

Universidade Federal de Santa Catarina
Programa de Pós-Graduação em
Arquitetura e Urbanismo

Thaís Lohmann Provenzano

**DESENVOLVIMENTO DE SISTEMA CONSTRUTIVO EM PAINÉIS
PRÉ-FABRICADOS DE ARGAMASSA E GARRAFAS PLÁSTICAS
PARA HABITAÇÃO DE INTERESSE SOCIAL**

Dissertação de Mestrado

Florianópolis
2006

Thaís Lohmann Provenzano

**DESENVOLVIMENTO DE SISTEMA CONSTRUTIVO EM PAINÉIS
PRÉ-FABRICADOS DE ARGAMASSA E GARRAFAS PLÁSTICAS
PARA HABITAÇÃO DE INTERESSE SOCIAL**

Dissertação apresentada ao
Programa de Pós-Graduação em
Arquitetura e Urbanismo da
Universidade Federal de Santa
Catarina como requisito para
obtenção do grau de Mestre em
Arquitetura e Urbanismo

Orientador: Prof. Fernando Barth, Dr.

Florianópolis
2006

Universidade Federal de Santa Catarina
Centro Tecnológico
Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo

Área de Concentração:
Projeto e Tecnologia do Ambiente Construído

Linha de Pesquisa:
Sistemas e Processos Construtivos

Thaís Lohmann Provenzano

**DESENVOLVIMENTO DE SISTEMA CONSTRUTIVO EM PAINÉIS
PRÉ-FABRICADOS DE ARGAMASSA E GARRAFAS PLÁSTICAS
PARA HABITAÇÃO DE INTERESSE SOCIAL**

Dissertação de Mestrado

Florianópolis
2006

Thaís Lohmann Provenzano

**DESENVOLVIMENTO DE SISTEMA CONSTRUTIVO EM PAINÉIS
PRÉ-FABRICADOS DE ARGAMASSA E GARRAFAS PLÁSTICAS
PARA HABITAÇÃO DE INTERESSE SOCIAL**

Esta dissertação foi julgada para obtenção do grau de

MESTRE EM ARQUITETURA E URBANISMO

na especialidade PROJETO E TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO – SISTEMAS E PROCESSOS CONSTRUTIVOS e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo – PósARQ da Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC..

Florianópolis, 27 de julho de 2006.

Orientador / Moderador / Presidente: Dr. Fernando Barth, PósARQ / UFSC

Coordenadora do PósARQ: Dra. Alina Gonçalves Santiago

BANCA EXAMINADORA:

Avaliador 1: Dra. Carolina Palermo Szücs, PósARQ / UFSC

Avaliador 2: Dr. Wilson Jesus da Cunha Silveira, PósARQ / UFSC

Avaliador Externo ao Programa: Dr. Narbal Ataliba Marcellino, ECV / PPGEC / UFSC

Avaliador Externo ao Programa: Dr. Hélio Adão Greven, ECV / ULBRA

Aos meus pais, Gilberto e Ilse, à minha irmã Márcia
e às minhas avós Ivone e Zélia.

Agradecimentos

A Deus, pela bênção e pelas grandes oportunidades que sempre me proporcionou.

Aos meus pais Gilberto e Ilse, pelo amor incondicional, apoio, paciência, confiança e incentivo constantes em todas as fases da minha vida. Obrigada por sempre acreditarem no meu potencial.

À minha irmã, pelo amor e amizade.

Às minhas avós Ivone e Zélia (*in memoriam*), pelo amor incondicional e incentivo.

A todos os meus familiares, pelo apoio e carinho.

Ao professor, orientador e amigo Fernando Barth, pelo incentivo, apoio e confiança no meu trabalho em todos estes anos de parceria.

Aos membros da banca pelos ensinamentos e incentivos.

À Universidade Federal de Santa Catarina por proporcionar aos seus alunos uma universidade de qualidade.

Ao PósARQ, pelo apoio, formação e ensinamentos durante os anos de estudo.

À querida Ivonete, pela amizade, carinho e ajuda que dedica integralmente aos alunos do PósARQ.

A Capes, pelo incentivo financeiro que permitiu a realização do mestrado.

Ao Laboratório de Sistemas Construtivos – LabSisCo da UFSC e toda sua equipe pelo espaço cedido para a realização do mestrado.

Ao Laboratório de Experimentação em Estruturas - LEE do Departamento de Engenharia Civil da UFSC, e ao Professor Dr. Nabal Ataliba Marcellino pela ajuda fundamental para a realização dos ensaios necessários para a finalização da dissertação.

Ao amigo Luiz Henrique Maccarini Vefago e ao primo Alberto Lohmann pelo constante incentivo e por colocarem, literalmente, a mão na massa.

A todos que, de uma forma ou outra, contribuíram para o desenvolvimento desta dissertação.

Obrigada a todos!

*“Quando se planeja por um ano,
deve-se semear milho;
quando se planeja por uma década,
há de se plantar árvores;
mas quando se planeja para a vida,
deve-se treinar e educar os homens”.*
Knan-Tzu Século III A.C.

Resumo

O objetivo do presente trabalho consiste no desenvolvimento de sistema construtivo em painéis pré-fabricados de argamassa e garrafas plásticas para a construção de habitações de interesse social.

As paredes da casa são formadas por painéis modulares de 85x265cm e 65x265cm, que incorporam garrafas plásticas no seu interior, melhorando seu desempenho térmico, diminuindo o peso, conferindo maior espessura à parede e rigidez ao conjunto. Este processo utiliza garrafas plásticas vazias, cujo material é abundante e de grande durabilidade, atuando como elemento estimulador para a coleta seletiva, contribuindo para reduzir sua presença em lixões e aterros sanitários, e desta forma, diminuir o impacto ambiental. A fabricação dos painéis de parede portante é feita em moldes de madeira, fibra de vidro ou chapa de aço, dependendo da escala de produção. Os painéis são formados por colunas verticais com garrafas plásticas cortadas e encaixadas, reforçadas com treliça de aço plana em seu perímetro e revestidas nas laterais e faces interna e externa com argamassa. A cobertura também pode ser fabricada com painéis planos ou curvos utilizando o mesmo sistema de produção. As instalações elétricas e hidráulicas são inseridas durante a concretagem do painel através de mangueiras corrugadas e tubos de *PVC* colocados no interior das garrafas.

Neste trabalho busca-se a racionalização do projeto de uma habitação térrea para a construção de um protótipo embrião de 50,70m², tendo dois dormitórios, sala, cozinha, banheiro, área de serviço e varanda, com possibilidades de ampliações utilizando o mesmo sistema construtivo. As casas pré-fabricadas neste sistema podem ter implantação isolada ou geminadas, possibilitando, neste último tipo, um melhor aproveitamento do lote. Neste trabalho são analisadas as variáveