreto leve.

A eficiência térmica dos compósitos leves foi atribuída ao uso de materiais porosos para substituição dos agregados ou adicionados às misturas.

2.5 ESTUDO DE PROJETO CORRELATO

O estudo de projetos correlatos proporciona o desenvolvimento de novas ideias a partir de uma análise sistemática de casos semelhantes que agregam valores comuns aos anseios do projeto a ser desenvolvido.

De acordo com Kowaltowski et al. (2011), a sistematização dos dados levantados para análise dos projetos correlatos é feita pelo critério da aproximação e evolução da leitura projetual, envolvendo as seguintes informações: dados do autor, objetivo, contexto físico, programa de necessidades, conceito, partido arquitetônico, acessibilidade, conforto sustentabilidade, sistema construtivo e materiais de acabamento. Como resultados das análises foram formuladas diretrizes projetivas para o desenvolvimento projeto arquitetônico pretendido.

Considerando a temática e os objetivos propostos na pesquisa, foi escolhido para análise um projeto de casa popular, caracterizado na ficha técnica abaixo, que foi vencedor (1º

lugar) do concurso público nacional para habitações de interesse social que foi promovido pela Companhia de Desenvolvimento Habitacional e Urbano do Estado de São Paulo - CDHU e organizado pelo Instituto dos Arquitetos do Brasil - IAB/ SP:

Ficha técnica: Habitação Unifamiliar Térrea;

- Arquiteto Autores: Saulo Feliciano, Gustavo dos Santos Corêa Tenca, Giuliano Augusto Pelaio, Inácio Cordona e Érica Cristina Rodrigues de Souza;
- Local: São Paulo - SP;
- Data do projeto: 2010;
- Área do Lote: 84,00 m²;
- Área construída: 55,30 m² (02 quartos) e 63,30 m² (três quartos);
- Contexto da obra: Projeto vencedor do concurso Habitação para tipologias de habitação de Interesse Social Sustentável;
- Programa de necessidades: Habitação com dois e três quartos, sala de estar/ refeições, cozinha e área de serviço.

O projeto busca uma solução lógica e racional para um projeto bioclimático, capaz de demonstrar que a qualidade de uma habitação não deve corresponder ao padrão econômico de uma determinada classe social, mas sim aos conhecimentos técnicos do seu momento histórico, rompendo um paradigma antigo e dominante de que as casas populares devem ser marcadas pela simplicidade de suas construções.

A metodologia proposta para análise projetiva da casa considerou os seguintes pontos:

- Levantamento dos dados, Anteprojeto, Projeto, e Detalhamento;
- Circulação e Fluxos: Acesso central no sentido longitudinal do lote, distribuição de acessos secundários no sentido transversal do lote;
- Funcionalidade, e Acessibilidade: Ambientes contínuos. Ausência de desníveis e circulações;
- Sustentabilidade: Iluminação e ventilação natural;
- Estrutura/Sistema construtivo: Tradicional; - Cobertura: Telhas planas e laje plana com impermeabilização e teto / jardim;

- Hierarquia espacial: Volume central correspondente a Sala de Estar /Refeições apresenta pé direito mais alto, marcando a fachada com a elevação da caixa d'água e uso de cores;
- Aberturas e Fechamentos: Direcionados para a ventilação favorável;
- Materiais de acabamento: Pisos – Cerâmico; Paredes - Reboco e Pintura; Teto- Pintura ;
- Análise dos aspectos positivos e negativos do projeto

Idealizar uma casa compacta que possa dar mais liberdade aos moradores, com espaços livres dentro de suas dependências, sem deixar de lado a qualidade visual e volumétrica das mesmas (FELICIANO et al., 2010); Figuras 11, (a), (b), (c) e (d).

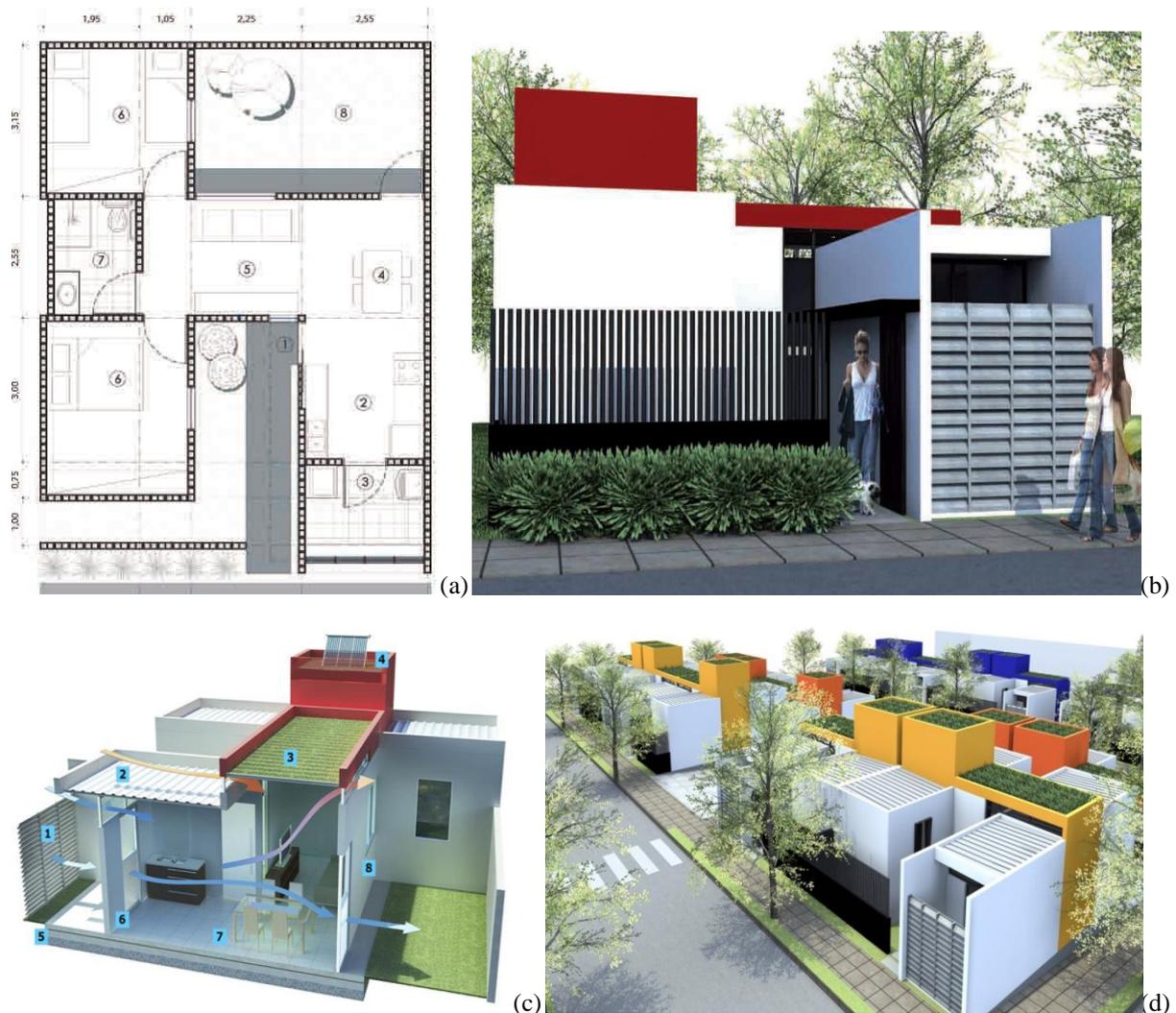


Figura 11. Projeto correlato. (a) planta baixa, (b) fachada, (c) corte esquemático, (d) implantação geral.
Fonte: FELICIANO et al., 2010.

Considerando as conclusões da análise do projeto correlato e os objetivos da pesquisa, foram adotadas as seguintes diretrizes para o desenvolvimento do projeto de casa popular tropical proposto.

- Adotar sistema modular de encaixes para facilitar a construção pré-fabricada no canteiro;
- Criar diferentes alturas de tetos com aberturas para promover a ventilação cruzada;
- Utilizar vedações e esquadrias vazadas e protegidas para potencializar a climatização natural em períodos de verão e inverno;
- Eliminar circulações entre os ambientes internos para facilitar a ventilação cruzada.

2.6 SISTEMAS CONSTRUTIVOS (Tradicional x Pré-fabricado)

A partir da revolução industrial a construção civil assume caracterização de indústria e vem se desenvolvendo em ritmo acelerado absorvendo todos os avanços tecnológicos dos materiais e tecnologias associadas aos processos construtivos. Esse crescimento empresarial iniciado na Europa passa aos Estados Unidos e após a segunda guerra mundial passa aos demais países industrializados num grande esforço reconstutivo que consolidou vários processos de construção pré-fabricada. No Brasil, esse desenvolvimento avançou lentamente até os dias atuais, tem-se uma grande variabilidade tecnológica; em um mesmo cenário coexistem processos construtivos dos mais tradicionais com seu histórico de geração de resíduos e desperdícios, aos mais modernos que investem na racionalização que reduz resíduo e custos finais. Considerando-se o déficit habitacional brasileiro de casas populares e as estratégias governamentais para combatê-lo, temos dois requisitos principais a serem atendidos, a rapidez de execução e custos baixos, esses requisitos colocados perante os métodos construtivos tradicionais e pré-fabricados, suscitam dúvidas quanto ao método mais apropriado. A resposta a essa questão foi obtida pela pesquisado fator da redução de resíduos a partir da caracterização dos dois sistemas construtivos com os principais materiais utilizados segundo a ABNT NBR 15575-2: 2013 e ABNT NBR 14859: 2016, onde se considera o aporte do total dos materiais frente ao volume de perdas durante o processo construtivo como indicador de eficiência dos sistemas estudados.

2.6.1 Sistema Construtivo Tradicional.

Como sistema construtivo tradicional para casas populares no Brasil é a construção de alvenaria simples com fundações de tijolos, baldrame de concreto, contrapiso, paredes de alvenarias de tijolos cerâmicos, cintas de concreto, lajes de blocos cerâmicos recoberta com concreto e cobertura de telhas de cerâmica (BAPTISTA, 2005). Nessa pesquisa, os materiais de acabamento e fechamento como portas, janelas, pisos, revestimentos de paredes, louças sanitárias, bancada/ pia de cozinha, tanque lava roupas, materiais hidrossanitários e elétricos, foram analisados como componentes individuais equivalentes para os dois sistemas construtivos estudados (Figura12)

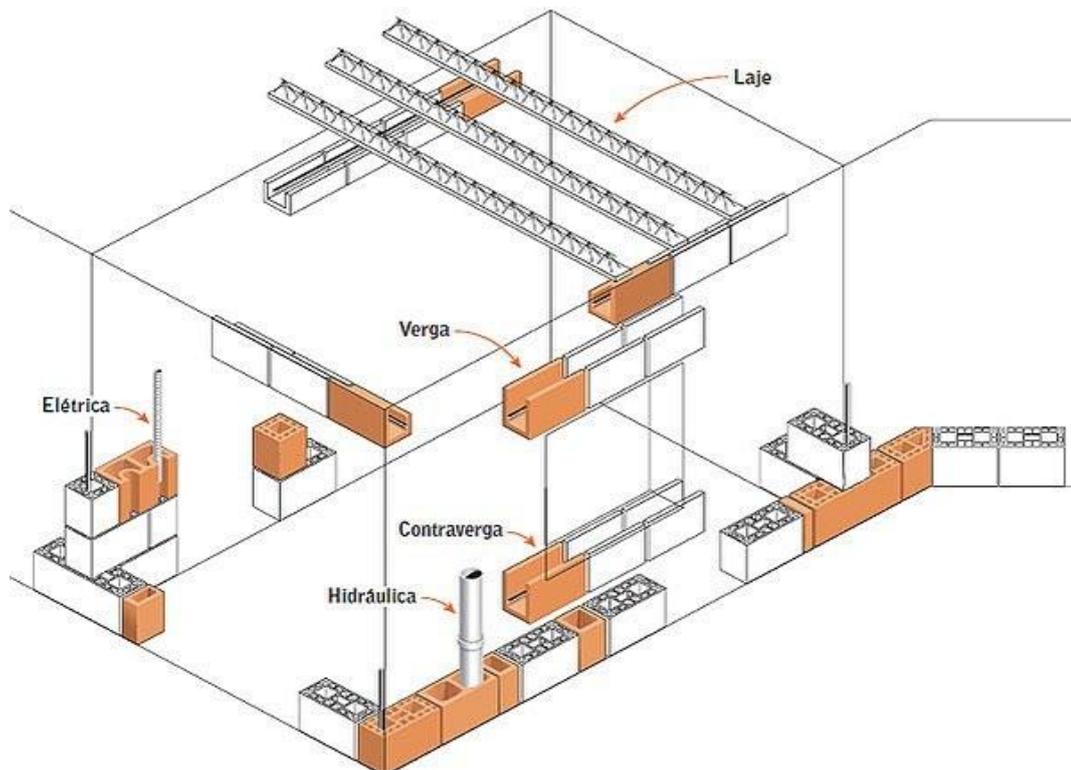


Figura 12. Sistema construtivo tradicional de blocos cerâmicos.
Fonte: <http://www.fabrilar.com.br/ola-mundo-2/>, (Acesso em 06/2018).

2.6.2 Sistema Construtivo Pré-fabricado.

Os componentes de um sistema construtivo pré-fabricado abrangem não só os elementos estruturais ou de vedações, mas todas as peças complementares para as instalações elétricas, hidráulicas, esquadrias, portas, janelas etc. A concepção de todo o sistema é

previamente planejada para cumprir seu objetivo construtivo e industrial, onde a objetividade e a simplicidade das soluções facilitem todas as etapas do processo, organizando a sequência da industrialização dos componentes e a sua montagem no canteiro de obras. Esse planejamento exige uma divisão lógica da edificação em subsistemas construtivos para estudos detalhados dos componentes individualizados que atuam como fundações, estruturas, vedações, instalações, esquadrias e coberta. Essa setorização do processo construtivo inicia-se no projeto arquitetônico, percorre todas as etapas da pré-fabricação dos componentes de cada subsistema até a sua montagem no canteiro de obras (MATEUS, 2004).

O conjunto ordenado dos subsistemas construtivos industrializados de uma edificação pode ser entendido como um material único pré-fabricado, que substitui a elaboração de várias etapas de obra com o seu tradicional consumo desordenado, desperdício de materiais e de energia. Essa metodologia associada a programas de treinamento e gerenciamento da mão de obra especializada na montagem total de todo o conjunto de subsistemas consegue excelentes índices de eficiência energética e de prazos, devido a sistematização e objetividade do processo (PEREIRA, 2005).

O desenvolvimento de vários sistemas construtivos industrializados vem gerando cada vez mais interesse do mercado da construção civil brasileiro pela possibilidade de controle da produtividade, da qualidade construtiva e da sustentabilidade do processo. De acordo com Grevene Baldauf (2007) a industrialização da construção é o caminho para se atender as crescentes demandas por controle de qualidade do produto, prazo de entrega e contribuições sustentáveis ao meio ambiente.

2.6.3 Sistema Pré-fabricado em Paredes de Concreto.

A industrialização do processo construtivo atua em diversos níveis de complexidade empregando tecnologias variadas que se adequam às diversas realidades econômicas e necessidades do público alvo. A pré-fabricação dos componentes pode ser feita em indústrias especializadas e transportadas para a obra ou ocorrer no canteiro de obras o que reduz custos de transporte. Para o tema de habitações de interesse social a redução do custo final do produto aponta a moldagem de elementos construtivos na obra como um dos métodos de pré-fabricação mais apropriados à realidade brasileira. Essa opção proposta na Figura 13 utiliza formas unitárias para receber o concreto já com as instalações adequadas para serem erguidas

após a cura como um elemento único de vedação e estrutura (MISURELLI e MASSUDA, 2009).

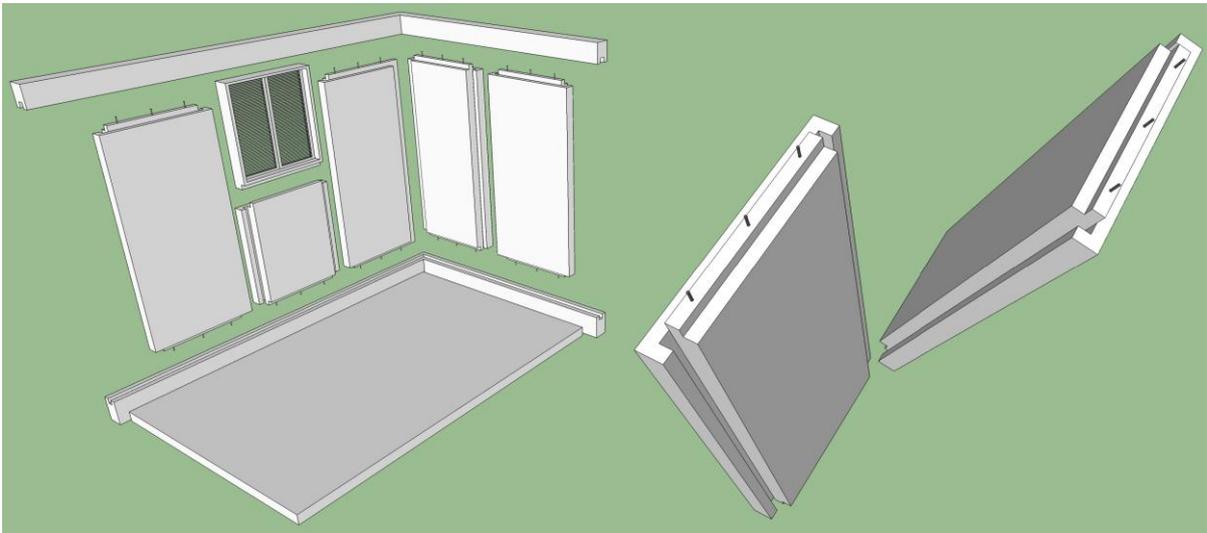


Figura 13. Esquema construtivo pré-fabricado.
Fonte: Elaborada pelo autor. 2016.

A usinagem de painéis in loco é uma tecnologia que simplifica a industrialização da construção em empreitadas construtivas de baixo custo e grande produtividade evitando equipamentos e mão de obra específicas que possam limitar e encarecer a proposta (FARIA, 2017). A adaptabilidade desse sistema de construção pré-fabricada a programas de mutirões construtivos, também possibilita competitividade dessa forma de pré-fabricação frente a tradicional construção em alvenaria de tijolos cerâmicos com vantagens de tempo de execução, redução de desperdícios e geração de resíduos, evitando a informalidade e adaptações artesanais que possam comprometer a qualidade do produto final (MELO, 2004).

A sistematização do processo construtivo pautado na eficiência da execução e do resultado é um dos principais objetivos do sistema de painéis pré-fabricados onde a organização da mão de obra é essencial para a fluência da construção, exigindo treinamento prévio dos operários para a usinagem e aparelhagem das instalações necessárias em cada módulo desde a sua concretagem até o desmolde e assentamento. Segundo Karpinski et al. (2009) a eficiência do processo construtivo pré-fabricado gera uma redução de 80% nos custos referentes ao desperdício em termos comparativos ao sistema convencional de alvenarias de blocos cerâmicos.

2.6.4 Análise de Geração de Resíduos do Sistema Construtivo Tradicional x Pré-fabricado

A simplificação e racionalização dos processos construtivos são os objetivos dos sistemas estudados tendo em vista que toda construção gera resíduos. Assim o cálculo das perdas exige uma prévia definição de uma referência para se uniformizar os números citados na bibliografia, já que vários estudos adotam diferentes referências e unidades para representar o consumo mínimo necessário (AGOPYAN et al., 1998). Considerando também que o desperdício físico de materiais depende, para sua definição, de uma avaliação custo-benefício quanto às perdas detectadas. Considera-se desperdício físico aquela parcela, das perdas totais, economicamente viáveis de ser evitada.

Considerando o déficit habitacional brasileiro, a construção de casas populares é uma das prioridades para a amenização dos problemas sociais atuais. Programas governamentais como “Minha Casa Minha Vida” em parceria com as linhas de financiamentos oferecidas pelos bancos oficiais, exigem garantias e normatizações dos produtos residenciais executados por empresas e pequenos construtores. Nesse contexto o sistema de construção pré-fabricado apresenta maior eficiência quanto à normatização, quanto ao desperdício e consequente geração de resíduos nas obras, mas ainda apresenta reservas no custo benefício devido à carência de uma mão de obra especializada e a variação de preços do cimento que é consumido em maior quantidade para moldagem dos painéis pré-fabricados. Em contrapartida o sistema de construção tradicional ainda é o mais em usual devido a sua difusão cultural nas populações de baixa renda a que são dirigidos os programas de construção de casas populares (AZEVEDO e ANDRADE, 2011).

Segundo Agopyan et al. (1998), a adoção de projetos mais contextualizados aos usuários locais e custos reduzidos decorrentes da normatização dos processos construtivos pré-fabricados, empregados em grandes empreendimentos fomentados por governos estaduais, através de concursos públicos de projetos para a construção em grande escala, vem conquistando uma considerável parcela do mercado de casas populares.

Esse panorama nacional da construção de interesse social está evoluindo para um melhoramento dos processos tradicionais e consolidação da construção pré-fabricada no Brasil.

2.7 CICLO DE VIDA E SUSTENTABILIDADE DO COMPÓSITO CIMENTÍCIO

A Análise de Ciclo de Vida dos materiais selecionados para essa pesquisa adota o método de avaliação dos resíduos gerados no processo de fabricação e usinagem do concreto

leve e dos impactos ao meio ambiente provocados durante todas as etapas da sua utilização, incluindo as possibilidades de reciclagem ou descarte final. O estudo das etapas do ciclo de vida dos materiais empregados na construção civil contribui para a redução dos danos ambientais e dos custos finais dos edifícios.

A análise dos sistemas construtivos definidos nessa pesquisa (tradicional e pré-fabricado) quanto à geração de resíduos e suas implicações na eficiência dos processos apontam o concreto leve proposto para a construção da casa popular tropical, como o mais sustentável diante das etapas construtivas resumidas na figura 14.

O sistema construtivo tradicional utiliza uma maior variedade de materiais se considerados em unidades, aumentando as possibilidades de geração de resíduos e desperdícios. Outro fator decisivo é a dificuldade de reciclagem dos componentes que geralmente implica na demolição.

O sistema pré-fabricado se mostra como melhor alternativa à sustentabilidade do processo construtivo pelo reduzido uso de materiais no canteiro de obras e pela organização que reduz a geração de resíduos e possibilita a reciclagem dos materiais em todas as etapas construtivas além da desmontagem e remontagem da construção. Assim, apresenta-se como uma melhor alternativa a ser considerada, na produção de casas populares com menor impacto ambiental.

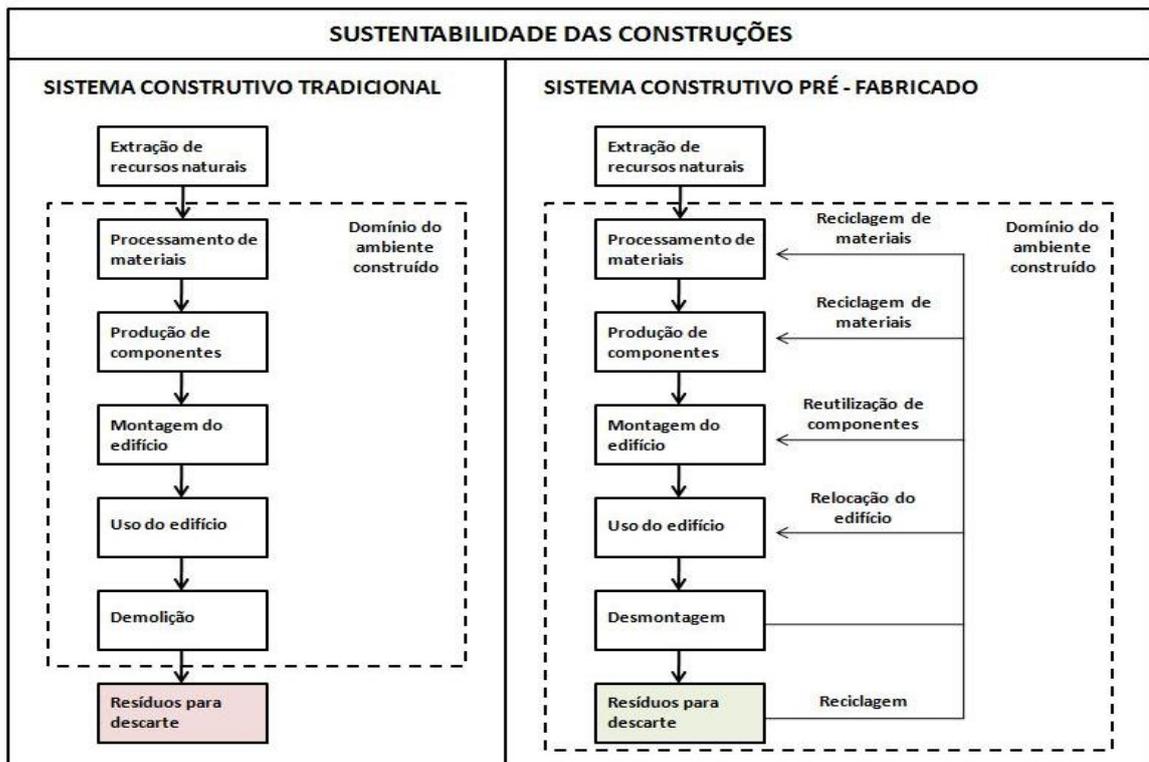


Figura 14. Fluxograma de sustentabilidade dos sistemas construtivos, Tradicional e Pré-fabricado.
Fonte: Elaborada pelo autor, 2016

2.8 COMPOSIÇÃO DO COMPÓSITO CIMENTÍCIO

O concreto é um material compósito, tradicionalmente constituído por uma mistura de agregado miúdo ou fino (areia), agregado graúdo (brita de pedra), água e agregante (cimento). A caracterização dos materiais componentes e a dosagem (traço) desses elementos que determinam suas características são normatizadas pelo Comitê Brasileiro de Cimento, Concreto e Agregado - ABNT/CB-018, que atua no campo de cimento, concretos e agregados estabelecendo dosagem de concreto, pastas e argamassas; aditivos, adesivos, águas e elastômeros, no concernente a tecnologias, requisitos, métodos de ensaio e generalidades.

A caracterização do concreto leve é normatizada pela ABNT na NBR 12644: 2014, obtida através da substituição de agregados e adições de materiais que reduzam sua massa específica a valores entre 300 kg/m^3 e 2000 kg/m^3 , produzindo vazios intersticiais aerados com propriedades de isolamento térmico, conservando sua resistência e coesão. De acordo com (NEVILLE, 1997) pode se obter diferentes tipos de concreto leve produzindo-se vazios nas partículas do agregado miúdo/grauído e na pasta do cimento. De acordo com esse conceito são definidos os seguintes tipos de concreto leve:

Concreto Leve Aerado ou celular: obtido através da adição de produtos que provocam o surgimento de bolhas de ar na pasta, gerando espaços vazios que contribuem para a redução de sua massa específica.

Concreto com Agregados Leves: obtido através da substituição parcial ou total dos agregados graúdos por materiais mais leves, compatíveis com a elaboração do concreto, gerando redução da massa específica.

Concreto sem finos: Obtido sem a presença do agregado fino em que o aglomerante envolve o agregado graúdo gerando vazios de preenchimento que também reduzem a sua massa específica.

Segundo o ACI 213R-87, o concreto leve definido nessa pesquisa como material adequado ao sistema construtivo pré-fabricado deve ter características estruturais como resistência à compressão entre 17 MPa e 17,5 MPa com massa específica inferior a 1850 Kg/m^3 em um período de secagem de 28 dias (ACI, 1999).

Tomando como referência a NBR NM 35: 1995 que estabelece uma relação entre resistência à compressão e massa específica pra concretos leves estruturais, conforme a Tabela 2:

Tabela 2. Valores de resistência à compressão e massa específica de concretos leves estruturais (NBR NM 35: 1995) Resistência à compressão (MPa aos 28 dias).

Resistência à compressão (MPa aos 28 dias)	Massa específica aparente (kg/m ³)
≥28	≥1840
≥21	≥1760
≥17	≥1680

Fonte: NBR NM 35, 1995.

2.8.1 Agregado Graúdo

A Argila Expandida Cinexpan é um agregado com as seguintes especificações técnicas anotadas nas Tabelas 3 e 4. É um produto leve e isolante térmico constituído de uma crosta rígida e de alta resistência, com o interior formado por uma massa cerâmica porosa. O processo de fabricação é realizado em forno rotativo a uma temperatura de 1.100 °C.

Tabela 3. Especificações técnicas da Argila Expandida Cinexpan 2215.

Especificações técnicas - Cinexpan 2215	
Densidade aparente	500 kg/m ³ - com variação de +/- 10%
Resistência mecânica	150 kg/cm ²
Consistência	Agregado nodulizado de argila
Inércia química	Absolutamente inerte
Densidade	1,0 t/m ³
Isolamento térmico	$\lambda = 0,25$ kcal/mh°C
Isolamento acústico	44 DB

Fonte: CINEXPAN, 2010.

Tabela 4. Granulometria e especificações técnicas da Argila Expandida Cinexpan 2215.

Classes granulométricas nominais - Cinexpan 2215					
Classes granulométricas Nominais	3222	2215	1506	0500	LAM. 2,5
Resistência compressão (Mpa)	6	8	12	20	<2
Massa volumétrica seca (kg/m ³)	450	500	600	850	750
Classes granulométricas (mm)	22 - 32	15 - 22	6 - 15	0 - 5	0 - 25
Condutibilidade térm. (kcal/(hm°C))	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11
Absorção água por imersão (% 24h)	10	10	7	6	101
Resistência ao fogo	Incombustível: classe MO				
Massa específica (kg/dm ³)	0,56	0,64	1,11	1,4	1,51
Variações/ ambientes seco/úmido	Material não higroscópico				

Fonte: CINEXPAN, 2010.

O aspecto exterior do agregado é semi esférico com granulometria 15/22 equivalente a brita 01 com densidade aparente 500 kg/m^3 . Conforme ilustrado na Figuras15.



Figuras15. Argila Expandida Cinexpan.
Fonte: CINEXPAN, 2010.

2.8.2 Agregado Miúdo

A areia média natural, de fácil aquisição no mercado local. Figura 16 selecionada como agregado miúdo segundo NBR 7211, 2009.



Figura 16. Agregado Miúdo - Areia.
Fonte: <http://www.cimentoitambe.com.br/areia-natural-ou-artificial/> (Acesso 08/2017).

2.8.3 Vermiculita

É um minério argiloso derivado da mica, biotita, flogopita, diopsídio, hornblenda e serpentito. É inerte em temperaturas até 350°C , funciona como redutor de peso em estruturas

de concreto e como isolante térmico e acústico devido a suas propriedades de baixo peso específico e baixa condutividade térmica. O seu processo de fabricação envolve a moagem, peneiramento, flotagem e secagem em temperaturas entre 800°C e 1100°C e peneiramento para seleção das granulometrias comerciais. Figura 17.



Figura 17. Vermiculita.

Fonte: [HTTP://ntcbrasil.com.br/wp-content/uploads/2014/12/vermiculita-expandida-1.jpg](http://ntcbrasil.com.br/wp-content/uploads/2014/12/vermiculita-expandida-1.jpg) (Acesso 08/2017).

A Tabela 5 abaixo reúne as informações de composição e especificações da vermiculita Maia Macedo.

Tabela 5. Composição e especificações técnicas da vermiculita.

Composição e especificações técnicas da vermiculita	
Fórmula Química	$(Mg,Ca)0.7(Mg,Fe,Al)6.0[(Al,Si)8^{20}](OH)4.8H_2O$
Composição	14,39% MgO, 43,48% Al ₂ O ₃ , 12,82% FeO, 11,92 % SiO ₂ , 17,87% H ₂ O
Cristalografia	Monoclínico
Propriedades Ópticas	Biaxial negativo
Classe	Prismática
Hábito	Micáceo
Clivagem	Perfeita {001}
Dureza	1,5 - 2
Densidade relativa	2 - 3
Fratura	Ausente
Brilho	Sedosos a perláceo
Cor	Branco, amarelo, marrom
Associação	Associado a coríndon, apatita, biotita, flogopita, clorita
Propriedades diagnósticas	Hábito, apresenta exfoliação, brilho, cor, absorve líquidos
Ocorrência	Ocorre em contato de rochas intrusivas ácidas, básicas e ultrabásicas. Formado pela alteração de biotita, flogopita e clorita.
Usos	Isolante acústico e térmico em argamassas e concretos leves

Fonte: www.maiamacedo.com.br (Acesso em 06/2017)

2.8.4 Aglomerante

O cimento aglomerante escolhido foi o CPV ARI parametrizado conforme a NBR 5733: 1991, com propriedades indicadas para a confecção de pré-moldados, com alta

resistência inicial, podendo chegar a 30 MPa de resistência à compressão em apenas um dia de concretagem. A resistência desse tipo de cimento continua aumentando até o 28º dia, possibilitando maior rendimento ao concreto, permitindo uma desforma rápida dos elementos pré-fabricados e uma superfície polida apropriada para concretos aparentes. Figura18.



Figura 18. Aglomerante - Cimento Portland CP V ARI.
Fonte: NACIONAL e Acervo pessoal, 2017.

2.8.5 Metacaulinita

A metacaulinita é um material extraído de argilas pozolânicas utilizado como aditivo ou substituição parcial de cimento Portland que possibilita a obtenção de argamassas e concretos de alto desempenho com propriedades, superiores aos produtos sem adição. Vários são os materiais utilizados para este fim, dentre os quais se destacam a sílica ativa, a cinza volante e as argilas calcinadas com as seguintes características e especificações anotadas na Tabela 6 a seguir. Atualmente no Brasil a metacaulinita vem sendo bastante utilizada como aditivo potencializador do concreto de alto desempenho. Figura 19.

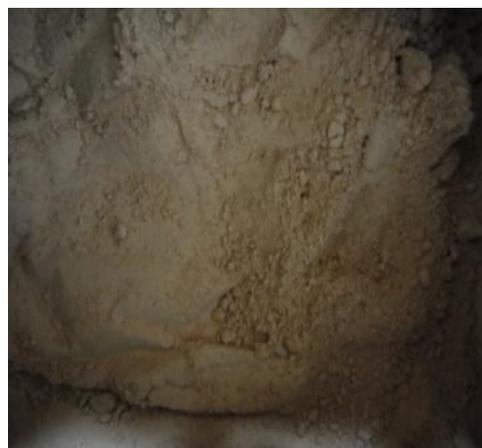


Figura 19. Metacaulinita
Fonte: Acervo pessoal, 2017.

Tabela 6. Composição e especificações técnicas da metacaulinita

Fórmula Química	$Al_2Si_2O_5(OH)_4$
Composição	Silicato de alumínio hidratado, com 39,5% Al_2O_3 - 46,5% SiO_2 - 14,0% H_2O . O grupo da caulinita também é conhecido como grupo dos canditos e é constituído por: <i>caulinita</i> , <i>dickita</i> , <i>anauxita</i> - $Al_2Si_3O_7(OH)_4$, <i>nacrita</i> , <i>halloysita</i> - $Al_2Si_2O_5(OH)_4 \cdot 2H_2O$, <i>meta-halloysita</i>
Cristalografia	Pseudo hexagonal
Propriedades Ópticas	Prismática
Classe	Biaxial negativo
Hábito	Micáceo
Clivagem	Perfeita em {001}
Dureza	2 - 2,5
Densidade relativa	2,6 - 2,63
Fratura	
Brilho	Terroso
Cor	Geralmente branco, variando conforme grau de impureza
Associação	Geralmente associada a minerais aluminosos, solos e produtos de alteração
Propriedades diagnósticas	Pode ser reconhecida através de ensaios químicos
Ocorrência	Alteração de feldspatos, feldspatóides e outros silicatos, durante o intemperismo químico e também hidrotermal. Pode formar-se também por processos diagenéticos em bacias sedimentares. Portanto pode ser formado a expensas de muitos minerais e rochas e em quantidades consideráveis
Usos	É matéria prima-básica da indústria cerâmica, para a fabricação da porcelana, louça sanitária etc., em mistura com outros produtos minerais; é também empregada na preparação de pigmentos à base de anilina, veículo inerte para inseticidas, abrasivos suaves, agregante na indústria têxtil, carga na fabricação de papel, carga e revestimento de linóleos e oleados, em sabões e pós dentífricos, carga para gesso para parede, constituinte do cimento Portland branco, em tintas, e outros.

Fonte: Soleminas, 2017.

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS EXPERIMENTAIS

A metodologia que foi utilizada na pesquisa abrangeu a aplicação de conceitos da arquitetura bioclimática definidos na NBR 15220-3: 2005 para conforto térmico de habitações de interesse social, através da caracterização de um compósito cimentício aplicado a um sistema construtivo pré-fabricado proposto como opção para um envoltório edificado de menor impacto ambiental e maior eficiência energética ao sistema tradicional de blocos cerâmicos. Os experimentos realizados para definição do compósito e suas interfaces projetivas, construtivas e ambientais, proporcionaram análises comparativas do desempenho mecânico e térmico de protótipos de vedações externas, associando conceitos de redução e compensação da carga térmica em edificações de pequeno porte.

Iniciando pela pesquisa bibliográfica para estabelecer as bases conceituais da casa popular e as dinâmicas de cada sistema construtivo estudado, passou-se para a sistematização dos dados levantados na pesquisa de Agopyan et al. (1998) sobre perdas ou desperdícios na

construção, através da formatação de matrizes comparativas que esclareceram as diferenças conceituais e os paralelos existentes entre eles favorecendo a escolha do sistema pré-fabricado para testes dos materiais construtivos adotados quanto à sua resistência termomecânica e sua aplicação em um modelo de casa tropical. A elaboração do projeto de arquitetura como conclusão da dissertação de acordo com os resultados identificados nos modelos de análise que foram discutidas, a luz da literatura pesquisada, apontando as potencialidades e debilidades de cada sistema, objetivando uma proposta de casa popular tropical, que venha a auxiliar possíveis estudos de normatizações futuras.

A caracterização metodológica para o estudo comparativo dos sistemas construtivo tradicional e pré-fabricado, considerando a eficiência da prática construtiva e a geração de resíduos, na construção de casas populares no Brasil abordando o sistema construtivo convencional e pré-fabricado de concreto, foi desenvolvida através de revisão bibliográfica nas seguintes etapas:

Pesquisa bibliográfica e das normas técnicas para conceituação dos sistemas de construção abordados. Nesta etapa foram pesquisados os seguintes títulos e normas: Sustentabilidade e Inovação na Casa Popular - Governo do Estado de São Paulo, Secretaria de Habitação SP, 2010; Casas Pré-fabricadas de Patrícia Geise Provance, 2010; Habitação da Fundação da Casa Popular ao Banco Nacional de Habitação de Sérgio Azevedo e Luiz A. G. de Andrade, 2011, ABNT NBR 15575: 2013 Edificações Habitacionais e ABNT NBR 14859: 2016 Lajes Pré-fabricadas.

Pesquisa de normas técnicas e publicações científicas em artigos e em meio digital sobre a geração e gestão de resíduos na construção civil para estabelecer as bases conceituais para caracterização dos detritos nas dinâmicas dos sistemas construtivos estudados. As principais publicações pesquisadas foram: ABNT NBR 10004: 2004 - Classificação de Resíduos sólidos; Gestão Diferenciada de Resíduos na Construção Civil – Uma abordagem ambiental de Karpinsk, L. A, 2009; Diagnóstico ambiental da gestão e destinação dos resíduos da construção e demolição (RCD) análise das construtoras associadas ao Sinduscon/RN e empresas coletoras atuantes no município de Parnamirim - RN, dissertação (Mestrado) - UFRN de Alcimar L. dos Santos, 2009; Gestão ambiental de resíduos da construção civil: a experiência do Sinduscon - SP, Tarcísio de P. Pinto (coordenador), Sinduscon - SP, 2005.

Caracterização do estudo comparativo do sistema construtivo pré-fabricado e tradicional, através de análise de trabalhos e artigos científicos que apresentam resultados quantitativos compatíveis com o tema estudado. Nesta etapa foi selecionado o trabalho mais

abrangente que reuniu pesquisas de todas as regiões brasileiras: Alternativas para a redução do desperdício de materiais nos canteiros de obras. Relatório Final – VOLUMES 1 a 5 dos Professores Vahan Agopyan, Ubiraci Espinelli Lemes de Souza, José Carlos Paliari do Departamento de Engenharia de Construção Civil da Escola Politécnica da USP.

Sistematização dos dados levantados através de matrizes comparativas, que esclareceram as diferenças conceituais e os paralelos existentes entre resíduos dos sistemas pesquisados, proporcionando a qualificação e a quantificação dos aspectos avaliados.

As etapas de levantamento e sistematização dos dados foram realizadas entre setembro e outubro de 2016. A diagnose dos resultados obtidos para a escolha do sistema construtivo foi concluída em novembro de 2016. Nesta última fase os resultados regionais para cada tipo de resíduo foram submetidos a testes de gráficos comparativos entre os dois sistemas construtivos, tradicional e pré-fabricado, identificando o pré-fabricado em concreto leve o como o de maior eficiência relativa aos materiais e dados levantados na pesquisa.

Após a caracterização do sistema construtivo, foram especificados e caracterizados todos os materiais componentes do sistema pré-fabricado adotado para a realização de ensaios de traços peso e resistência do compósito cimentício proposto. Os ensaios foram realizados no LABEME - Laboratório de Ensaio de Materiais e Estruturas do Departamento de Engenharia Civil e Ambiental DECA do Centro de Tecnologia, CT, da Universidade Federal da Paraíba. Estes procedimentos seguiram as seguintes normas: NBR 12644:2014; NBR NM 35: 1995; sendo testados três traços experimentais a partir de um traço piloto do concreto tradicional estabelecido para moldagem de corpos de prova em três séries para cada traço caracterizado. Seguindo-se uma primeira fase de testes com desmoldagem em 3 dias após a concretagem, sendo realizadas a pesagem e o rompimento por compressão aos 28 dias.

Estabelecidas a resistência adequada do concreto leve qualificado nos ensaios anteriores, foram feitos os testes das características térmicas para resistência a transferência de calor deste compósito. Para esse fim foram realizadas medições iniciais de transferência de calor pelo método do Fio Quente segundo Carslaw e Jaeger (1986), realizadas no Laboratório de Transferência de Calor e Massa do Departamento de Engenharia Mecânica do Centro de Tecnologia CT da Universidade Federal da Paraíba. Este ensaio foi realizado com três séries de três corpos de prova cilíndricos de diâmetro 10 cm e altura 20cm moldados, com os três traços experimentais definidos nos testes de resistência, onde foram inseridos um fio resistência central e termopares do tipo T conectados a resistência central e a superfície de cada corpo de prova. Quando ligada à corrente elétrica à resistência central através de um regulador de tensão ajustável (Varivolt STP 500 1,5 KW) para geração e controle de calor

constante no centro do corpo de prova, foi feita a aferição das temperaturas por multímetros (Instrutherm MDB 450 e 400) conectados nos termopares do fio quente e da superfície do corpo de prova, obtendo-se valores das variações de temperaturas no tempo e a condutividade térmica da amostra seguindo a equação de transferência térmica em coordenadas cilíndricas com uma dimensão descrita a seguir:

$$k = \frac{q \ln\left(\frac{t_2}{t_1}\right)}{4\pi(T_2 - T_1)} \quad (3.1)$$

Sendo t_1 e t_2 os tempos onde as temperaturas T_1 e T_2 são medidas respectivamente no centro e na superfície do corpo de prova.

Na sequência foram moldadas três séries de placas de 30 cm. x 30 cm para os traços 1, 2 e 3 do compósito, concreto leve proposto que foram submetidas a testes de condutividade térmica segundo a ABNT NBR 150220-5:2005 no Condutivímetro K 30 do LABEME – UFPB, sendo obtidos dados de condutividade e resistência térmica compatíveis com os obtidos pelo método do Fio Quente.

Diante dos indicativos dos testes anteriores foram feitos moldagens, com o compósito já caracterizado, de três paredes protótipos nas dimensões 0,60 m x 1,20 m x 0,12 m para ensaios na câmara térmica do LABEME.

O procedimento foi realizado com o objetivo de simular a transferência de calor incidente em um protótipo de parede pré-fabricada para um ambiente interno de uma edificação, através desse equipamento conformado por uma edificação (3,00m x 2,90m x 2,60m) termicamente isolada e dividida internamente em dois ambientes (1,30 m x 2,70 m) contendo no primeiro ambiente o sistema de aquisição de dados (DAQ) Quantum X Universal ligados a termopares que captam a variação térmica do ambiente interno e da superfície interna da parede teste colocada em uma abertura da parede divisória para o segundo ambiente que contém os equipamentos de aquecimento (caixa metálica com 12 lâmpadas de 150 w) e o de resfriamento (ar-condicionado de 15.000 BTU).

Estes equipamentos de aquecimento e resfriamento são ativados separadamente em dois ciclos de oito horas para simular respectivamente o período de aquecimento (dia) e resfriamento (noite), onde as temperaturas do ambiente externo e da face externa da parede

teste também foram captadas por quatro termopares conectados ao sistema de aquisição de dados.

As variações das temperaturas internas/ externas foram coletadas simultaneamente a cada segundo e traduzidas em gráficos que identificaram os picos de temperatura em cada ambiente e a consequente diferença térmica que indica o potencial de isolamento do compósito testado. Esse ensaio utilizou os resultados de calibração e ajuste da câmara térmica publicados em pesquisas anteriores realizadas no LABEME (Pimentel, 2005 e Gomes, 2015).

Confirmadas as propriedades do compósito proposto para aumentar a eficiência do sistema construtivo pré-fabricado, seguiram-se as aplicações das estratégias projetivas bioclimáticas fundamentadas nas normas da ABNT NBR 15220-3: 2005 e NBR15575: 2013 para o desenvolvimento do anteprojeto arquitetônico da habitação, que foi concebido em duas versões apresentadas na fase final da pesquisa, concluindo com uma discussão dos resultados obtidos e uma indicação de parâmetros para o desenvolvimento de pesquisas futuras na área de habitação popular em zonas tropicais.

3.1 CARACTERIZAÇÃO DO COMPÓSITO CIMENTÍCIO (Ensaio de traços)

O sistema construtivo pré-fabricado com painéis cimentícios estruturais escolhido para o desenvolvimento dessa pesquisa é fabricado a partir dos materiais utilizados para a elaboração de um compósito cimentício, constituindo-se em um único material para a execução do projeto de casa popular proposto. Seguindo os parâmetros do sistema de pré-fabricação adotado e os indicativos técnicos para cada componente, definidos no item 2.8, foram desenvolvidos ensaios laboratoriais de caracterização de cada material componente e dos traços para a obtenção do compósito pretendido.

Os experimentos foram realizados no LABEME - Laboratório de Ensaio de Materiais e Estruturas do Departamento de Engenharia Civil e Ambiental DECA da Universidade Federal da Paraíba

3.1.1 Caracterização dos materiais

Para avaliar as qualidades e quantidades dos materiais componentes do compósito cimentício foi estabelecida uma metodologia de trabalho fundamentada nas normas da ABNT

NM 45, 53 e 245 para concretos leves, envolvendo os seguintes materiais, elencados conforme referências da literatura pesquisada exposta na seção 2.8 do Capítulo 2.

AGLOMERANTE. Cimento Portland – CP V-ARI

AGREGADOS:

MIÚDO – Areia natural do Rio Paraíba.

GRAÚDO – argila expandida – CINEXPAN.

ADIÇÕES.

VERMICULITA SUPERFINA – MAIA MACEDO.

METACAULIM – SOLEMINAS.

ADITIVO - BAUTECH SUPERPLASTIFICANTE.

Plastificante polifuncional para melhoramento da pega normal, classificado como P ou SP segundo a norma NBR 11768: 2011.

- **Ensaio 01 (ABNT NBR NM 45)**

Ensaio: Agregados – Determinação da massa unitária e do volume de vazios – Método C.

Material: Agregado miúdo: Areia natural – melhorada por peneiramento # 6.35 mm, no qual foi obtida a massa unitária média de 1,49 kg/dm³.

Procedência: Rio Paraíba.

Tabela 7. Determinação da massa unitária e do volume de vazios – Método C. Valores para Agregado Miúdo.

Discriminação	1 ^a . Det.	2 ^a . Det.	3 ^a . Det.	Média
Massa do recipiente + amostra (g)	1892,40	1888,90	1886,70	
Massa do recipiente (g)	6,20	-	-	
Massa da amostra (g)	1816,20	1812,70	1810,50	
Volume do recipiente (cm ³)	1220,00	-	-	
Massa unitária estado solto (g/cm ³)	1,49	1,49	1,48	

Fonte: Elaborado pelo autor, 2017.

Para a elaboração dos ensaios do agregado miúdo a areia foi selecionada segundo a NBR 7211, 2009 - Agregado Miúdo, em amostra aleatória foi submetido a um melhoramento por peneiramento em peneiras normatizadas # 6,35mm, no qual foi obtida a massa unitária média de 1,49 kg/dm³.

- **Ensaio 01 (ABNT NBR NM 53)**

Ensaio: Agregado Miúdo – Determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água.

Material: Agregado Miúdo – Areia natural.

Procedência: Rio Paraíba.

Tabela 8. Determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água. Valores para Agregado Miúdo.

Amostra: Massa seca em estufa (M_s): 500g.
 Massa do recipiente mais água destilada (MRA): 942,8g.
 Massa do recipiente mais água destilada mais amostra (MRAA): 1254,0g.
 Massa específica (ME): 2,65g/cm³.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2017.

$$M_E = \frac{M_s}{(M_s + MRA) - MRAA}$$

$$M_E = \frac{500}{188,8} = 2,65 \text{ g/cm}^3$$

Tabela 9. Composição Granulométrica para Agregado Miúdo.

Peneiras (mm, μ m)	Peso retido (g)	Percentagem retida (%)	Percentagem retida acumulada (%)
4,75	2,8	0,28	0,0
2,36	38,0	3,80	3,80
1,18	104,2	10,42	14,22
600	327,1	32,71	46,93
300	385,8	38,58	85,51
150	108,7	10,87	96,38
Resíduo	33,4	3,34	99,72
Total	1000,0		

Dmáx. Caract. (mm)	2,36
Módulo de Finura	2,47

Fonte: Elaborado pelo autor, 2017.

De acordo com os procedimentos normativos descritos na NBR NM 53: 2009 caracterizada acima foi obtido valores da massa unitária do agregado miúdo no estado solto e compactado e a média dos resultados individuais aferidos em pelo menos três determinações, conforme sequência ilustrada nas imagens da Figura 20.



Figura 20. Fotos do processo de caracterização do agregado miúdo.
Fonte: Acervo pessoal, 2017.

- **Ensaio 02 (ABNT NBR NM 45)**

Ensaio: Agregados – Determinação da massa unitária e do volume de vazios – Método C.

Material: Agregado graúdo: Argila expandida.

Procedência: Cinexpan-Ind. E Com. De Argila Expandida Ltda.

Tabela 10. Determinação da massa unitária e do volume de vazios – Método C. Valores para Agregado Graúdo.

Discriminação	1ª. Det.	2ª. Det.	3ª. Det.	Média
Massa do recipiente + amostra (g)	8370,00	8370,00	8365,00	
Massa do recipiente (g)	4750,00	-	-	
Massa da amostra (g)	3620,00	3620,00	3615,00	
Volume do recipiente (cm ³)	7000,00	-	-	
Massa unitária estado solto (g/cm ³)	0,52	0,52	0,52	0,52

Fonte: Elaborado pelo autor, 2016.

- **Ensaio 02 (ABNT NBR NM 53)**

Ensaio: Agregado graúdo – Determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água.

Material: Agregado graúdo – Argila Expandida.

Procedência: Cinexpan - Ind. E Com. De Argila Expandida LTDA.

Tabela 11 - Determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água. Valores para Agregado Graúdo.

<p>Amostra: Massa seca em estufa (A): 300,0g. Massa do recipiente mais água destilada (B): 1556,1g. Massa do recipiente mais amostra mais água destilada(C): 1511,6g.</p> <p style="text-align: center;">Massa específica: 0,87g/cm³.</p>
--

Fonte: Elaborado pelo autor, 2016.

A300

$$\text{Massa esp.} = \frac{\text{Massa (A+B) - C}}{\text{Volume}} = \frac{300 + 1556,1 - 1511,6}{300} = 0,87 \text{g/cm}^3$$

- **Ensaio 02(ABNT NBR NM 248)**

Ensaio: Agregados - Determinação da composição granulométrica.

Material: Agregado graúdo - argila expandida.

Procedência: Cinexpan - Ind E Com. De Argila Expandida LTDA.

Tabela 12. Composição Granulométrica para Agregado Graúdo.

Peneiras	Peso retido (g)	Porcentagem retida (%)	Porcentagem retida acumulada (%)
75 mm	0	0,00	0,00
63 mm	0	0,00	0,00
50 mm	0	0,00	0,00
37,5 mm	0	0,00	0,00
31,5 mm	0	0,00	0,00
25 mm	21,50	1,08	1,08
19 mm	669,40	33,47	34,55
12,5 mm	1200,10	60,00	94,55
9,5 mm	109,00	5,45	100,00
6,3 mm	0,00	0,00	100,00
4,75 mm	0,00	0,00	100,00
2,36 mm	0,00	0,00	100,00
1,18 mm	0	0,00	100,00
600 µm	0	0,00	100,00
300 µm	0	0,00	100,00
150 µm	0	0,00	100,00
RESÍDUO			0,00
TOTAL			0,00

Dmáx. Caract. (mm)	25,00
Módulo de Finura	7,34

Fonte: Elaborado pelo autor, 2016.

De acordo com os procedimentos normativos descritos nas NBR NM 248: 2003 e caracterizados acima foi obtido valores da massa unitária do agregado graúdo observando-se amostras no estado solto e compactado e a média dos resultados individuais aferidos em pelo menos três determinações, conforme ilustrado nas imagens da Figura 21.



Figura 21.Fotos do processo: Caracterização do Agregado Graúdo.
Fonte: Acervo pessoal, 2017.

Na sequência dos ensaios de caracterização dos agregados, miúdo e graúdo, procederam-se os estudos de dosagens experimentais segundo preceitos da NBR 12655: 1996, para obtenção das proporções mais adequadas de cada componente do compósito planejado (Figura 22).

Nesse processo investigativo das dosagens para os traços foram executadas as etapas de preparo manual das misturas, observação de consistências, texturas e moldagem de corpos de prova cilíndricos.

Nos testes também foram observadas algumas inconsistências quando a adição da vermiculita ultrapassou valores acima de 10%, ocasionando flutuação do agregado graúdo (argila expandida). Diante dessa ocorrência foi estabelecida a proporção máxima de 10% para as adições de vermiculita e metaculim.



Figura 22. Fotos do processo de preparo do traço e moldagem dos corpos de prova.
Fonte: Acervo pessoal, 2017.

De acordo com as normas da ABNT já citadas e com os parâmetros técnicos de cada elemento definido, foram realizados ensaios laboratoriais no LABEME objetivando a caracterização de três traços para a obtenção do compósito. Esse processo investigativo foi iniciado pela escolha de um traço Piloto convencional criado no LABEME para servir de parâmetro comparativo nos ensaios posteriores. Esse corpo de prova que foi moldado de acordo com a NBR 5738: 1993 em forma metálica cilíndrica, com 10 cm de raio e 20 cm de altura, sendo anotado na Tabela 13. Após cura de 28 dias foi desmoldados naturalmente sem quebra de bordas e submetido a testes de pesagem e resistência a compressão.

Tabela 13. Composição do piloto e ensaio de peso e resistência mecânica.

TRAÇO	Cimento	Areia	Gnaisse	Água	Peso (Kg)	Resistência(MPa)
Piloto	1	1,42	1,66	1,00	3,70	25,00

Fonte: Elaborado pelo autor, 2017

Em seguida foram definidos três traços a partir dos parâmetros estabelecidos nos estudos de dosagens e moldadas para cada traço, três séries com três corpos de provas

cilíndricos com 10cm de raio e 20cm de altura, idênticos ao Piloto. Após desmolde natural sem quebras e cura de 28 dias conforme Figura 23, todos foram identificados de acordo com o seu respectivo traço sendo numerados e preparados para os ensaios de resistência mecânica e térmica.



Figura 23.Fotos do processo de desmolde dos corpos de prova.
Fonte: Acervo pessoal, 2017.

Após a catalogação das três séries de corpos de prova, todos foram organizados por lotes referentes aos traços 1, 2 e 3 caracterizados anteriormente. Todos foram pesados em balança eletrônica UDC (Figura 24). Os valores obtidos foram anotados na Tabela 6 e comparados com os do traço Piloto, conferindo resultados aproximados de 59,0 % mais leve que o concreto normal preparado no LABEME.

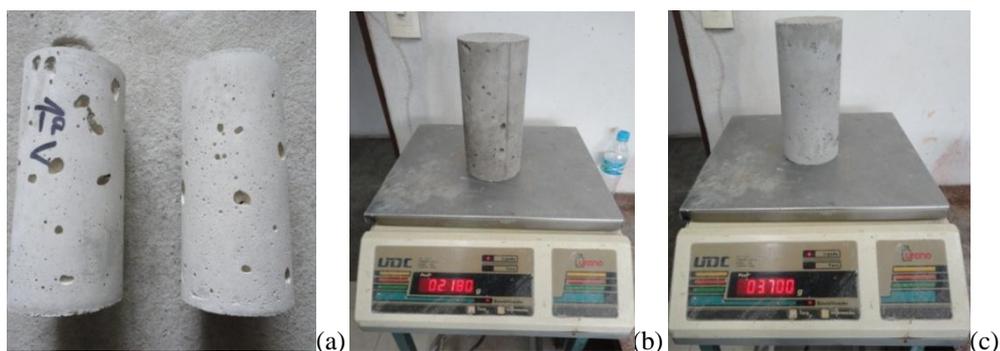


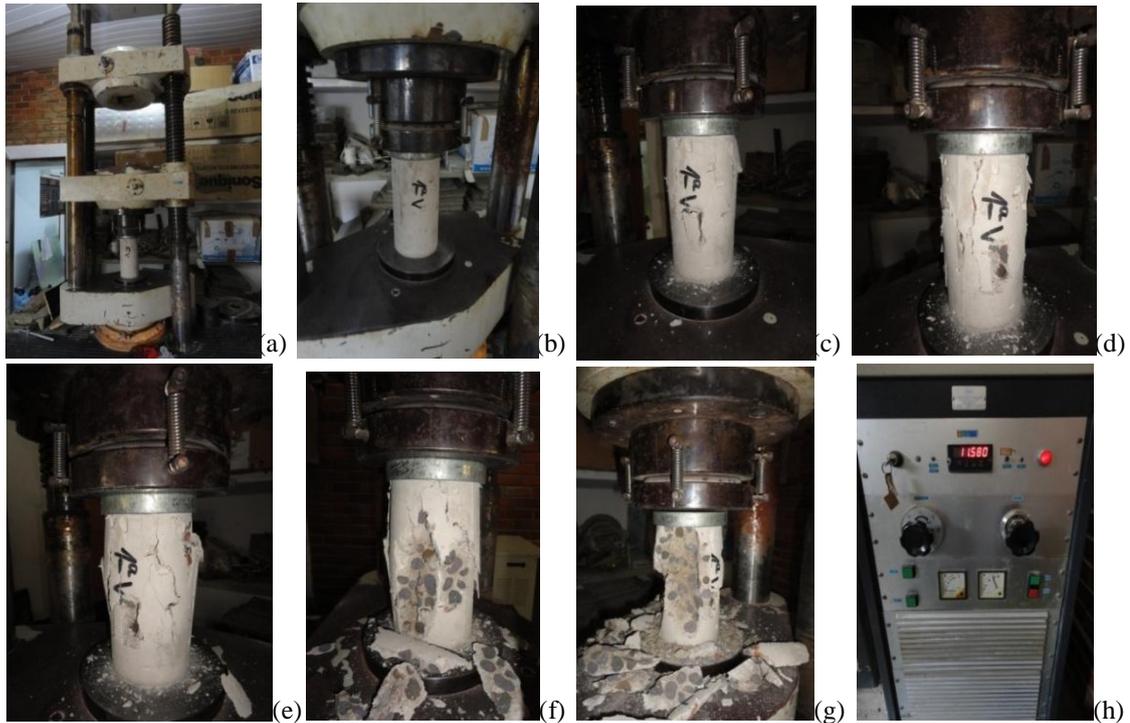
Figura 24.Fotos do processo de pesagem dos corpos de prova.
Fonte: Acervo pessoal, 2017.

Após a pesagem todos os corpos de prova foram testados no LABEME quanto à resistência a compressão em 28 dias, de cura de acordo com as recomendações das NBR 5738:2016 e NBR 5739: 2007 (Figura 25) sendo observadas pequenas variações de pesos e resistências entre as amostras de cada série que se encontra na Tabela 13

Tabela 14. Composição dos traços e ensaios de peso e resistência mecânica.

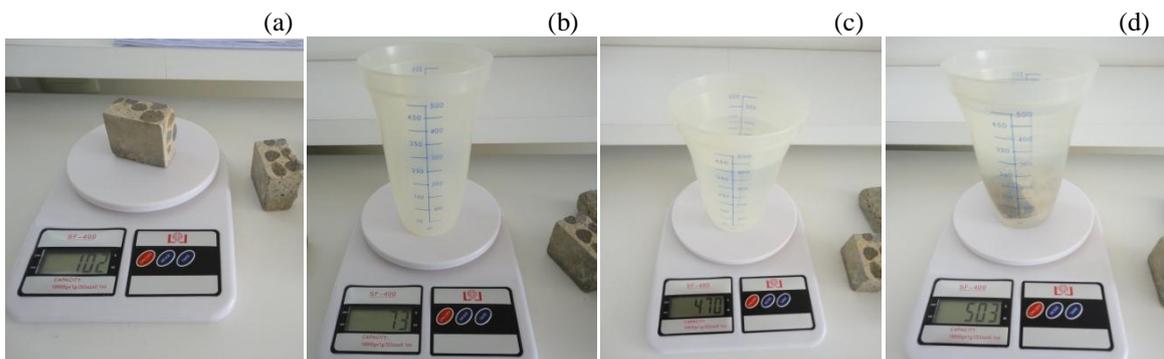
TRAÇO	Cimento	Areia	Argila Expand	Água	Metacaulim	Vermicu l.	Bautech	Peso Kg			Resistência Mpa		
								CP1	CP2	CP3	CP1	CP2	CP3
01	1	1,42	1,66	1,00	10%	5%	0,6%	2,20	2,23	2,21	11,78	11,58	11,95
02	1	2,02	1,37	0,92	8,50%	8,50%	3,54%	2,27	2,24	2,25	14,70	13,82	13,89
03	1	1,67	1,	1,00	10%	10%	1,25	2,18	2,21	2,19	11,20	11,45	11,42

Fonte: Elaborado pelo autor, 2017

**Figura 25.** Fotos do processo: Ensaio de tensão até o rompimento dos corpos de prova.

Fonte: Acervo pessoal, 2017.

Concluídos os ensaios de caracterização do compósito foi calculada a sua densidade pelo método da imersão (ARQUIMEDES). Nesse procedimento foram pesadas em balança de precisão tarada as amostras secas (g) e o béquer, em seguida as amostras dos traços foram mergulhadas em 400 ml de água destilada colocada no béquer, no qual foi observado o aumento do volume (cm^3) de água equivalente ao volume da amostra. Figura 26.

**Figura 26.** Fotos do processo de ensaio de densidade do compósito.

Fonte: Acervo pessoal, 2017.

Tabela 15.Ensaio para o cálculo da densidade.

AMOSTRAS	TRAÇO 01			TRAÇO 02			TRAÇO 03			T. PILOTO
	CP 1.1	CP 1.2	CP 1.3	CP 2.1	CP 2.2	CP 2.3	CP 3.1	CP 3.2	CP 3.3	CP P1.1
PESO (g)	104	103	103,5	102	102	102,5	101,5	101,8	101,5	146,64
DENSIDADE	3,15	3,16	3,16	3,05	3,05	3,15	3,27	3,28	3,27	4,44
DENSIDADE MÉDIA	3,156			3,08			3,273			4,44

Fonte: Elaborado pelo autor, 2017

3.2 ELABORAÇÃO DOS PROTÓTIPOS

Após essa etapa inicial de caracterização do compósito foram moldadas três séries de placas e três paredes protótipos com os três traços confirmados nos ensaios anteriores para a verificação das propriedades térmicas. A usinagem do compósito foi feita de acordo com a NBR 12655 com a mistura dos componentes dos traços processada em betoneira orbital 360 litros do LABEME iniciando com a lavagem do compartimento de mistura com água, seguindo-se a colocação do agregado graúdo (Argila expandida), cimento e água em mistura rotativa, sendo adicionado o agregado miúdo (areia) com adições da vermiculita e da metaculinita. Para melhorara homogeneização foi adicionado o super plastificante Bautech (Figura 27).



Figura 27.Fotos do processo de usinagem dos traços.

Fonte: Acervo pessoal, 2017.

A moldagem das placas em forma de madeirite 15 mm observaram as dimensões (30 cm x 60 cm x 2,70 cm) e (30 cm x 30 cm x 2,7cm). Todas as placas foram desmoldadas naturalmente sem quebra de bordas e submetidas à cura de 28 dias de acordo com normativas da NBR 150220-5 (2005) para ensaios de condutividade térmica no Conduvímeter K30 do LABEME (Figura28).

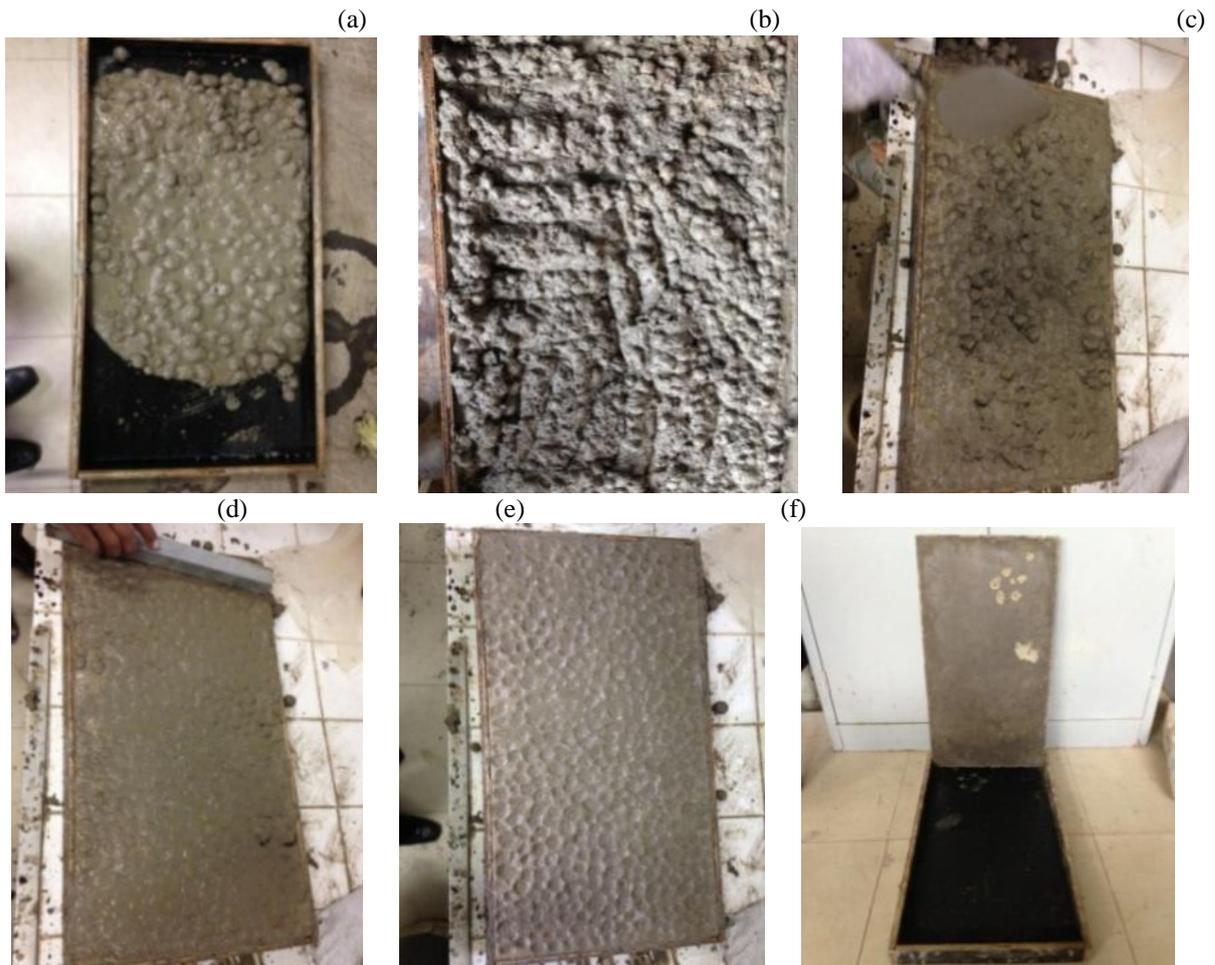


Figura 28.Fotos do processo de concretagem de placas para ensaios de condutivímetro.
Fonte: Acervo pessoal, 2017.

A concretagem das paredes protótipo seguiu a indicação dos estudos dos painéis desenvolvidos para o sistema de construção pré-fabricado proposto (Figura 29), no qual foi utilizada forma de madeirite para o sub-módulo de janela nas dimensões 60 cm x 1,20 cm de acordo com a formatação de amostras para ensaios na câmara térmica do LABEME.

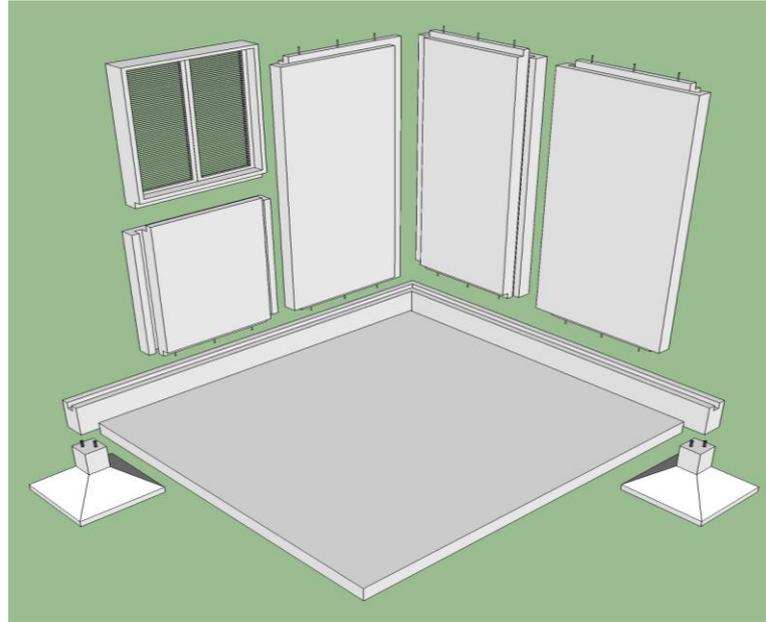


Figura 29. Proposta do sistema pré-fabricado em compósito cimentício.
Fonte: Elaborado pelo autor, 2016.

O procedimento de usinagem do compósito seguiu as normas da NBR 5738: 2016 sendo processados os três traços e moldadas três paredes protótipos com preenchimento vibrado em formas apoiada na mesa vibratória do LABEME, sendo submetidas à cura de 28 dias com desmoldagem natural sem quebra de bordas conforme ilustrado na Figura 30.



Figura 30. Fotos do processo: Concretagem de paredes para ensaios na câmara térmica.
Fonte: Acervo pessoal, 2017.

3.3. ENSAIOS TÉRMICOS DO COMPÓSITO

Concluída a elaboração dos protótipos de placas e paredes para a verificação das suas potencialidades de isolamento térmico para os painéis pré-fabricados, foi estabelecida uma metodologia de ensaios fundamentada em três métodos investigativos:

1) Método do Fio Quente (CARSLAW e JAEGER, 1986), mede a transferência de calor por condução em coordenadas cilíndricas a uma dimensão, determinando a difusividade e condutividade térmica de forma direta utilizando amostras cilíndricas com um fio aquecedor colocado no centro registrando temperaturas em função do tempo usando a função exponencial integral.

2) Método Fluxométrico, utiliza o Condutímetro K30, equipamento indicado pela NBR 15220, 2005 para medição da resistência e condutividade térmica através da simulação de uma diferença de temperatura entre as laterais maiores das placas planas testadas medindo o fluxo de calor que passa através da amostra.

3) Método da Câmara Térmica, consiste de um dispositivo com dois ambientes que simulam a variação de temperatura entre o exterior aquecido (dia) ou resfriado (noite) e o interior de uma edificação, separados por uma parede isolante que recebe o protótipo de parede para teste de resistência e condutividade térmica medida pelo sistema de aquisição de dados (DAQ) Quantum X Universal.

- **Ensaio 01 – Método do Fio Quente.**

Este ensaio foi realizado no Laboratório de Transferência de Calor e Massa do Departamento de Engenharia Mecânica da UFPB, iniciou-se com a moldagem das três séries de corpos de provas cilíndricos com diâmetro 10 cm e altura 20cm, moldados com os três traços experimentais do compósito definidos nos testes de resistência, nos quais foram inseridos um fio resistor central e termopares do tipo T conectados a resistência central e a superfície de cada corpo de prova. Quando ligada a corrente elétrica à resistência central através de um regulador de tensão ajustável (Varivolt STP 500 1,5 KW) para geração e controle de calor constante no centro do corpo de prova, foi feita a aferição das temperaturas por multímetros (Instrutherm MDB 450 e 400) conectados nos termopares do fio quente e da superfície do corpo de prova, obtendo-se valores das variações de temperaturas no tempo e a condutividade térmica da amostra (Figura 31).

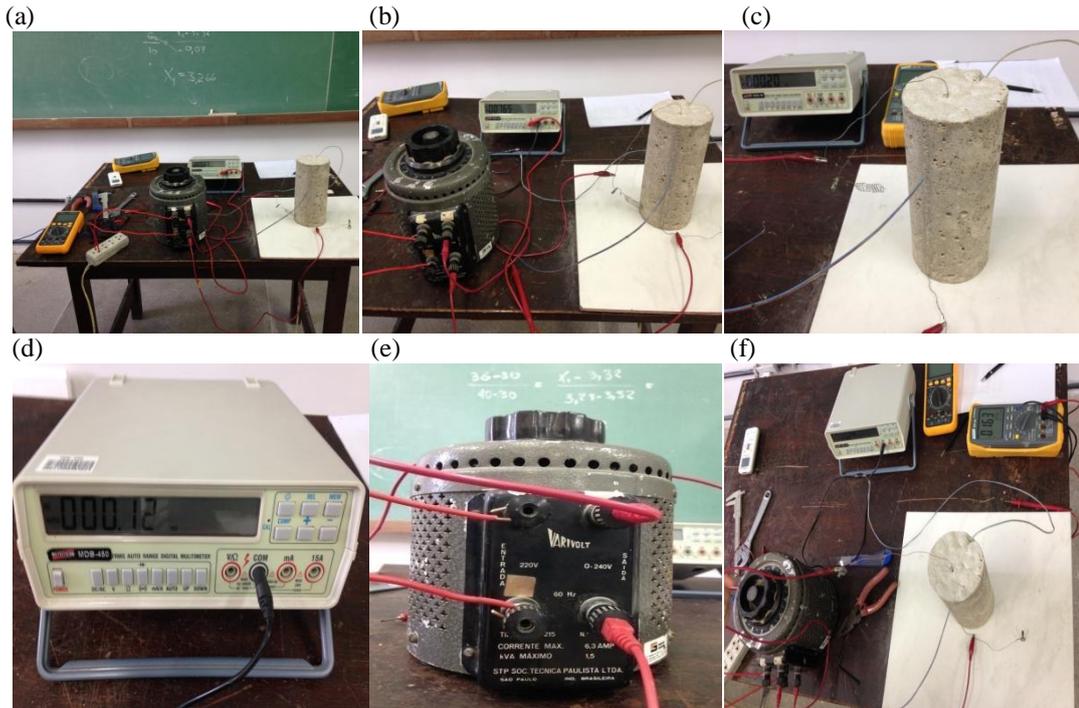


Figura 31. Fotos do processo de ensaios do Fio Quente.
Fonte: Acervo pessoal, 2017.

A carga elétrica controlada regulador de tensão aqueceu o fio resistor a uma taxa constante gerando calor que foi transmitido ao material. A medição das temperaturas medidas no centro e na superfície do corpo de prova em um determinado período de tempo possibilitou a obtenção de um mapa de temperaturas pelo tempo de exposição ao aquecimento, permitindo que a condutividade térmica fosse calculada pela seguinte equação de transferência de calor em coordenadas cilíndricas em uma dimensão, considerando o fio aquecido como uma fonte linear infinita.

$$k = \frac{\dot{q} \ln\left(\frac{t_2}{t_1}\right)}{4\pi(T_2 - T_1)} \quad (3.2)$$

Sendo t_1 e t_2 os tempos onde as temperaturas T_1 e T_2 são medidas respectivamente no centro e na superfície do corpo de prova.

Os valores de pico obtidos para as três séries de corpos de provas foram sistematizados com os valores de peso e resistência a compressão em tabelas comparativas (Apêndice 01).

- **Ensaio 02 – Método Fluxométrico (Condutivímetro)**

Na sequência as três séries de placas de 30 cm. x 30 cm x 0,27 cm moldadas com os traços 1, 2 e 3 do compósito foram submetidas a testes de condutividade térmica segundo a ABNT NBR 150220-5 (2005) no Condutivímetro K 30 do LABEME – UFPB

As medições no Condutivímetro K30 foram realizadas a partir da introdução de uma amostra no compartimento de processamento no qual as duas placas de fluxímetros são pressionadas sobre a face superior e inferior da amostra gerando um gradiente térmico a partir do aquecimento da placa superior e do resfriamento da placa inferior por dissipação, conforme esquema da Figura 32.

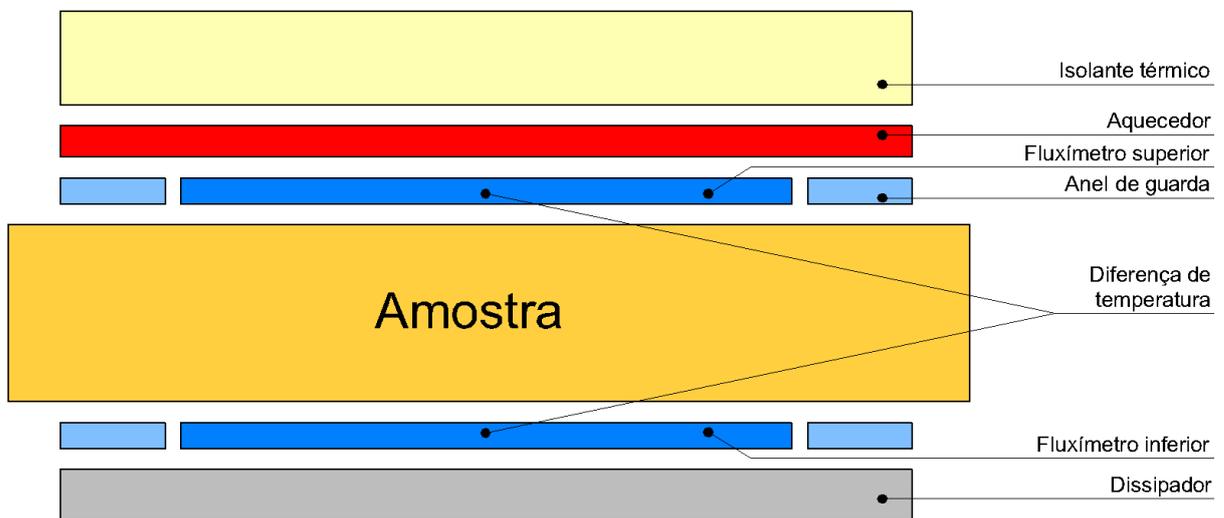


Figura 32.Esquema de medição da condutividade térmica no Condutivímetro K 30.
Fonte: Manual do Condutivímetro K 30, 2011 adaptado pelo autor 2018.

Os valores das medidas da condutividade e resistência térmica são fornecidos pelo programa de aquisição de dados do equipamento (Figura 33), no qual os valores da resistência térmica R decorrem da equação Fourier, onde R é a resistência térmica ($m^2 K/W$), q é o fluxo de calor médio medido pelos fluxímetros superior e inferior (W) e T_1 e T_2 são as temperaturas médias nas superfícies das amostras. Assim a condutividade térmica foi calculada pela seguinte equação 3.3 para condutividade térmica do material (k).

$$K = \frac{L}{R} \quad (3.3)$$

Sendo λ a condutividade térmica ($W/m.K$) e L é a espessura da amostra (m).

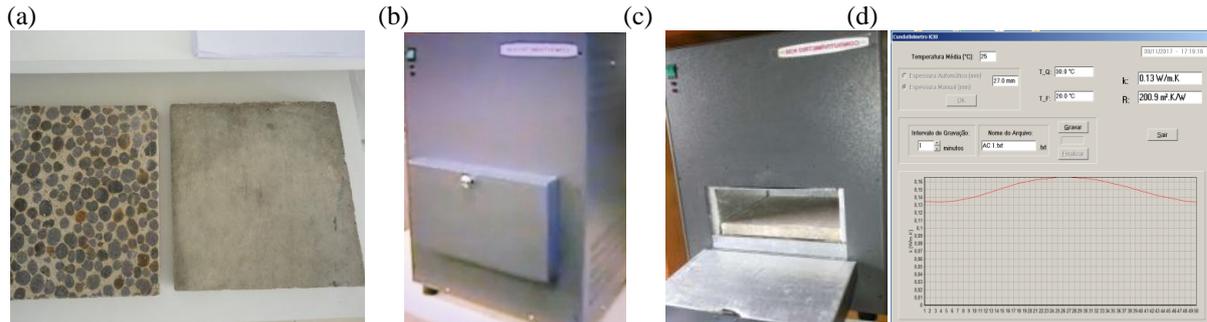


Figura 33. Placas planas, Condutímetro K 30 e aquisição de dados.
Fonte: Acervo pessoal, 2017.

Para estabelecer termos comparativos entre os ensaios já realizados os valores obtidos pelo método fluxométrico foram anotados complementarmente em tabelas de sistematização (Apêndice 01) que contêm os dados dos experimentos anteriores de condutividade e resistência térmica, sendo observados compatíveis com os obtidos pelo método do Fio Quente.

- **Ensaio 03 – Método da Câmara Térmica**

Diante dos indicativos dos testes anteriores foram feitas moldagens, com o compósito já caracterizado, de três de paredes protótipos nas dimensões 0,60 x 120 x 0,12 m para ensaios na câmara térmica do LABEME. Esse procedimento foi realizado com o objetivo de simular a transferência de calor incidente em um protótipo de parede pré-fabricada para um ambiente interno de uma edificação, através desse equipamento composto por uma edificação (3,00m x 2,90m x 2,60m) termicamente isolada e dividida internamente em dois compartimentos (1,30m x 2,70m) contendo no primeiro o sistema de aquisição de dados (DAQ) Quantum X Universal ligados a termopares que captam a variação térmica do ambiente interno e da superfície interna da parede teste colocada em uma abertura da parede divisória para o segundo compartimento, que simula o ambiente externo exposto a variações de temperaturas e contém os equipamentos de aquecimento (caixa metálica com 12 lâmpadas de 150W) e o de resfriamento (ar-condicionado de 15.000 BTU), que são ativados separadamente em dois ciclos de 8h para simular respectivamente o período de aquecimento (dia) e resfriamento (noite). As captações destas temperaturas dos compartimentos que simulam os ambientes, externo e interno respectivamente foram medidas por um termômetro (corpo negro) instalado no centro volumétrico de cada compartimento onde a temperatura das faces externa e interna de cada parede teste também foram captadas por três termopares conectados ao sistema de aquisição de dados, conforme ilustrado na Figura 34.

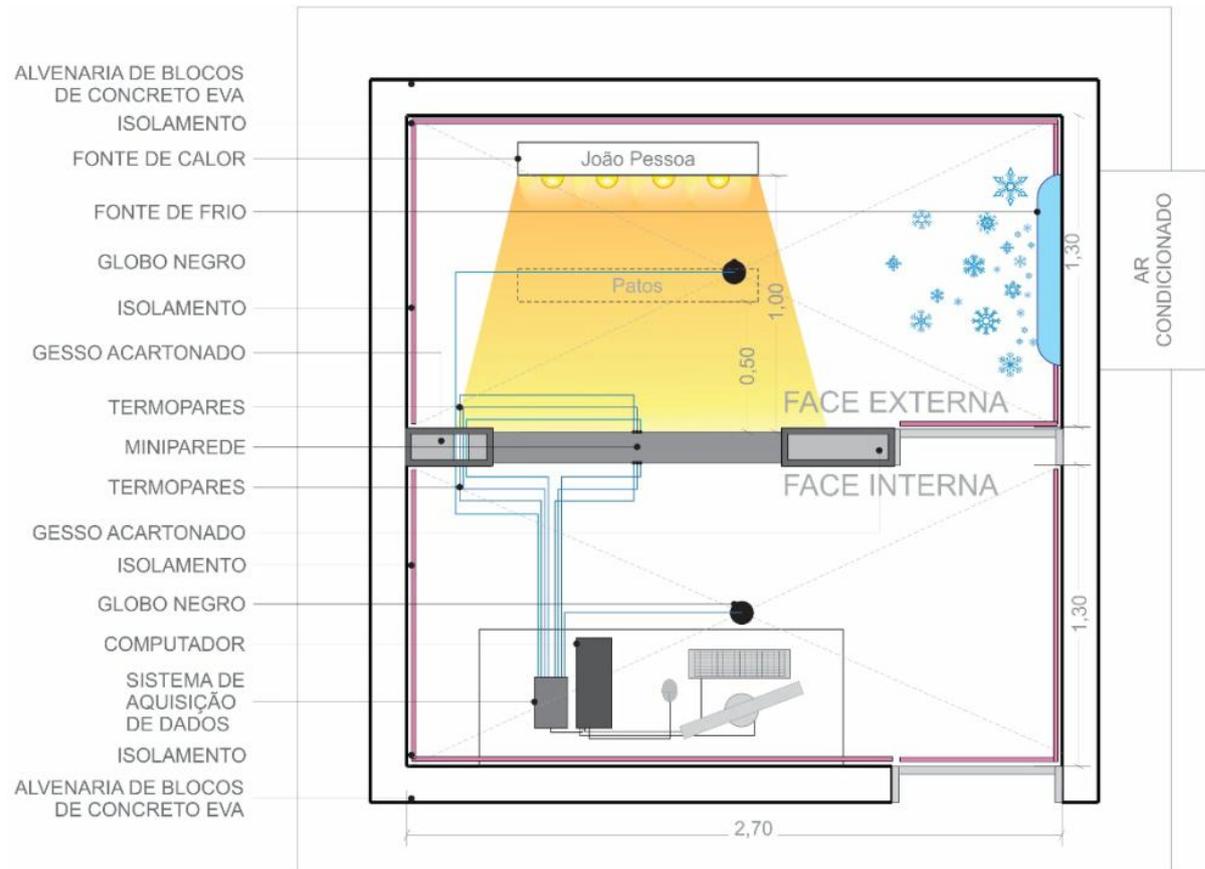


Figura 34. Planta baixa da Câmara Térmica do LABEME para ensaios dos protótipos de parede.
 Fonte: DE MELO, 2015.

Para a realização dos ensaios foram utilizados os parâmetros de calibração e ajustes da câmara térmica fornecido por pesquisa em curso realizada no LABEME (Gomes, 2015).

O experimento com a câmara térmica foi iniciado com a colocação da parede protótipo curada e devidamente pintada com tinta PVA branca no compartimento divisório com a fixação dos termopares em ambas as laterais conforme indicado no manual de procedimentos da Câmara, sendo feita a devida vedação dos vazios e proteção dos termopares com placas de EVA e massa corrida, conforme ilustrado na Figura 35. Após a secagem da massa iniciou-se o ciclo de aquecimento de 8h através do posicionamento da caixa de lâmpadas a uma distância predeterminada de 1,00m, para simulações de temperaturas da cidade de João Pessoa PB.

Ao término do ciclo de 8h determinado para o aquecimento, foi desligada a caixa de luz e ligado o ar-condicionado para iniciar o ciclo de resfriamento, também com 8h de duração.



Figura 35. Câmara Térmica do LABEME com (a) Sist de aquisição de dados, (b) Caixa de lâmpadas, (c) Ar-condicionado e globo negro, (d) Parede protótipo, (e) Aquecimento, (f) Conexão de termopares.
Fonte: Acervo pessoal, 2017.

Assim de acordo com esse o arranjo experimental foi simulada a variações térmica nas três paredes de vedação, moldada com o compósito, para um ambiente durante um ciclo térmico contínuo de 16h, com 8h de aquecimento e 8h de resfriamento, onde foram coletadas simultaneamente as medidas de temperatura internas e externas a cada segundo pelo sistema de aquisição de dados DAQ Quantum X Universal e condensadas em valores médios de pico por hora para cada ciclo de 8h, sendo anotadas em gráficos e tabelas comparativas (Apêndice 02). Os valores anotados identificaram os picos de temperatura em cada ambiente e a consequente diferença térmica que indica o potencial de isolamento do compósito testado.

Após a confirmação das propriedades térmicas do compósito foram feitos os estudos para a aplicação do material no desenvolvimento do projeto da casa pré-fabricada, aplicando as estratégias projetivas bioclimáticas de acordo com normas da NBR 15220-3: 2005 e NBR 15575: 2013 para habitação popular em zonas tropicais.

3.4 ESTUDO BIOCLIMÁTICO PARA O PROJETO DA CASA TROPICAL.

Considerando os indicadores da Figura 36 para o clima dominante na cidade de João Pessoa e nos municípios circunvizinhos, observa-se uma pluviosidade significativa com precipitações máximas de 320 mm no mês junho e mínima de 38 mm no mês de novembro.

As temperaturas máximas oscilam entre 26,3°C e 30,0°C e as mínimas entre 23,5 e 21,5°C, resultando,segundo a classificação do mapa climático Köppen - Geiger (KOTTEK et al.,2006),num clima tropical ameno (As),com temperatura média anual de 25,2 °C. e pluviosidade média anual de 1888 mm. Seguindo esses condicionantes climáticos e os conceitos da Arquitetura Bioclimática para o desenvolvimento de um projeto de casa tropical foi estabelecido diretrizes projetivas para adequar os elementos arquitetônicos de proteção e captação da ventilação às necessidades de climatização natural que contribua para eficiência energética do projeto arquitetônico.

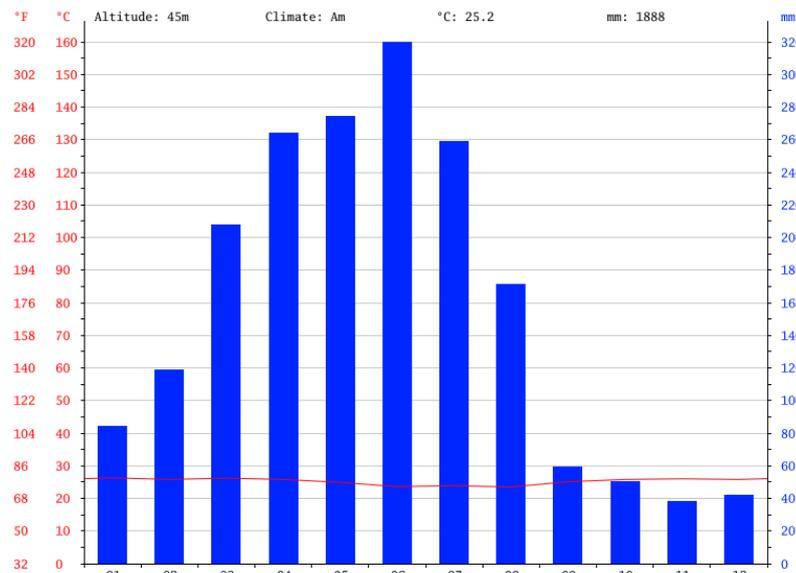


Figura 36. Temperaturas e Pluviosidades anuais na cidade de João Pessoa.
Fonte: CLIMATE-DATA.ORG. 2017.

De acordo com o gráfico acima, os dados climáticos da cidade de João Pessoa,regionalmente contextualizados por Holanda(2010) no seu roteiro para construir no Nordeste, preconiza a “arquitetura como um lugar ameno nos trópicos ensolarados”, através de estratégias projetivas simples que respeitam os condicionantes climáticos locais, proporcionando ambientes com aberturas protegidas das chuvas e da insolação que permitem a ventilação cruzada do exterior para o interior das edificações, estabelecendo um condicionamento térmico natural de acordo com as diretrizes da NBR15220-3:2005.

4.RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nessa etapa de discussão dos resultados obtidos foram utilizados indicadores pesquisados na bibliografia e estudos correlatos para estabelecer os parâmetros que apontaram as possibilidades avaliativas dos testes do compósito cimentício para a moldagem dos

protótipos de vedações do envoltório construtivo pré-fabricado, bem como da sua eficiência energética e das suas propriedades de resistência e isolamento térmico.

4.1 EFICIÊNCIA NA CONSTRUÇÃO: TRADICIONAL X PRÉ-FABRICADA

Inicialmente a análise de sustentabilidade dos sistemas construtivos de blocos cerâmicos x pré-fabricado considerou a pesquisa nacional desenvolvida por Agopyan et al. (1998), onde foi constatada a eficiência do sistema pré-fabricado sobre o sistema construtivo tradicional de alvenaria de blocos cerâmico de acordo com a análise comparativa das perdas de materiais durante o processo construtivo.

As perdas físicas de vários materiais, tiveram como referência as prescrições de projeto confrontado com os quantitativos finais, calculado a partir do material aplicado e das sobras retiradas da obra. Assim não foram feitas análise das especificações, e sim, foi detectado os consumos e as sobras que excederam os especificados. Cabe ainda ressaltar que, conforme anteriormente citado, ao se levantar as perdas físicas totais, os números indicam uma soma das perdas que saíram (entulho) com as que ficam incorporadas; tais perdas não são totalmente evitáveis de acordo com o sistema construtivo adotado, carecendo de uma análise adicional para se definir qual parcela da mesma poderia ser considerado desperdício evitável, (AGOPYAN et al. 1998).

Nos estudos dos materiais básicos especificados, foi possível levantar-se dois tipos de indicadores de perdas “na obra”, isto é, relativos ao desempenho em usar certo material básico em diversos serviços numa mesma obra; “por serviço pós-estocagem”, quando cada material básico tem seu desempenho analisado quanto a um serviço específico.

Na Tabela 16 encontra-se um resumo dos resultados obtidos na pesquisa do uso dos materiais básicos, para o sistema tradicional, comparados ao uso dos mesmos materiais considerados para o sistema pré-fabricado. Nota-se a explicitação do valor da mediana das perdas, valor este considerado mais recomendado que o da média para representar o conjunto de resultados para cada material.

Tabela 16. Materiais básicos: perdas na obra detectadas por esta pesquisa (FINEP/IT/QC/PCC) e por outras fontes.

Materiais Básicos	Pint	Sobelman	FINEP/IT/QC/PCC Tradicional					Pré-fabricado
			Média %	Mediana %	Minim. %	Maxim. %	n	
AREIA	39	44	76	44	7	311	28	27
SAIBRO	-	-	182	174	134	247	4	—
CIMENTO	33	83	95	56	6	683	44	10
PEDRA	-	-	75	38	9	294	6	8
CAL	-	-	97	36	6	638	12	—

Fonte: AGOPYAN et al. 1998.

Considerando os resultados pesquisados, nota-se que o sistema tradicional apresenta uma grande diferença dos valores das perdas, o fenômeno pode ser explicado tanto por uma efetiva variabilidade do desempenho em cada obra, quanto pelas imprecisões de aferição, mas de qualquer forma, a perda de materiais básicos nas obras tradicionais é bastante acentuada quando se compara com o sistema pré-fabricado. Esse resultado reflete os efeitos da racionalização do processo pré-fabricado que proporciona uma quantificação exata do consumo de cimento, areia e pedra, eliminando o uso do saibro e da cal que não são usados para a usinagem dos painéis de concreto.

Na Tabela 17, apesar do número de casos estudados ser menor, reuniu os valores de perdas de materiais básicos (estudou-se o cimento como representante dos serviços) por serviço pós-estocagem. Mostra-se o desempenho detectado quanto a: emboço ou massa única interna; emboço ou massa única externa e contrapiso.

Tabela 17. Perdas de cimento nos serviços: emboço ou massa única interna; emboço ou massa única externa; contrapiso (FINEP/IT/QC/PCC).

Materiais Básicos	FINEP/IT/QC/PCC Tradicional					Pré-fabricado
	Média %	Mediana %	Mínimo %	Máximo %	n	Máximo Previsto %
Emboço Interno	104	120	8	234	4	–
Emboço Externo	67	53	-11	164	47	–
Contrapiso	79	42	8	288	5	12
Laje	84	53	19	180	10	25

Fonte AGOPYAN at al. 1998.

Considerando o uso do cimento nos acabamentos, emboços, contrapisos e lajes, os resultados permanecem apresentando grandes diferenças, que são atribuídas aos diferentes desempenhos das construtoras. Reafirma-se a mediana como valor representativo do conjunto de resultados (42% é o número que representa o conjunto de obras estudadas quanto ao contrapiso, e não os 79%); As diferenças foram atribuídas a alterações nas espessuras dos emboços, em relação à espessura preconizada pelo projeto e a variabilidade da dosagem das argamassas; as perdas por entulho, embora não desprezíveis, não representaram a maior parcela das perdas totais; as perdas de argamassa (mensuradas através do consumo de cimento) não são fisicamente desprezíveis: 102% para emboço ou massa única interna, 53% para emboço ou massa única externa, 42% para contrapiso. No estudo comparativo destes resultados com o sistema pré-fabricado ficou mantida a vantagem desse sistema construtivo em função da racionalização e previsão de consumo controlada. Esta vantagem é bastante

representativa quando o foco é o melhoramento técnico do processo construtivo, mas segundo (BRUNA, 1976) quando se observa as peculiaridades da mão de obra nos diferentes contextos sociais brasileiro, onde ainda não há uma capacitação compatível com o rigor do sistema pré-fabricado, o custo adicional do consumo e perda dos materiais estudados fica equacionado como custo mínimo da construção tradicional.

A Tabela 18 ilustra os resultados das perdas obtidas para inúmeros materiais simples, confrontados com aqueles preconizados por outras fontes.

Tabela 18 - Tabela comparativa de perdas nos sistemas tradicional e pré-fabricados.

Perdas de Materiais	TCPO 10	Skoyles	Pinto	SOBEL	FINEP Tradicional					Pré-fabricado
		MEDIA %	MEDIA %	MEDIA %	MED %	MEDIANA %	MIN %	MAX %	n	Maximo %
Concreto	2	5	1	13	9	9	2	23	35	5
Aço	15	5	26	19	10	11	4	16	12	-
Tijolos	3ª 10	805	13	52	17	13	3	48	37	-
Eletrodutos	0	-	-	-	15	15	13	18	3	3
Condutores	2	-	-	-	25	27	14	35	3	4
Tubos	1	3	-	-	20	15	8	56	7	2
Cerâmica	5 a 10	3	-	-	16	14	2	50	18	3
Gesso	-	-	-	-	45	30	-14	120	3	-

Fonte AGOPYAN et al. 1998

Os valores obtidos para os materiais considerados simples, comuns aos dois sistemas construtivos abordados, foram comparados aos valores publicados no manual de orçamento TCPO 10, que apresenta uma média nacional dos índices que foi superior a de algumas construtoras. O controle do concreto e do aço são bastante baixo para ambos os sistemas. Já os tijolos apresentam valores dispersos que indicam variações na eficiência de algumas construtoras na execução dos serviços e também pela diferença de qualidade do produto nas diversas regiões do País. O sistema Pré-fabricado apresenta vantagens em todos os itens analisados demonstradas na Figura 37, que evidencia os resultados de eficiência sustentável pela redução de perdas de materiais e geração de resíduos, demonstrando que a organização dos canteiros de obras tradicionais também pode aperfeiçoar seu processo construtivo evitando perdas com o treinamento da mão de obra para a execução de cada projeto e pela melhor organização das tarefas em todas as fases das construções.

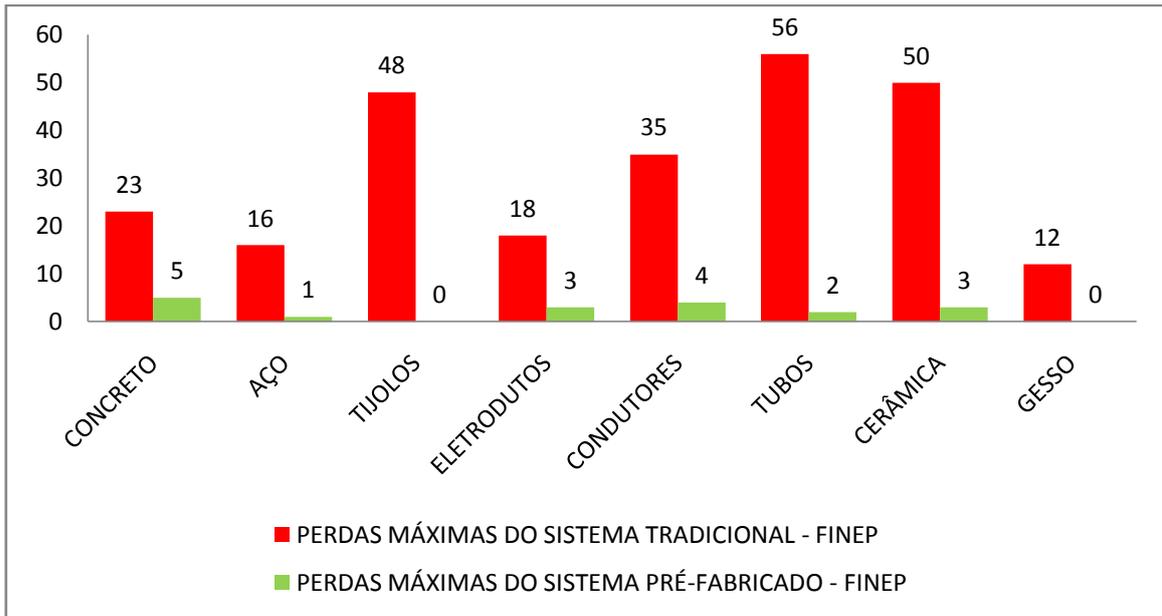


Figura 37. Perdas de materiais nos sistemas construtivo versus pré-fabricado.
Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

4.2 CARACTERIZAÇÃO DO COMPÓSITO CIMENTÍCIO

Os ensaios para qualificação dos agregados miúdo (areia) e graúdo (argila expandida), foram realizados de acordo com a NBR NM 35: 1995, NBR NM 45: 2006, NBR NM 53: 2009 e indicativos de pesquisas anteriores, Rossignolo (2003 e 2009), Recena (2007) e Maycáetal. (2009). Onde inicialmente foram obtidos os seguintes resultados expressos nas curvas granulométricas das Figuras 38 e 39, indicando a compatibilidade granulométrica da argila expandida para a elaboração dos traços definidos para o compósito.

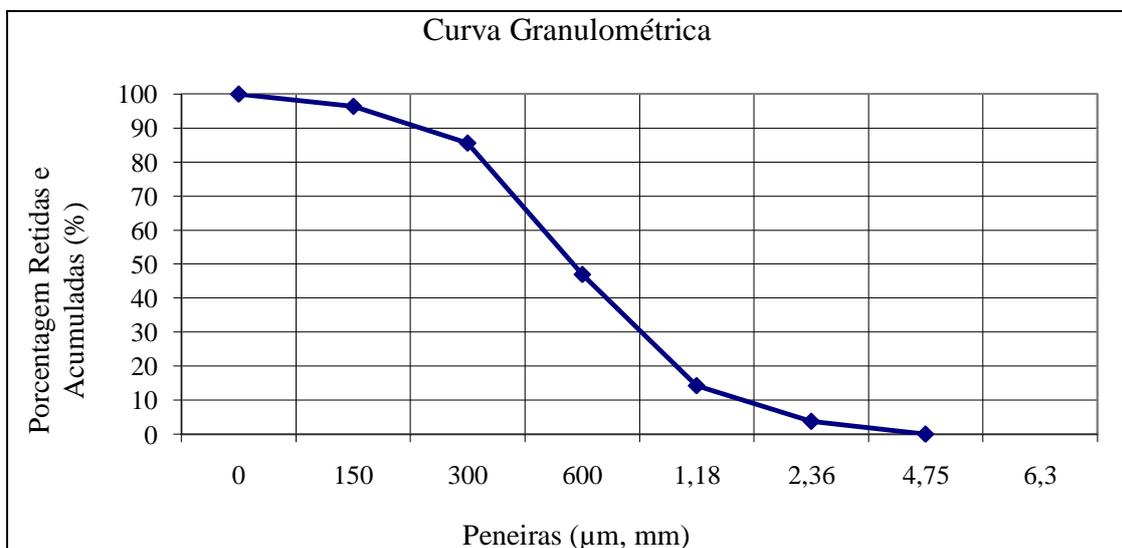


Figura 38. Curva granulométrica do Agregado Miúdo.
Fonte: Elaborado pelo autor, 2016.



Figura 39. Curva granulométrica do Agregado Graúdo.
Fonte: Elaborado pelo autor, 2016.

Os resultados obtidos nos ensaios de caracterização dos agregados para elaboração do compósito indicaram a viabilidade desse material para elaboração de traços para moldagem de paredes de vedação mais leves tanto para o sistema de construção pré-fabricada como envoltório alternativo ao sistema tradicional de blocos cerâmicos, sendo observados valores de peso 59% mais leve que o concreto tradicional moldado com o traço piloto fornecido pelo LABEME.

Comparando os valores de peso e resistência obtidos nos ensaios de resistência realizados para as séries de traços propostos na metodologia com os valores do traço piloto, conforme pode ser observado na tabela 19 ficou evidente que, mesmo com pequenas variações, os valores obtidos ficaram na faixa de compatibilidade do compósito como opção para a construção de vedações leves em substituição às paredes de blocos cerâmicos.

Tabela 19. Composição dos traços e ensaios de peso e resistência mecânica.

TRAÇO	Cimento	Areia	Argila Expand	Água	Metacaul.	Vermicul.	Bautech	Peso Kg			ResistênciaMPa		
								CP1	CP2	CP3	CP1	CP2	CP3
01	1,00	1,42	1,66	1,00	10%	5%	0,6%	2,20	2,23	2,21	11,78	11,58	11,95
02	1,00	2,02	1,37	0,92	8,50%	8,50%	3,54%	2,27	2,24	2,25	14,70	13,82	13,89
03	1,00	1,67	1,	1,00	10%	10%	1,25	2,18	2,21	2,19	11,20	11,45	11,42
Piloto	1,00	1,42	1,66	1,00	–	–		3,70			25,00		
Alvenaria de Blocos Cerâmicos								2,20			3,50		

Fonte: Elaborado pelo autor, 2018

Resumindo os resultados da tabela 20 de peso e resistência obtidos para o compósito leve com os do traço piloto e indicativos da Alvenaria Tradicional de blocos cerâmicos fornecidos pelo LABEME na Tabela 28 abaixo, ficou evidente a leveza com 41% mais leve que o traço Piloto e 2% mais leve que a alvenaria de blocos cerâmicos com resistência 31,25% maior, confirmando assim a viabilidade do material para moldagem de placas e paredes protótipos para os seqüentes ensaios térmicos.

Tabela 20.Resumo comparativo dos ensaios de peso e resistência mecânica.

AMOSTRA	PESO Kg /m ³	ResistênciaMPa
Compósito Piloto	3,70	25,00
Alvenaria de Blocos Cerâmicos	2,20	3,50
Compósito Leve	2,18	11,20

Fonte: Elaborado pelo autor, 2017.

4.3 AVALIAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS TÉRMICAS DO COMPÓSITO CIMENTÍCIO.

Os resultados iniciais dos ensaios de condutividade térmica foram obtidos pelo método do Fio Quente (CARSLAW e JAEGER, 1986), e anotados nas tabelas 22, 23, 24 do Apêndice 01 e na sequência foram comparados com os do Condutímetro K 30 onde de acordo com os gráficos abaixo foram testadas as três série de corpos de prova e confirmando que as amostras executadas com o traço 3 obtiveram os melhores resultados de desempenho térmico nos dois métodos de ensaios, verificando que as diferenças entre as temperaturas quente (T_Q) fornecida à amostra e temperatura fria (T_F) na superfície oposta a fonte de calor foi de 10°C que habilita o compósito como material isolante térmico apropriado para o sistema construtivo pré-fabricado.

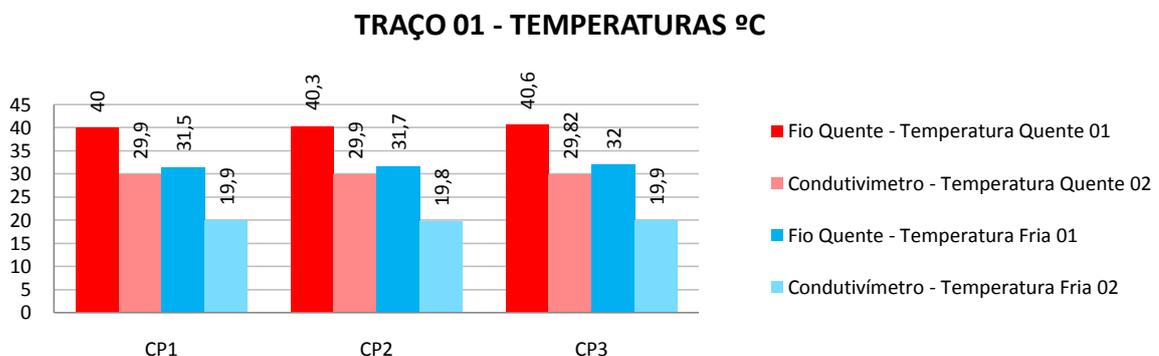


Figura 40. Temperaturas T_Q e T_F Ensaios do Fio Quente e Condutímetro K30 - Traço 01

Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

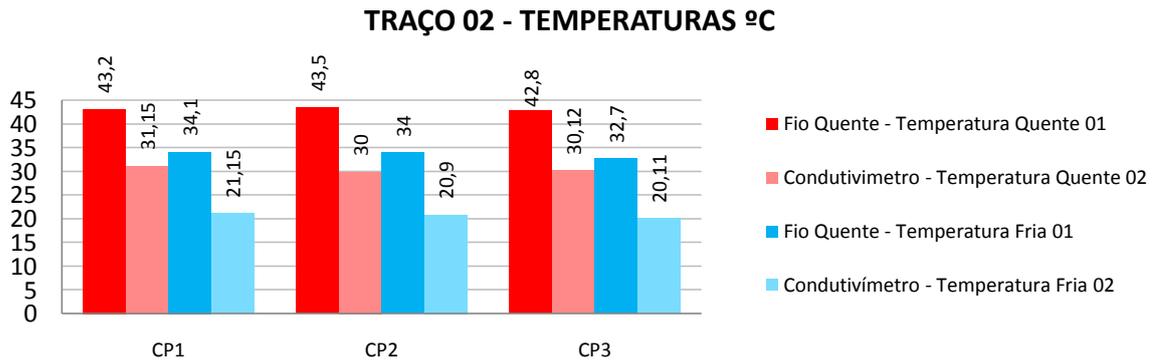


Figura 41. Temperaturas T_Q e T_F Ensaios do Fio Quente e Condutivímetro K30 - Traço 02
Fonte: Elaborado pelo autor, 2018

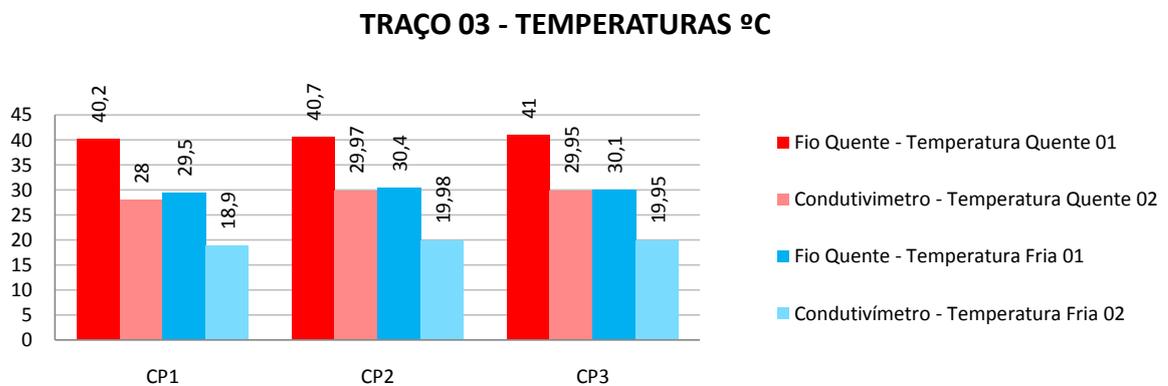


Figura 42. Temperaturas T_Q e T_F Ensaios do Fio Quente e Condutivímetro K30 - Traço 03
Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

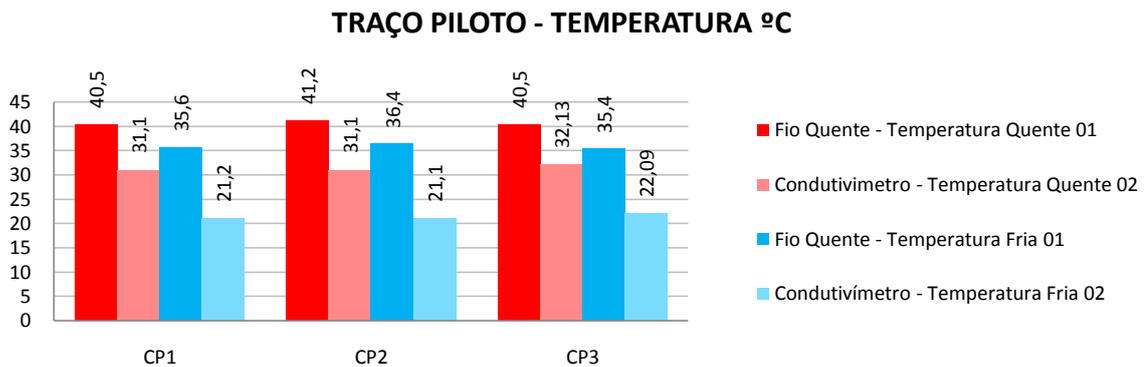


Figura 43. Temperaturas T_Q e T_F Ensaios do Fio Quente e Condutivímetro K30 - Traço Piloto.
Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

Após os ensaios do fio quente e do Condutivímetro K 30 foram testados os protótipos de paredes 01, 02, e 03 na câmara térmica do LABEME calibrada para a amplitude térmica de João Pessoa, com os resultados descritos em curvas de aquecimento e resfriamento representadas nos gráficos das Figuras 44, 45, 46, 47 e 48 que mostram o comportamento

térmico das paredes protótipos no ciclo térmico contínuo de 16 h que simula o aquecimento durante 8h (dia) e resfriamento 8h (noite), onde a maior diferença de temperatura entre os ambientes externo e interno está na parede 03 comparada a de blocos cerâmicos.

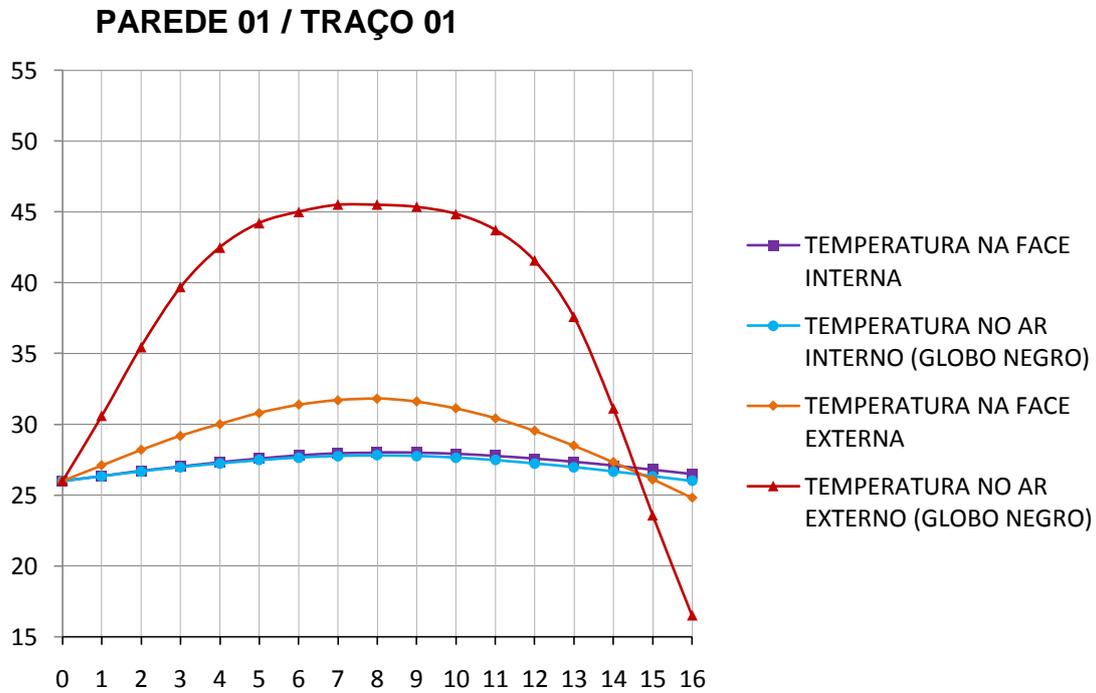


Figura 44. Curvas de aquecimento e resfriamento da parede 01 / traço 01.
Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

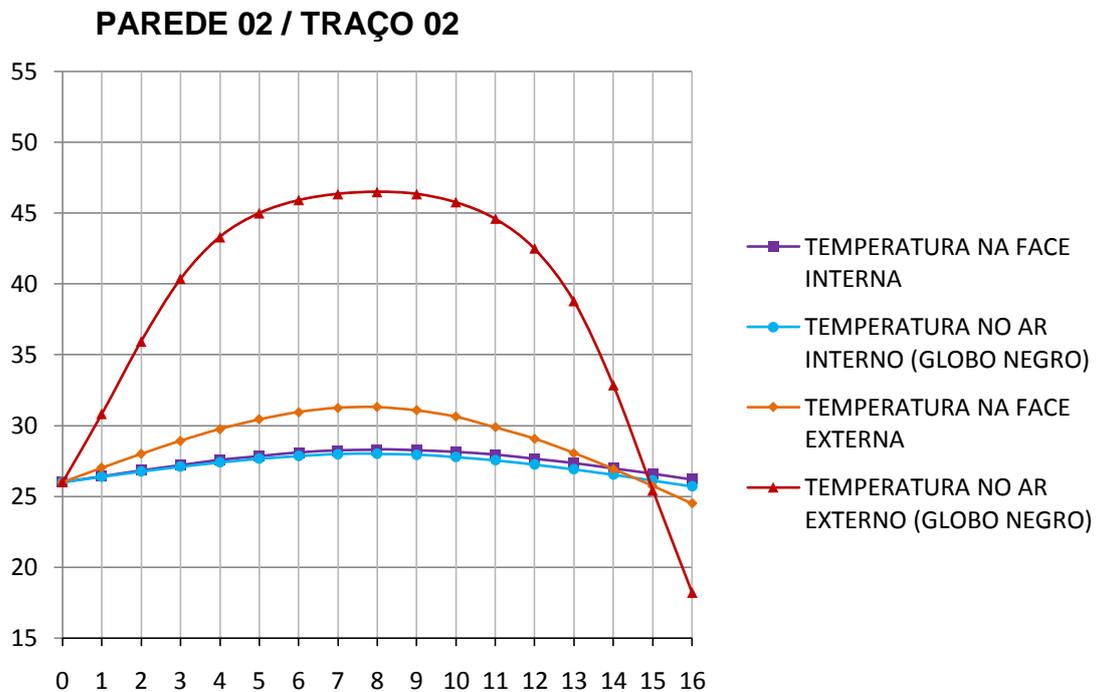


Figura 45. Curvas de aquecimento e resfriamento da parede 02 / traço 02.
Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

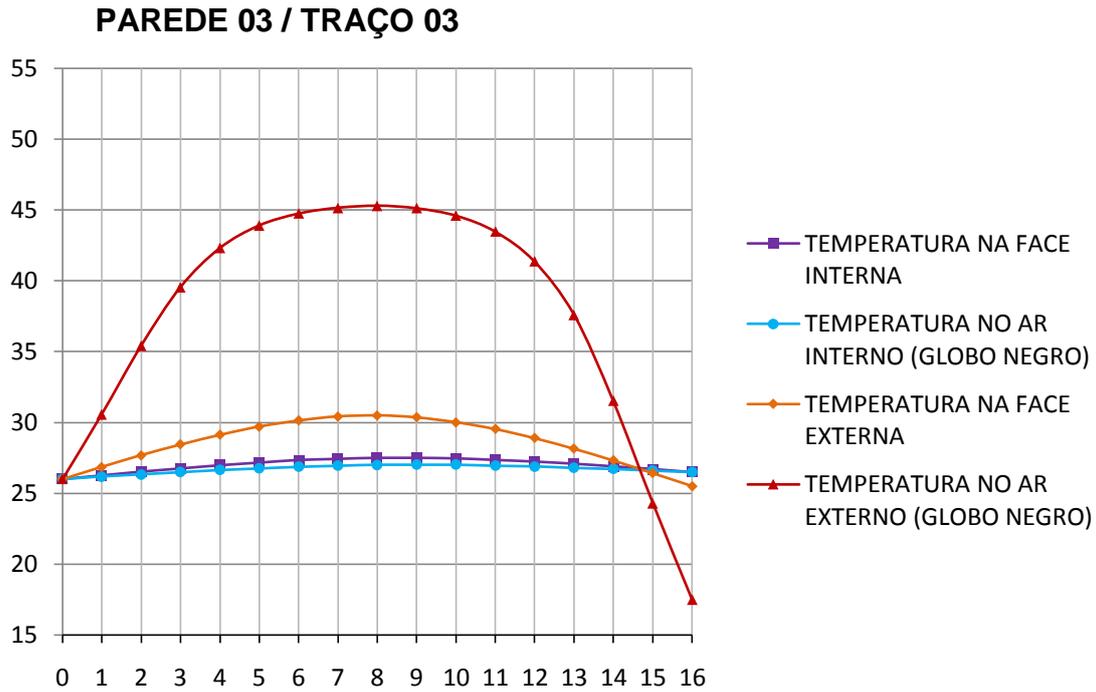


Figura 46. Curvas de aquecimento e resfriamento da parede 03 / traço 03.
Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

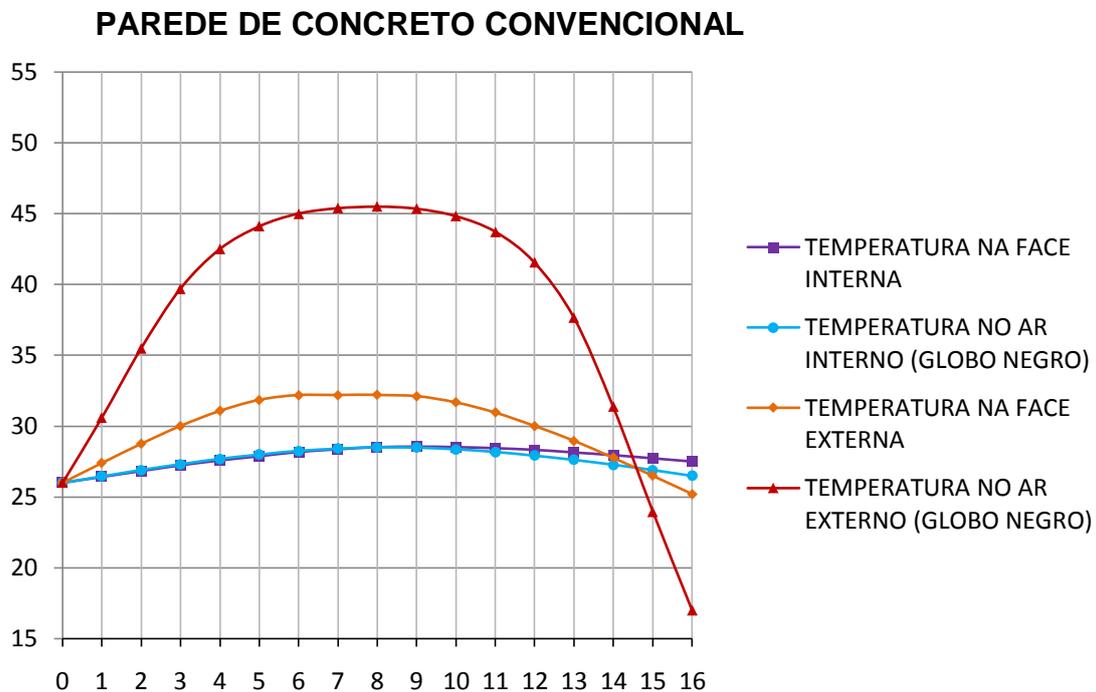


Figura 47. Curvas de aquecimento e resfriamento da parede de concreto convencional.
Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

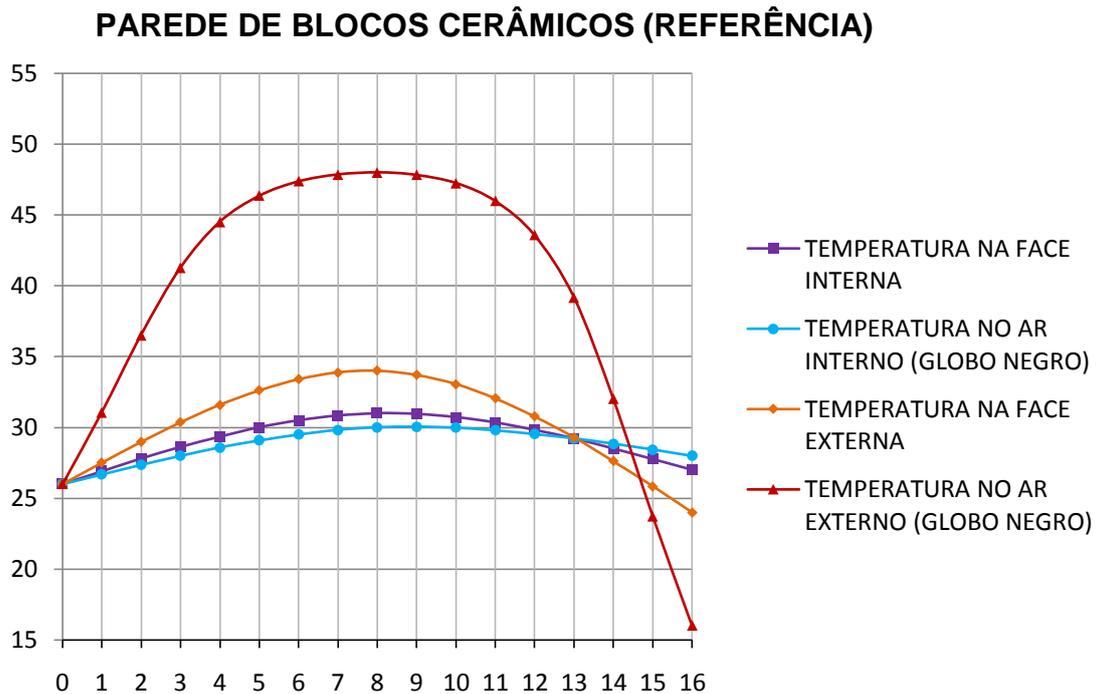


Figura 48. Curvas de aquecimento e resfriamento da parede de blocos cerâmicos (referência).
Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

Os resultados foram obtidos do sistema de aquisição de dados DAQ Quantum X Universal da câmara térmica com os valores anotados nas tabelas 25, 26, e 27 do Apêndice 02 comparando os ensaios térmicos das paredes 01, 02 e 03 que foram moldadas com os traços 01, 02 e 03 respectivamente com a parede de blocos cerâmicos ensaiada por Gomes (2015) na câmara térmica do LABEME, previamente aferida para simular o ciclo térmico diurno e noturno para cidade de João Pessoa.

Os gráficos abaixo comparam as temperaturas de pico verificadas simultaneamente para as faces interna e externa de um ambiente, registrando os valores da temperatura quente (T_Q), temperatura fria (T_F) e a temperatura do ar (globo negro), simulando a amplitude térmica do período de aquecimento e resfriamento, tomando por base uma temperatura ambiente (T_A) de 26°C .

TRAÇO 01 - TEMPERATURA DA FACE INTERNA - °C

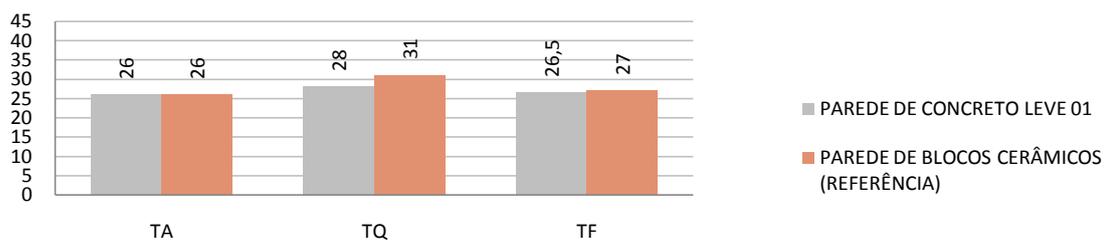


Figura 49. Temperatura da face interna – Parede 01 / Traço 01
Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

TRAÇO 01 - TEMPERATURA DO AR INTERNO (GLOBO NEGRO) - °C

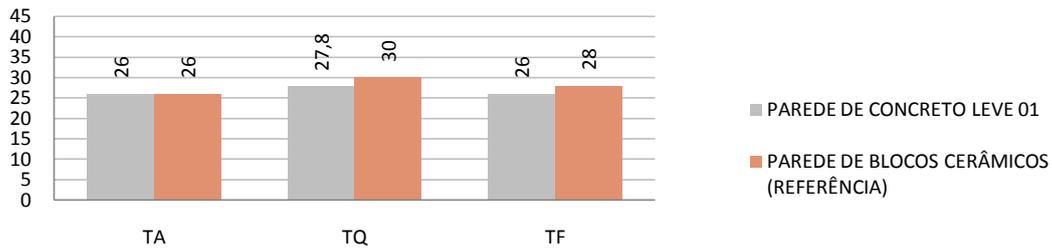


Figura 50. Temperatura do ar interno (globo negro) – Parede 01 / Traço 01
Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

TRAÇO 01 - TEMPERATURA DA FACE EXTERNA - °C

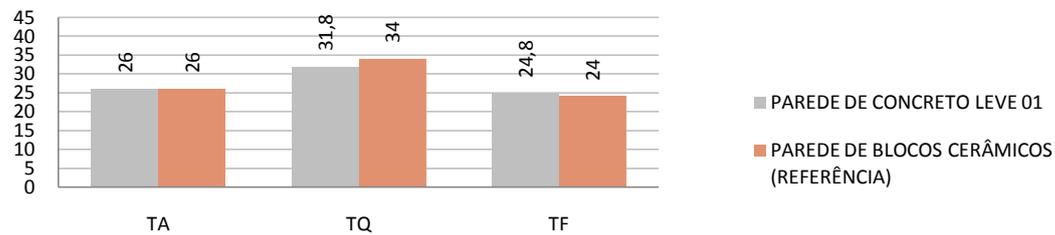


Figura 51. Temperatura da face externa – Parede 01 / Traço 01
Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

TRAÇO 01 - TEMPERATURA DO AR EXTERNO (GLOBO NEGRO) - °C

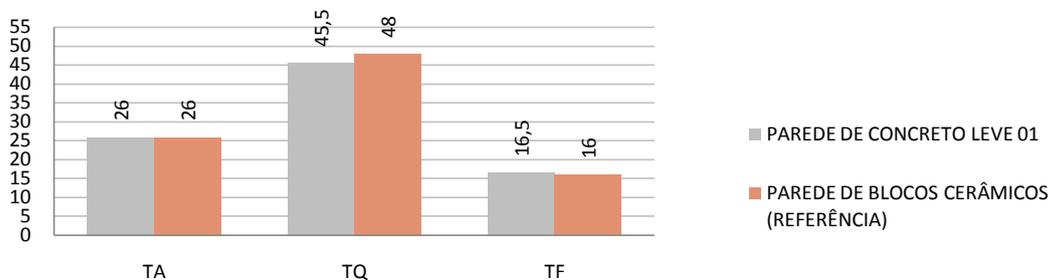


Figura 52. Temperatura do ar externo (globo negro) – Parede 01 / Traço 01
Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

TRAÇO 02 - TEMPERATURA DA FACE INTERNA - °C

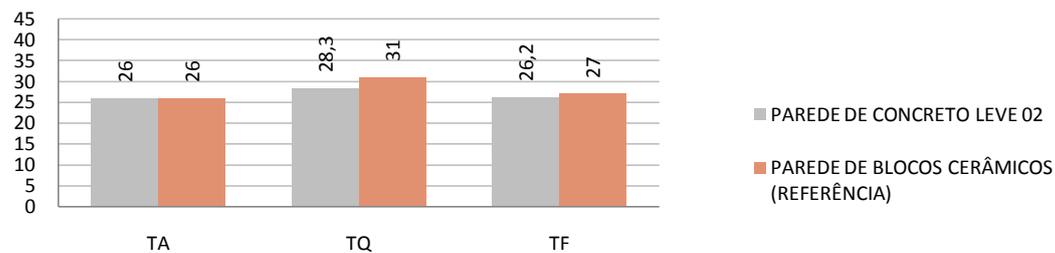


Figura 53. Temperatura da face interna – Parede 02 / Traço 02
Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

TRAÇO 02 - TEMPERATURA DO AR INTERNO (GLOBO NEGRO) - °C

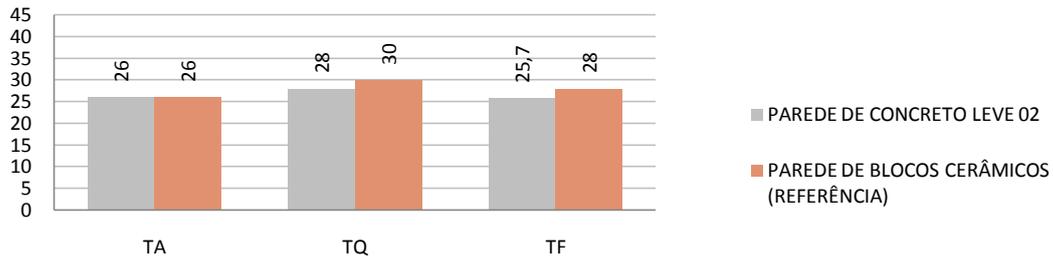


Figura 54. Temperatura do ar interno (globo negro) – Parede 02 / Traço 02

Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

TRAÇO 02 - TEMPERATURA DA FACE EXTERNA - °C

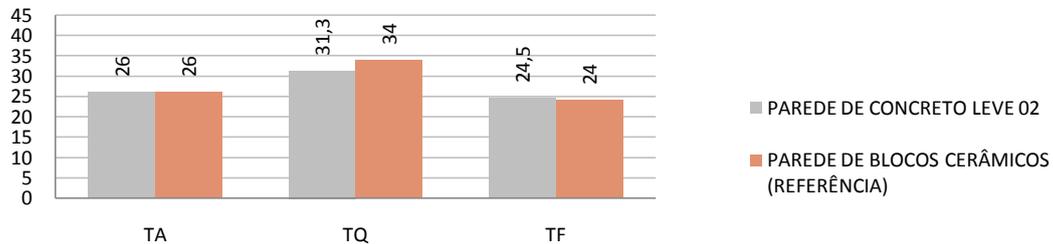


Figura 55. Temperatura da face externa – Parede 02 / Traço 02

Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

TRAÇO 02 - TEMPERATURA DO AR EXTERNO (GLOBO NEGRO) - °C

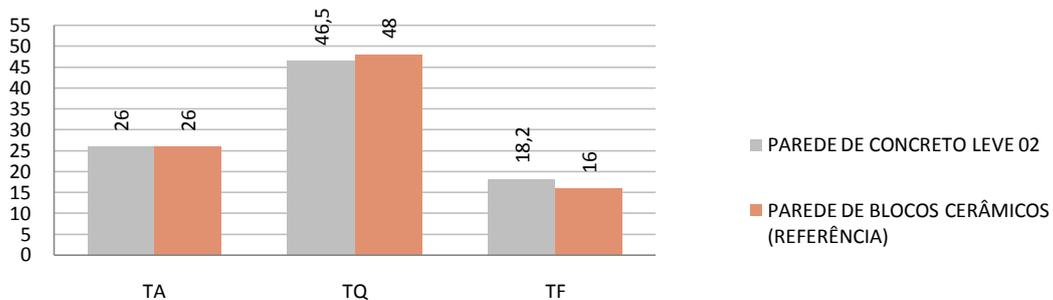


Figura 56. Temperatura do ar externo (globo negro) – Parede 02 / Traço 02

Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

TRAÇO 03 - TEMPERATURA DA FACE INTERNA - °C

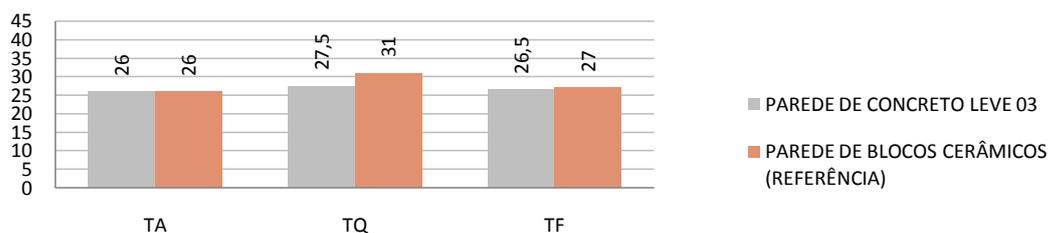


Figura 57. Temperatura da face interna – Parede 03 / Traço 03

Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

TRAÇO 03 - TEMPERATURA DO AR INTERNO (GLOBO NEGRO) - °C

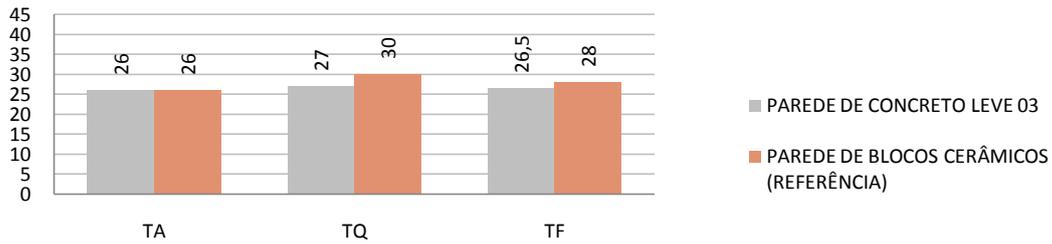


Figura 58. Temperatura do ar interno (globo negro) – Parede 03 / Traço 03
Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

TRAÇO 03 - TEMPERATURA DA FACE EXTERNA - °C

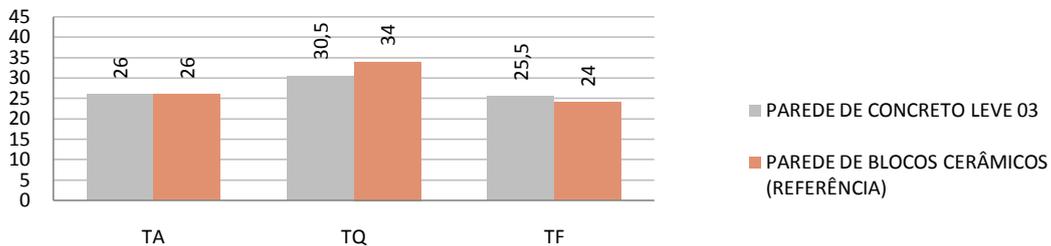


Figura 59. Temperatura da face externa – Parede 03 / Traço 03
Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

TRAÇO 03 - TEMPERATURA DO AR EXTERNO (GLOBO NEGRO) - °C

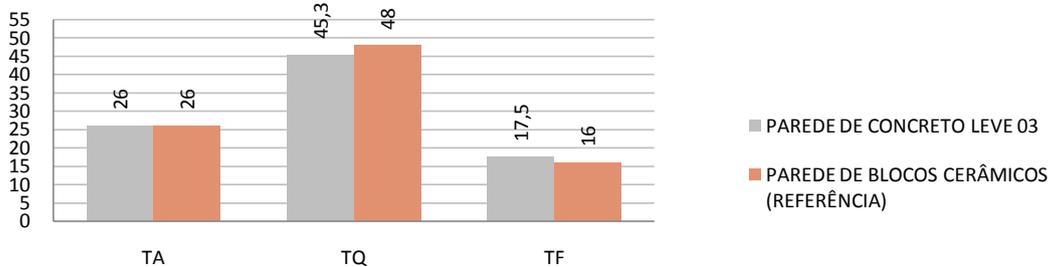


Figura 60. Temperatura do ar externo (globo negro) – Parede 03 / Traço 03
Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

TRAÇO PILOTO - TEMPERATURA DA FACE INTERNA - °C

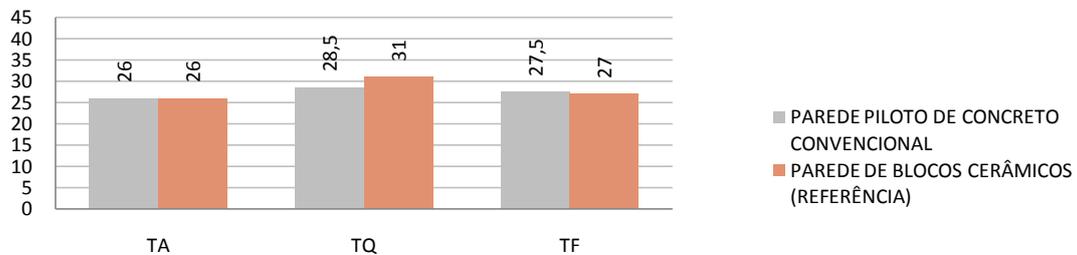


Figura 61. Temperatura da face interna – Parede piloto / Traço piloto
Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

TRAÇO PILOTO - TEMPERATURA DO AR INTERNO (GLOBO NEGRO) - °C

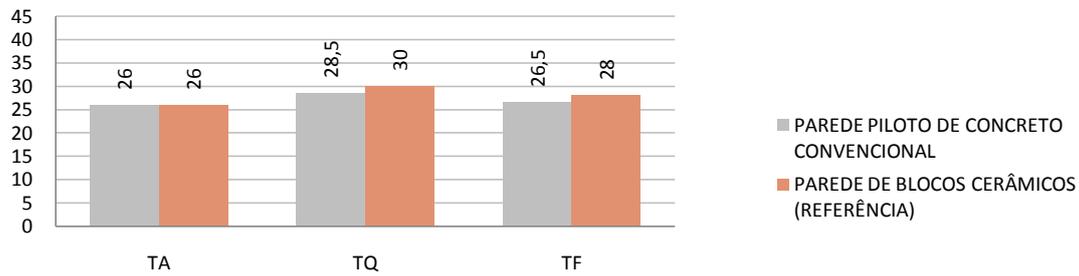


Figura 62. Temperatura do ar interno (globo negro) – Parede piloto / Traço piloto
Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

TRAÇO PILOTO - TEMPERATURA DA FACE EXTERNA - °C

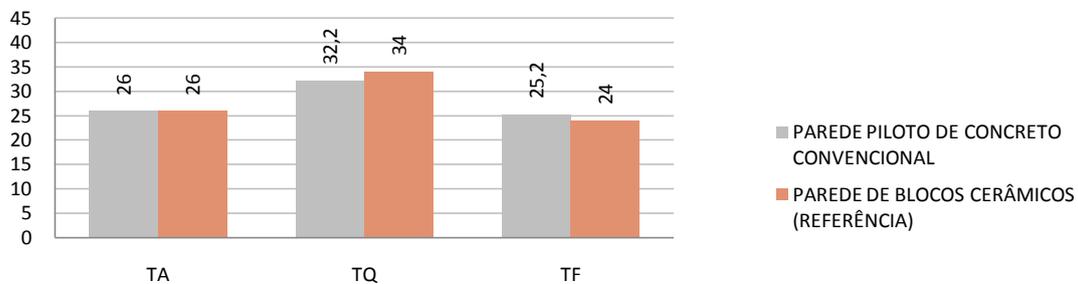


Figura 63. Temperatura da face externa – Parede piloto / Traço Piloto
Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

TRAÇO PILOTO - TEMPERATURA DO AR EXTERNO (GLOBO NEGRO) - °C

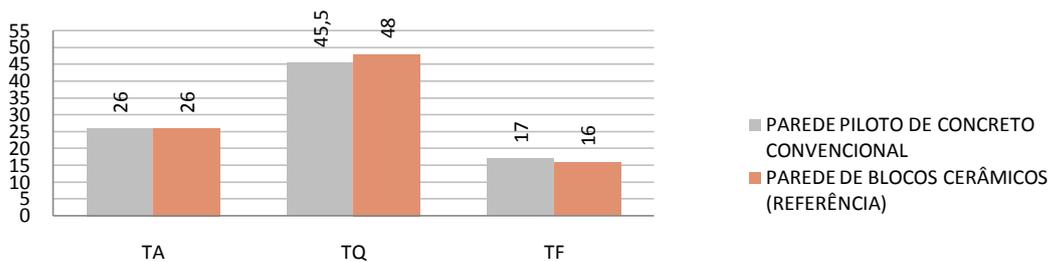


Figura 64. Temperatura do ar externo (globo negro) – Parede piloto / Traço Piloto
Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

A compilação dos gráficos com os valores obtidos dos ensaios das paredes protótipos na câmara térmica do LABEME, comparados aos testes de condutividade e resistência térmica realizados nos testes do fio quente e no Condutímetro K 30, mostraram resultados aproximados nas três séries de corpos de provas ensaiados, observando valores mais eficientes na série do traço 3 (Tabela 21) como a melhor para os valores de referência da parede de blocos cerâmicos ensaiada por Gomes (2015)

Tabela 21. Composição do traço 03 e ensaios de peso e resistência mecânica e eficiência térmica.

TRAÇO 03	CIMENTO		AREIA		ARGILA EXPANDIDA		ÁGUA		METACAULIM		VERMICULITA		SUPERPLASTIFICANTEB AUTHEC	
	1		1,42		1,66		1		10%		5%		6%	
PESO KG/ TENSÃO MPA (Cura aos 28 Dias)	CORPO DE PROVA: CP1				CORPO DE PROVA: CP2				CORPO DE PROVA: CP3					
	2,18		11,2		2,21		11,45		2,19		11,42			
CONDUTIVIDADE FIO QUENTE (Tamb = 26,0°C)	T-Q	T-F	K(W/Mk)	R(m².K/W)	T-Q	T-F	K(W/Mk)	R(m².K/W)	T-Q	T-F	K(W/Mk)	R(m².K/W)		
	40,2°C	29,5°C	0,16	174,9	40,7°C	30,4°C	0,16	172,2	41,0°C	30,1°C	0,16	159,7		
CONDUTIVIDADE E RESISTÊNCIA TÉRMICA: Conduktivímetro K30.(TEMPERATU- RA MÉDIA = 25°C)	T-Q	T-F	K(W/Mk)	R(m².K/W)	T-Q	T-F	K(W/Mk)	R(m².K/W)	T-Q	T-F	K(W/Mk)	R(m².K/W)		
	28,0°C	18,9°C	0,17	163,1	29,97	19,98	0,16	165,7	29,95	19,95	0,16	161,5		
CICLOS TÉRMICOS: PAREDES DE CONCRETO. (Câmara Térmica)	PAREDE DE CONCRETO LEVE 03													
	TEMP. FACE INTERNA			TEMP. AR INTERNO (GLOBO NEGRO)			TEMP. FACE EXTERNA			TEMP. AR EXTERNO(GLOBO NEGRO)				
	TA	TQ	TF	TA	TQ	TF	TA	TQ	TF	TA	TQ	TF		
	26,0°C	27,5°C	26,5°C	26,0°C	27,0°C	26,5°C	26,0°C	30,5°C	25,5°C	26,0°C	45,3°C	17,5°C		
CICLOS TÉRMICOS: PAREDES DE CONCRETO. (Câmara Térmica)	PAREDE DE BLOCOS CERÂMICOS (Referência)													
	TEMP. FACE INTERNA			TEMP. AR INTERNO (GLOBO NEGRO)			TEMP. FACE EXTERNA			TEMP. AR EXTERNO(GLOBO NEGRO)				
	TA	TQ	TF	TA	TQ	TF	TA	TQ	TF	TA	TQ	TF		
	26,0°C	31,0°C	27,0°C	26,0°C	30,0°C	28,0°C	26,0°C	34,0°C	24,0°C	26,0°C	53,0°C	16,0°C		

Fonte: Elaborado pelo autor, 2018

Concluídas as séries de ensaios de resistência mecânica e térmica ficou evidente nos resultados da tabela 21 que a parede 03 moldada com o compósito definido no traço 03, reúne estas propriedades compatíveis com o desenvolvimento do processo construtivo pré-fabricado.

4.4 DESENVOLVIMENTO DO PROJETO ARQUITETÔNICO

De acordo com as diretrizes estabelecidas na revisão bibliográfica e nos estudos de compatibilidade desenvolvidos, foi adotado o sistema construtivo pré-fabricado com o compósito cimentício leve como uma alternativa de sustentabilidade viável ao processo construtivo de blocos cerâmicos tradicional.

As abordagens consideradas proporcionaram uma qualificação bioclimática ao sistema construtivo proposto (Figura 65) através da adoção dos seguintes pontos:

- 1 Adotar sistema modular de encaixes para a construção pré-fabricada no canteiro;
- 2 Criar diferentes alturas de tetos com aberturas protegidas para promover a ventilação;
- 3 Utilizar vedações e esquadrias vazadas para potencializar a climatização natural;
- 4 Eliminar circulações entre os ambientes internos para facilitar a ventilação cruzada

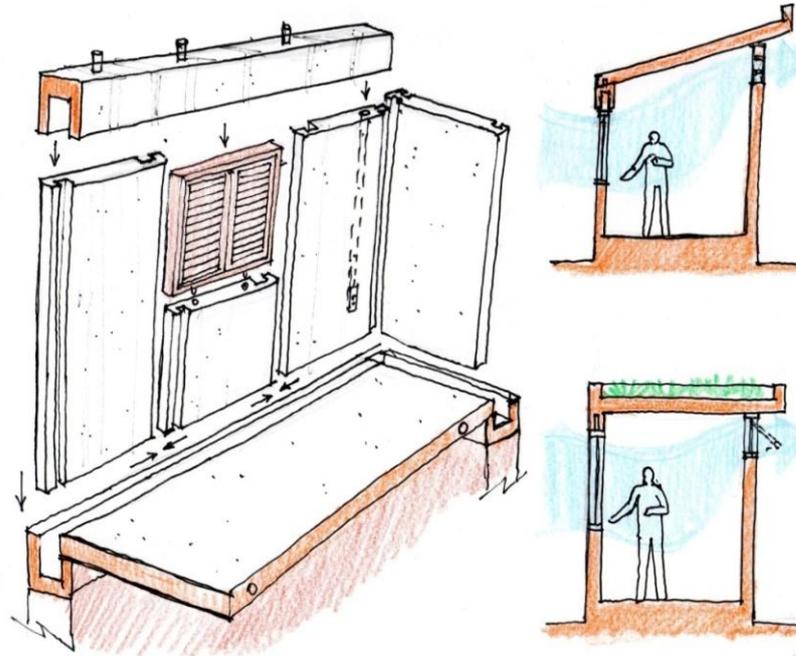


Figura 65. Proposta do sistema pré-fabricado em compósito cimentício e sistemas de ventilação naturais.
Fonte: Elaborado pelo autor, 2016

O desenvolvimento do projeto arquitetônico da casa popular pré-fabricada foi concebido a partir dos conceitos da arquitetura bioclimática e das diretrizes projetivas obtidas com a revisão bibliográfica e no estudo de projeto correlato.

O lote escolhido para esse estudo está localizado no Loteamento Tibiri II na Cidade de Santa Rita PB, com as seguintes dimensões, 25,00m x 25,00m, com orientação Sul (frente) Norte e apresenta topografia plana.

O partido arquitetônico adotado para esse projeto de casa popular definiu um parcelamento longitudinal do lote a cada 5,00m no sentido Sul/ Norte, em que cada casa geminada foi definida pelo bloco íntimo (quartos e banheiros) com aberturas Sul / Norte e um espaço livre que acomoda as áreas sociais (terraço, estar, jantar, cozinha e serviço) permitindo livre fluxo da ventilação dominante, que é reforçada pelas aberturas superiores, Figura 66.

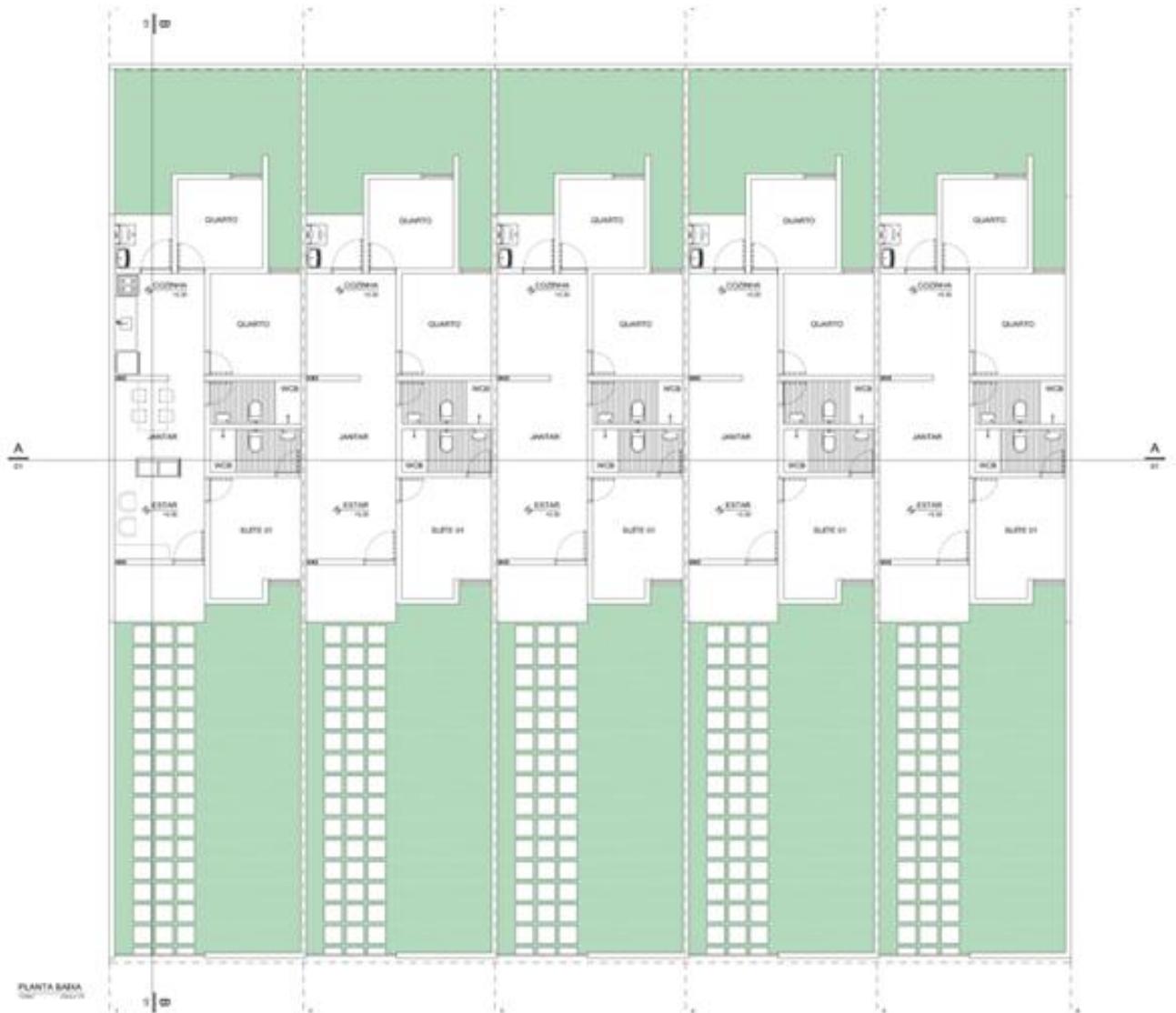


Figura 66. Planta baixa proposta.
Fonte: Elaborado pelo autor, 2016.

A estratégia de implantação das casas, definidas pelo partido arquitetônico, permitiram o estudo de duas opções de cobertas, Protótipo 01 com laje inclinada e Protótipo 02 com laje plana, com diferentes alturas para viabilizar a climatização natural através do processo de captação e exaustão da ventilação cruzada em todos os ambientes das residências, conforme ilustrado nos cortes e fachadas das figuras 67, 68 e 69.

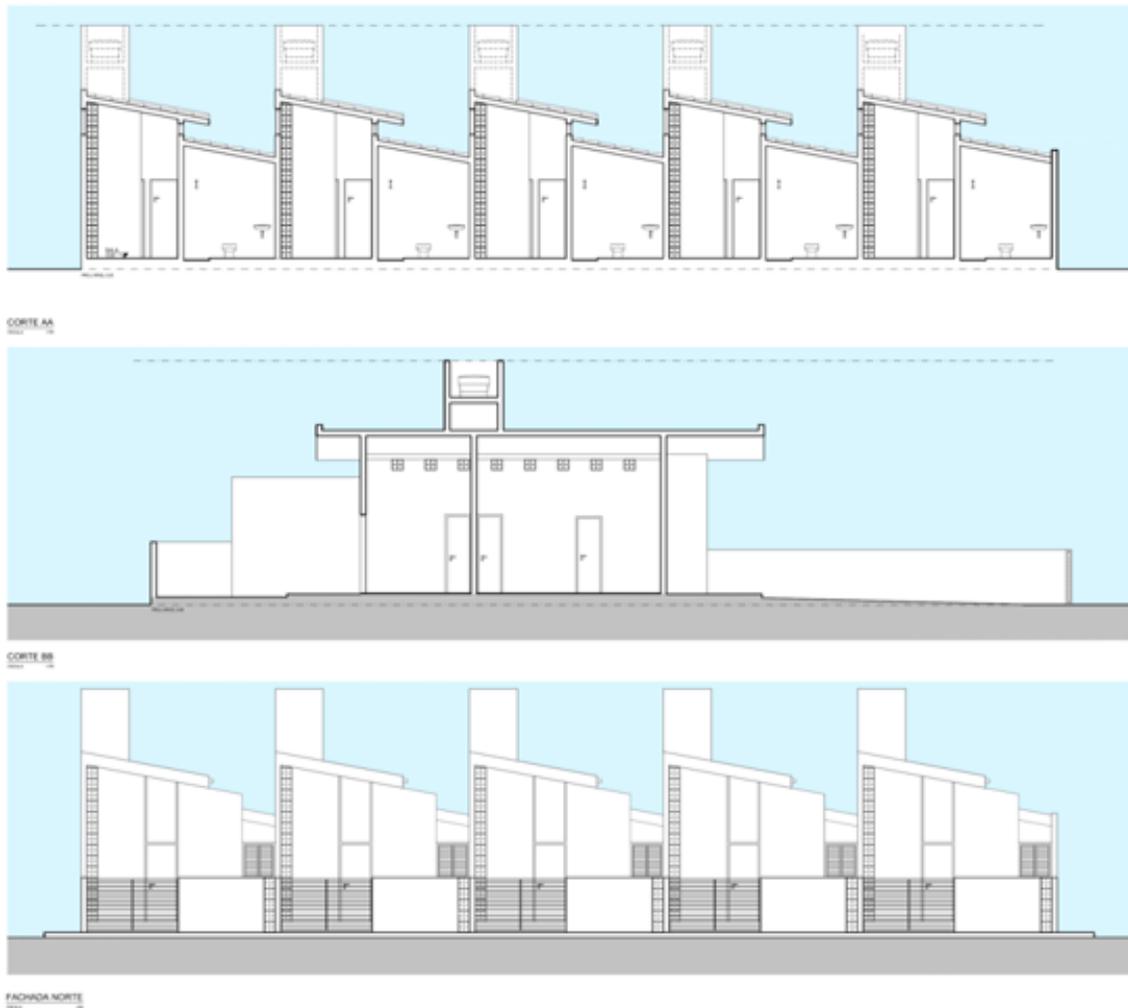


Figura 67, 68 e 69. Cortes e fachadas do Protótipo 01 com laje inclinada pré-fabricada em compósito cimentício. Fonte: Elaborado pelo autor, 2016.

O sistema construtivo pré-fabricado desenvolvido nessa pesquisa para a casa popular adotou a modulação das placas/parede em 1,00 m de largura e alturas variáveis compatíveis com as diferentes necessidades de vedação do projeto (paredes, janelas baixas, janelas altas e aberturas vazadas). Esse dimensionamento aliado à leveza dos painéis facilita o trabalho de moldagem e manuseio das placas paredes no canteiro de obras sem a necessidade de guindastes ou tecnologias sofisticadas, possibilitando inclusive a construção em “mutirão” para situações de interesse social. A Figura 70 ilustra os diferentes componentes e montagem da casa Protótipo 02.

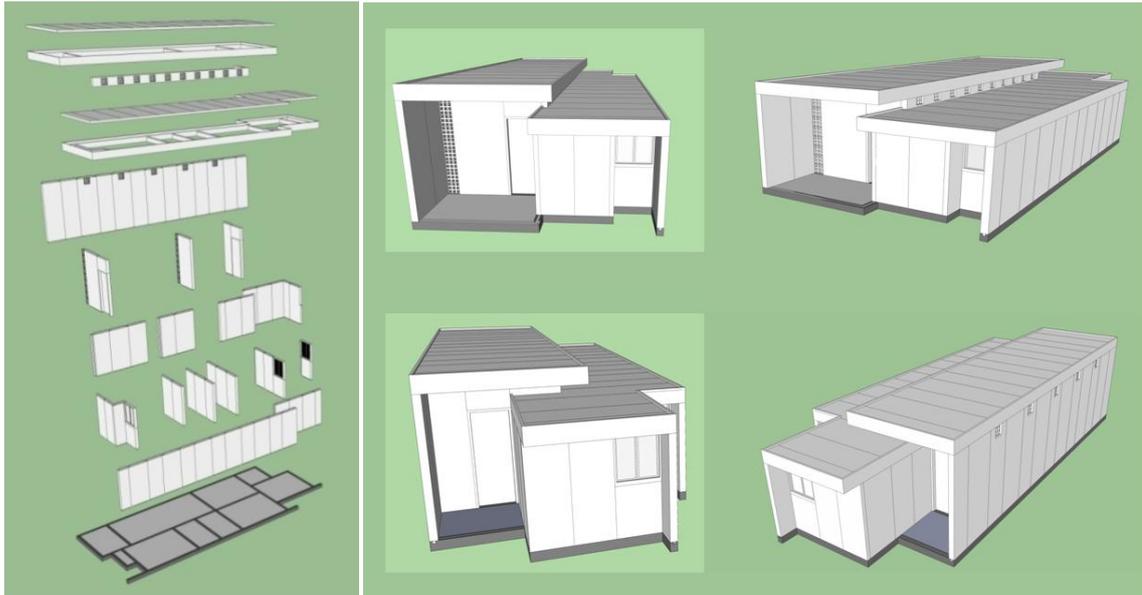


Figura 70. Sistema de montagem do Protótipo 02 com laje plana pré-fabricada em compósito cimentício. Fonte: Elaborado pelo autor, 2016.

A funcionalidade espacial e térmica do projeto proposto respondeu às diretrizes e conceitos bioclimáticos propostos para uma habitação de interesse social, na qual a versatilidade do sistema construtivo proposto pode ser adaptado a diferentes situações de terrenos através da moldagem específica das peças de embasamento que suportam as placas de contrapiso.



Figura 71 e 72. Perspectivas interna e externas do Protótipo 02 com laje plana pré-fabricada em compósito cimentício. Fonte: Elaborado pelo autor, 2016.

As estratégias bioclimáticas para a climatização natural da habitação foram definidas como complementares às propriedades térmicas dos elementos pré-fabricados com o compósito desenvolvido, promovendo sistemas de ventilação cruzada através de placas janela e elementos vazados que locados na direção da ventilação dominante permite a aeração

constante dos ambientes, evitando a transferência térmica do calor absorvido pelas paredes para os ambientes internos (LAMBERTS et al. (2010).

Outra técnica de ventilação cruzada adotada foram as aberturas entre diferentes alturas de tetos (Figura 73) que permitem um fluxo de ventilação superior para evitar a transferência térmica do calor incidente nas cobertas para o interior formando bolsões de ar quente estáticos.

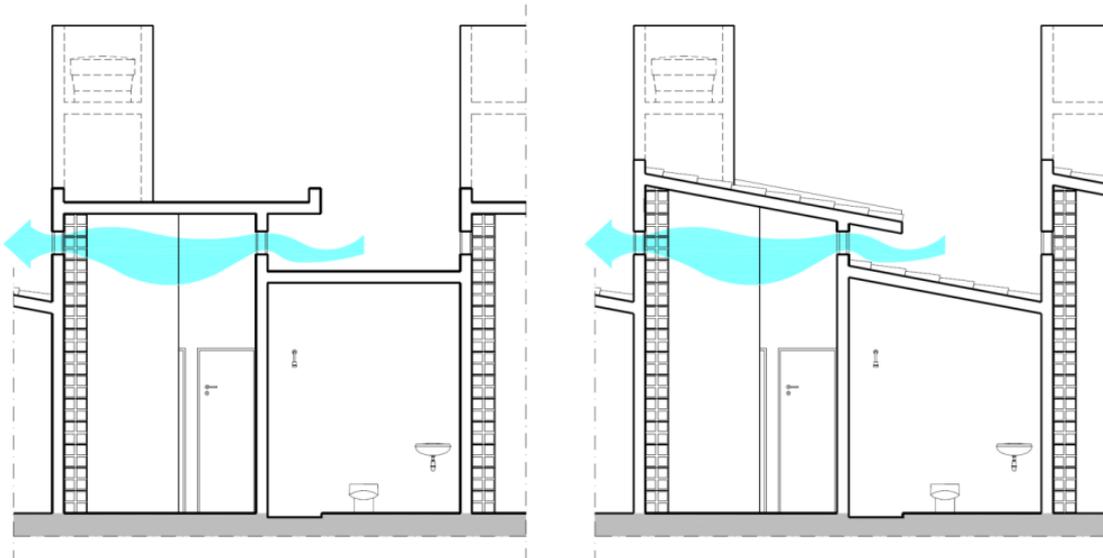


Figura 73. Cortes do Protótipo 01 com laje plana e inclinada pré-fabricada em concreto leve.
Fonte: Elaborado pelo autor, 2016

De acordo com Holanda (2010) deve-se deixar fluir os espaços e o ar através dos planos vazados, mas também proteger as aberturas contra os rigores do clima tropical caracterizado por insolação intensa e chuvas esporádicas. Nesse sentido foi priorizado o uso de beirais nos planos de cobertura para proteção das aberturas e janelas, permitindo que as mesmas permaneçam abertas a maior parte do tempo e protegidas da insolação direta e dos respingos de chuva nos ambientes internos.

Conforme o projeto arquitetônico (Apêndice 4), os resultados alcançados com essa proposta arquitetônica abrangem as diretrizes projetivas estabelecidas para o sistema modular concebido, adotando estratégias bioclimáticas nos três parâmetros vitruvianos que definem a coerência arquitetônica de uma edificação: Funcionalidade com ambientes abertos e contíguos sem circulações, organizados pela ordem de privacidade liberando o fluxo livre dos usuários e da ventilação. Estrutura autoportante definida pelas paredes estruturais. Estética justificada pela geometria da planta, pelas aberturas e elementos de proteção. A aplicação de cores complementares alternadas diferencia as unidades e conferem harmonia à composição, (Figuras 74 a 79).

Perspectivas do Protótipo 01



Figura 74. Perspectivas externas do Protótipo 01 / laje inclinada pré-fabricada em compósito cimentício.
Fonte: Elaborado pelo autor, 2016.

Perspectivas do Protótipo 02



Figura 75. Perspectivas externas do Protótipo 02 com laje plana pré-fabricada em compósito cimentício.
Fonte: Elaborado pelo autor, 2016.

5. CONCLUSÕES

Os resultados alcançados na pesquisa dos conteúdos teóricos e ensaios técnicos convergiram para trazer respostas aos objetivos propostos na pesquisa, confirmando a pertinência das propriedades de peso, resistência mecânica e térmica do compósito para moldagem de painéis de vedação do sistema de construção pré-fabricado em substituição ao sistema de construção tradicional de blocos cerâmicos.

Inicialmente a revisão bibliográfica indicou a supremacia do sistema pré-fabricado abordando aspectos de sustentabilidade na eficiência quanto ao desperdício e geração de detritos.

Quanto aos resultados dos testes de peso do compósito cimentício leve foram observadas pequenas diferenças de valores entre as amostras das três séries referentes a cada traço ensaiado. Esse fato foi atribuído a pequenas variações de adensamento ocorridas no preenchimento dos corpos de prova. A diferença de peso entre os três valores de pico obtidos para as três séries de amostras apresentou valores menores quando foi aumentada a porcentagem de vermiculita. O limite de 10% na substituição do agregado miúdo pela vermiculita foi estabelecido devido ao efeito de flutuação do agregado graúdo ocorrido nos ensaios de preenchimento de placas e corpos de provas. De acordo com os valores obtidos foi verificada uma redução máxima de 59% do valor de referência para o corpo de prova do traço Piloto.

Nos ensaios de resistência a compressão aos 28 dias de idade do compósito leve também houve variações de valores de tensão entre as três amostras de cada traço compatíveis com as variações de peso e a possibilidade da ocorrência de inconsistências no adensamento. Os menores resultados de resistência foram verificados nas amostras do traço 03 com maior porcentagem de vermiculita (10%) apresentando um valor de pico (46%) menor que valor de referência para o corpo de prova do traço Piloto. Mas esse valor demonstra eficiência na resistência a compressão de 39% e relação a alvenaria de blocos cerâmicos.

Os ensaios de eficiência térmica (fio quente, Conduvímeter K 30 e câmara térmica) também evidenciam a série do traço 03 com resultado de 4°C de eficiência em relação a parede de alvenaria de blocos cerâmicos, indicando a viabilidade do compósito leve para a usinagem do sistema pré-fabricado proposto.

6.SUGESTÕES PARA ESTUDOS FUTUROS

No entendimento da pesquisa como um horizonte infinito de possibilidades para novas descobertas apoiadas na construção participativa e sucessiva do conhecimento científico, a conclusão desse trabalho abre outros caminhos para as investigações futuras de eventuais lacunas ou temas correlatos ao presente estudo. Como sugestão de futuras pesquisas complementares fica os seguintes temas:

- Testar o compósito leve quanto à estanqueidade hídrica;
- Testar o compósito leve quanto a resistência ao fogo;
- Ensaiai painéis de vedação pré-fabricados com compósito leve quanto ao esforço de cargas de flambagem;
- Ensaiai painéis de vedação pré-fabricados com compósito leve quanto ao isolamento acústico;
- Investigar outras possibilidades arquitetônicas para construção pré-fabricada com o compósito leve
- Investigar a eficiência lumínica do projeto arquitetônico proposto.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGOPYAN, V.; SOUZA, U. E. L.; PALIARI, J.C.; ANDRADE, A. C. **Alternativas para a redução do desperdício de materiais nos canteiros de obras: Volume 1 - Apresentação Geral.** São Paulo: EPUSP/FINEP/ITQC, 1998. Disponível em: <<http://perdas.pcc.usp.br/index.htm>> Acesso em: 5 set. 2017.

AGOPYAN, V.; SOUZA, U. E. L.; PALIARI, J.C.; ANDRADE, A. C. **Alternativas para a redução do desperdício de materiais nos canteiros de obras: Volume 2 - Metodologia.** São Paulo: EPUSP/FINEP/ITQC, 1998. Disponível em: <<http://perdas.pcc.usp.br/index.htm>> Acesso em: 5 set. 2017.

AGOPYAN, V.; SOUZA, U. E. L.; PALIARI, J.C.; ANDRADE, A. C. **Alternativas para a redução do desperdício de materiais nos canteiros de obras: Volume 3 - Resultados e análises: areia, pedra, saibro, cimento, cal argamassa produzida em obra, concreto produzida em obra e argamassa parcial ou totalmente produzida fora do canteiro.** São Paulo: EPUSP/FINEP/ITQC, 1998. Disponível em: <<http://perdas.pcc.usp.br/index.htm>> Acesso em: 5 set. 2017.

AGOPYAN, V.; SOUZA, U. E. L.; PALIARI, J.C.; ANDRADE, A. C. **Alternativas para a redução do desperdício de materiais nos canteiros de obras: Volume 4 - Resultados e análises: aço, concreto usinado e blocos/tijolos.** São Paulo: EPUSP/FINEP/ITQC, 1998. Disponível em: <<http://perdas.pcc.usp.br/index.htm>> Acesso em: 5 set. 2017.

AGOPYAN, V.; SOUZA, U. E. L.; PALIARI, J.C.; ANDRADE, A. C. **Alternativas para a redução do desperdício de materiais nos canteiros de obras: Volume 5 - Resultados e análises: eletrodutos, condutores, tubos de PVC, placas cerâmicas, tintas, revestimento têxtil, gesso.** São Paulo: EPUSP/FINEP/ITQC, 1998. Disponível em: <<http://perdas.pcc.usp.br/index.htm>> Acesso em: 5 set. 2017.

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. **ACI 213R-87:** guide for structural lightweight aggregate concrete. Farmington Hills, USA, 1999.

ANDRADE, Vanessa Adriano. Modelagem dos custos para casas de classe média. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 1996.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 35:** Agregados leves para concreto estrutural - Especificação. Rio de Janeiro, 1995.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 45:** Agregados - Determinação da massa unitária e do volume de vazios. Rio de Janeiro, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 53**: Agregado graúdo - Determinação de massa específica, massa específica aparente e absorção de água. Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 248**: Agregados - Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5733**: Cimento Portland de alta resistência inicial. Rio de Janeiro, 1991.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738**: Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739**: Concreto - Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7211**: Agregados para concreto - Especificação. Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10004**: Resíduos sólidos - Classificação. Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11768**: Aditivos químicos para concreto de cimento Portland – Requisitos. Rio de Janeiro, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12644**: Concreto leve celular estrutural - Determinação da densidade de massa aparente no estado fresco Rio de Janeiro , 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12655**: Concreto de cimento Portland - Preparo, controle, recebimento e aceitação - Procedimento. Rio de Janeiro, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14859**: Lajes pré-fabricadas de concreto. Rio de Janeiro, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15215-1**: Iluminação natural - Parte 1: Conceitos básicos e definições. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15215-2**: Iluminação natural - Parte 2 - Procedimentos de cálculo para a estimativa da disponibilidade de luz natural. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15215-3**: Iluminação natural - Parte 3: Procedimento de cálculo para a determinação da iluminação natural em ambientes internos. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15215-4**: Iluminação natural - Parte 4: Verificação experimental das condições de iluminação interna de edificações - Método de medição. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-1**: Desempenho térmico de edificações - Parte 1: Definições, símbolos e unidades. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-2**: Desempenho térmico de edificações - Parte 2: Método de célula da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-3**: Desempenho térmico de edificações - Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-4**: Desempenho térmico de edificações - Parte 4: Medição da resistência térmica e da condutividade térmica pelo princípio da placa quente protegida. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-5**: Desempenho térmico de edificações - Parte 5: Medição da resistência térmica e da condutividade térmica pelo método fluximétrico. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-1**: Edificações habitacionais - Desempenho - Parte 2: Requisitos gerais. Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-2**: Edificações habitacionais - Desempenho - Parte 2: Requisitos para os sistemas estruturais. Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15894-1**: Metacaulim para uso com cimento Portland em concreto, argamassa e pasta - Parte 1: requisitos. Rio de Janeiro, 2010.

AZEVEDO. Sérgio, ANDRADE. Luiz. A. G. **Habitação da Fundação da Casa Popular ao Banco Nacional de Habitação**. 1ª edição. Rio de Janeiro: Centro Edelstein de Pesquisas Sociais, 2011.

BARDOU, Patrick; ARZOUMANIAN, Varoujan. **Sol y arquitectura**. Barcelona: Ed. G. Gili, 1980.

BAPTISTA. S. M. **Racionalização e Industrialização da Construção Civil**. Universidade Federal de São Carlos 2005.

BEZERRA, A. J. V. **Utilização do Resíduo da Indústria de Calçados (EVA – Etileno Acetato de Vinila) como agregado Leve na Produção de Blocos Vazados de Concreto para Alvenaria sem Função Estrutural**. Dissertação (Mestrado) – Curso de Ciência e Tecnologia, Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande, 2002.

BRUNA, P. **Arquitetura, industrialização e desenvolvimento**. São Paulo:EDUSP/Perspectiva, 1976. Coleção Debates, número 135.

CARSLAW, H. S.; JAEGER J. C. **Conduction of heat in solids**, England: Oxford University Press, 1986.

CLIMATE-DATA.ORG. **Clima: João Pessoa**. Disponível em: <<https://pt.climate-data.org/location/4983/>> Acesso em: 18jun. 2017.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA. **Resolução CONAMA Nº 001**. Brasília, jan. 1986.

CORBELLA, Oscar; YANNAS, Simas. **Em busca de uma arquitetura sustentável para os trópicos. Conforto Ambiental**. 2. ed. Rio de Janeiro: Projeto Editora, 2011.

DE MELO, A. B. **Avaliação do desempenho térmico de paredes executadas com diferentes materiais em condições variáveis de oscilações de temperaturas superficiais**. Relatório Final - Programa De Iniciação Científica – PIBIC, Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa, 2015.

FARIA, Renato. Industrialização econômica. **Revista Técnica**, São Paulo:n. 136. Jul. 2008.Disponível em: <<http://techne.pini.com.br/engenhariacivil/136/artigo286523-1.aspx>>. Acesso em:20 out. 2017.

FELICIANO. Saulo; TENCA, Gustavo dos S. C.; PELAIIO, Giuliano A.; CARDONA, Inácio; SOUZA, Érica C. R. Economia que não discrimina. In: TEDESCHI, Altamir (Org.) **Sustentabilidade e Inovação na Habitação Popular: O desafio de propor modelos eficientes de moradia**. São Paulo: Governo do Estado de São Paulo, 2010.

FROTA, Anésia. B.; SCHIFFER, Sueli R. **Manual de conforto térmico**. 5 ed. São Paulo: Studio Nobel, 2001.

GREVEN, Hélio A.; BALDAUF, Alexandra S. F. **Introdução à coordenação modular da construção no Brasil: Uma abordagem atualizada.** Porto Alegre: ANTAC, 2007.

GOMES, E. G. S. **Desempenho térmico de alvenarias: uma alternativa com o uso de blocos EVA.** Dissertação (Mestrado) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2015.

HOLANDA, Armando de. **Roteiro para construir no nordeste.** 2 ed. Recife: Instituto dos Arquitetos do Brasil – PE, Universidade Federal de Pernambuco, Programa de Pós-graduação em Desenvolvimento Urbano, 2010.

INCROPERA, Frank P.; DEWITT, David P. **Fundamentos de Transferência de Calor e de Massa.** 7ed. Rio de Janeiro: LTC, 2014

FOURIER, Jean B.J., **Théorie Analytique de la Chaleur** (Firmin Didot, Paris, 1822). Disponível em <http://www.e-rara.ch/doi/10.3931/e-rara-19706>. Acesso em nov. 2017.

LAMBERTS, Roberto; GHISI, Enedir; PEREIRA, Cláudia Donald; BATISTA, Juliana Oliveira. **Casa Eficiente: Simulação Computacional Do Desempenho Termo-Energético.** Florianópolis: UFSC/LabEEE, 2010.

LISBOA, Paulo; AMADO, Eloise. Habitação de Interesse Social Sustentável: Um caminho a seguir, casas que fazem cidades. In: TEDESCHI, Altamir (Org.) **Sustentabilidade e Inovação na Habitação Popular: O desafio de propor modelos eficientes de moradia.** São Paulo: Governo do Estado de São Paulo, 2010.

KARPINSKI, L. A.; PANDOLFO, A.; REINEHER, R.; GUIMARÃES, J. C. B.; PANDOLFO, L. M., KUREK, J. **Gestão Diferenciada de Resíduos na Construção Civil – Uma abordagem ambiental.** 1ed. Porto Alegre: EDIPCRS 2009.

KOTTEK, M.; GRIESER, J.; BECK, C.; RUDOLF, B.; RUBEL, F. World Map of the Köppen-Geiger climate classification updated. **Meteorologische Zeitschrift**, Stuttgart, v. 15, n. 3, p. 259-263. Jun. 2006.

KOWALTOWSKI, Doris K.; MOREIRA, Daniel DE C.; PETRECHE, João R. D.; FABRÍCIO, Márcio M. **O processo de projeto em arquitetura da teoria à tecnologia.** São Paulo: FAPESP, 2011.

LAKSHMIKANDHAN, K. N.; HARSHAVARDHAN, B. S.; PRABAKAR, J.; SAIBABU, S. Investigation on Wall Panel Sandwiched With Lightweight Concrete . In: IOP CONFERENCE SERIES: MATERIALS SCIENCE AND ENGINEERING. **Volume 225.** 2017.

- MATEUS, Ricardo. **Novas tecnologias construtivas com vista à sustentabilidade da construção**. Tese (Mestrado) Universidade do Minho. Escola de Engenharia. Portugal, 2004.
- MAYCÁ, J.; CREMONINI, R. A.; RECENA, F. A. P. Estudo da resistência à compressão de concretos leves produzidos com argila expandida nacional. In: Congresso Brasileiro do Concreto, 51, 2009, Curitiba. **Anais...** São Paulo: IBRACON, 2009.
- MELO, Carlos E. E. (Org.). **Manual Munte de projetos em pré-fabricados de concreto**. São Paulo: Pini, 2004.
- MILANI, Carlos. Instrumentos de política ambiental. **Novos cadernos do NAEA**. Belém, v. 1, n. 1, p. 79-109, jun. 1999
- MISURELLI, H.; MASSUDA, C. Paredes de concreto. **Revista Técnica**. São Paulo: n. 147, p. 74-80, jun.2009.
- NEVILLE, Adam. **Propriedades do concreto**. 2ª ed. São Paulo, Pini, 1997.
- PEREIRA, A. C. W. **Diretrizes para implantação de sistemas construtivos abertos na habitação de interesse social através da modulação**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.
- PFEIFFER, Henry Edward. **Prefabricated foam block concrete forms and ties molded therein**. US n. US 6,820,384 B1, 19 out. 2000, 23 nov. 2004.
- PIMENTEL, Ubiratan Henrique de Oliveira. **Utilização de resíduos da indústria de calçados em blocos de vedação com novas geometrias – bloco EVANG**. Dissertação (mestrado em Engenharia Urbana) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2005.
- PINTO, Tarcísio de P.(coord.). **Gestão ambiental de resíduos da construção civil: a experiência do Sindus Com -SP**. São Paulo: Obra Limpa, I&T, Sinduscon - SP, 2005.
- PROVANCE, Patrícia Geise; **Casas Pré-fabricadas**. 1 ed. São Paulo: Editora Ilusbboks, 2012.
- RECENA, F. A. P. **Dosagem e controle da qualidade de concretos convencionais de cimento Portland**. 2ª. ed. rev. ampl. Porto Alegre: EDIPUCRS, 2007.
- RIVERO, Roberto. **Arquitetura e clima: condicionamento térmico natural**. 2ª. ed. Porto Alegre: D.C. Luzzatto, 1986.
- ROSSIGNOLO, João Adriano. **Concreto leve de alto desempenho modificado com SB para pré-fabricados esbeltos - dosagem, produção, propriedades e microestrutura**. Tese (Doutorado) Universidade de São Paulo. São Carlos, 2003.

ROSSIGNOLO, João Adriano. **Concreto leve estrutural: produção, propriedades, microestrutura e aplicações**. São Paulo: Pini, 2009.

SANTOS, Alcimar L. dos. **Diagnóstico ambiental da gestão e destinação dos resíduos da construção e demolição (RCD)**: análise das construtoras associadas ao Sinduscon/RN e empresas coletoras atuantes no município de Parnamirim - RN. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2009.

Fourier (1830)

Stefan (1879)

Vitruvius

APÊNDICE 01

Tabela 22. Composição do traço 01, ensaios de peso, resistência mecânica e condutividade.

TRAÇO 01	CIMENTO		AREIA		ARGILA EXPANDIDA		ÁGUA		METACAULIM		VERMICULITA		SUPERPLASTIFICANTEB AUTHEC	
	1		1,42		1,66		1		10%		5%		6%	
PESO KG/ TENSÃO MPA (Cura aos 28 Dias)	CORPO DE PROVA: CP1				CORPO DE PROVA: CP2				CORPO DE PROVA: CP3					
	2,18		11,2		2,21		11,45		2,19		11,42			
CONDUTIVIDADE FIO QUENTE (Tamb. = 26,0°C)	T-Q	T-F	K(W/Mk)	R(m ² .K/W)	T-Q	T-F	K(W/Mk)	R(m ² .K/W)	T-Q	T-F	K(W/Mk)	R(m ² .K/W)		
	40,2°C	29,5°C	0,16	174,9	40,7°C	30,4°C	0,16	172,2	41,0°C	30,1°C	0,16	159,7		
CONDUTIVIDADE E RESITÊNCIA TÉRMICA: Conduvímetro K30.(TEMPERATU- RA MÉDIA = 25°C)	T-Q	T-F	K(W/Mk)	R(m ² .K/W)	T-Q	T-F	K(W/Mk)	R(m ² .K/W)	T-Q	T-F	K(W/Mk)	R(m ² .K/W)		
	29,9°C	19,9°C	0,15	177,5	29,9°C	19,8°C	0,15	177,5	29,82° C	19,9°C	0,17	163,1		

Fonte: Elaborado pelo autor, 2017

Tabela 23. Composição do traço 02, ensaios de peso, resistência mecânica e condutividade.

TRAÇO 02	CIMENTO		AREIA		ARGILA EXPANDIDA		ÁGUA		METACAULIM		VERMICULITA		SUPERPLASTIFICANTEB AUTHEC	
	1		1,42		1,66		1		10%		5%		6%	
PESO KG/ TENSÃO MPA (Cura aos 28 Dias)	CORPO DE PROVA: CP1				CORPO DE PROVA: CP2				CORPO DE PROVA: CP3					
	2,18		11,2		2,21		11,45		2,19		11,42			
CONDUTIVIDADE FIO QUENTE (TEMP. AMBIENTE = 26,0°C)	T-Q	T-F	K(W/Mk)	R(m ² .K/W)	T-Q	T-F	K(W/Mk)	R(m ² .K/W)	T-Q	T-F	K(W/Mk)	R(m ² .K/W)		
	40,2°C	29,5°C	0,16	174,9	40,7°C	30,4°C	0,16	172,2	41,0°C	30,1°C	0,16	159,7		
CONDUTIVIDADE E RESITÊNCIA TÉRMICA: Conduvímetro K30.(TEMPERATU- RA MÉDIA = 25°C)	T-Q	T-F	K(W/Mk)	R(m ² .K/W)	T-Q	T-F	K(W/Mk)	R(m ² .K/W)	T-Q	T-F	K(W/Mk)	R(m ² .K/W)		
	31,15	21,15	0,16	197,1	30,0°C	20,9°C	0,13	200,9	30,12°C	20,11	0,14	199,9		

Fonte: Elaborado pelo autor, 2017

Tabela 24. Composição do traço 03, ensaios de peso, resistência mecânica e condutividade.

TRAÇO 03	CIMENTO		AREIA		ARGILA EXPANDIDA		ÁGUA		METACAULIM		VERMICULITA		SUPERPLASTIFICANTEB AUTHEC	
	1		1,42		1,66		1		10%		5%		6%	
PESO KG/ TENSÃO MPA (Cura aos 28 Dias)	CORPO DE PROVA: CP1				CORPO DE PROVA: CP2				CORPO DE PROVA: CP3					
	2,18		11,2		2,21		11,45		2,19		11,42			
CONDUTIVIDADE FIO QUENTE (TEMP. AMBIENTE = 26,0°C)	T-Q	T-F	K(W/Mk)	R(m².K/W)	T-Q	T-F	K(W/Mk)	R(m².K/W)	T-Q	T-F	K(W/Mk)	R(m².K/W)		
	40,2°C	29,5°C	0,16	174,9	40,7°C	30,4°C	0,16	172,2	41,0°C	30,1°C	0,16	159,7		
CONDUTIVIDADE E RESISTÊNCIA TÉRMICA: Conduvímetro K30.(TEMPERATU- RA MÉDIA = 25°C)	T-Q	T-F	K(W/Mk)	R(m².K/W)	T-Q	T-F	K(W/Mk)	R(m².K/W)	T-Q	T-F	K(W/Mk)	R(m².K/W)		
	28,0°C	18,9°C	0,17	163,1	29,97	19,98	0,16	165,7	29,95	19,95	0,16	161,5		

Fonte: Elaborado pelo autor, 2017

APÊNDICE 02

Tabela 25. Composição do traço 01, ensaios de peso, resistência mecânica e ciclo térmico

TRAÇO 01	CIMENTO	AREIA	ARGILA EXPANDIDA	ÁGUA	METACAULIM	VERMICULITA	SUPERPLASTIFICANTEB AUTHEC					
	1	1,42	1,66	1	10%	5%	6%					
PESO KG/ TENSÃO MPA (Cura aos 28 Dias)	CORPO DE PROVA: CP1			CORPO DE PROVA: CP2			CORPO DE PROVA: CP3					
	2,18	11,2	2,21	11,45	2,19	11,42						
CICLOS TÉRMICOS: PAREDES DE CONCRETO. (Câmara Térmica)	PAREDE DE CONCRETO LEVE 01											
	TEMP. FACE INTERNA			TEMP. AR INTERNO (GLOBO NEGRO)			TEMP. FACE EXTERNA			TEMP. AR EXTERNO(GLOBO NEGRO)		
	TA	TQ	TF	TA	TQ	TF	TA	TQ	TF	TA	TQ	TF
	26,0°C	28,0°C	26,5°C	26,0°C	27,8°C	26,0°C	26,0°C	31,8°C	24,8°C	26,0°C	45,5°C	16,5°C

Fonte: Elaborado pelo autor, 2017.

Tabela 26. Composição do traço 02, ensaios de peso, resistência mecânica e ciclo térmico

TRAÇO 02	CIMENTO	AREIA	ARGILA EXPANDIDA	ÁGUA	METACAULIM	VERMICULITA	SUPERPLASTIFICANTEB AUTHEC					
	1	1,42	1,66	1	10%	5%	6%					
PESO KG/ TENSÃO MPA (Cura aos 28 Dias)	CORPO DE PROVA: CP1			CORPO DE PROVA: CP2			CORPO DE PROVA: CP3					
	2,18	11,2	2,21	11,45	2,19	11,42						
CICLOS TÉRMICOS: PAREDES DE CONCRETO. (Câmara Térmica)	PAREDE DE CONCRETO LEVE 02											
	TEMP. FACE INTERNA			TEMP. AR INTERNO (GLOBO NEGRO)			TEMP. FACE EXTERNA			TEMP. AR EXTERNO(GLOBO NEGRO)		
	TA	TQ	TF	TA	TQ	TF	TA	TQ	TF	TA	TQ	TF
	26,0°C	28,3°C	26,2°C	26,0°C	28,0°C	25,7°C	26,0°C	31,3°C	24,5°C	26,0°C	46,5°C	18,2°C

Fonte: Elaborado pelo autor, 2017.

Tabela 27. Composição do traço 03, ensaios de peso, resistência mecânica e ciclo térmico.

TRAÇO 03	CIMENTO	AREIA	ARGILA EXPANDIDA	ÁGUA	METACAULIM	VERMICULITA	SUPERPLASTIFICANTEB AUTHEC					
	1	1,42	1,66	1	10%	5%	6%					
PESO KG/ TENSÃO MPA (Cura aos 28 Dias)	CORPO DE PROVA: CP1			CORPO DE PROVA: CP2			CORPO DE PROVA: CP3					
	2,18	11,2	2,21	11,45	2,19	11,42						
CICLOS TÉRMICOS: PAREDES DE CONCRETO. (Câmara Térmica)	PAREDE DE CONCRETO LEVE 03											
	TEMP. FACE INTERNA			TEMP. AR INTERNO (GLOBO NEGRO)			TEMP. FACE EXTERNA			TEMP. AR EXTERNO(GLOBO NEGRO)		
	TA	TQ	TF	TA	TQ	TF	TA	TQ	TF	TA	TQ	TF
	26,0°C	27,5°C	26,5°C	26,0°C	27,0°C	26,5°C	26,0°C	30,5°C	25,5°C	26,0°C	45,3°C	17,5°C

Fonte: Elaborado pelo autor, 2017.

APÊNDICE 03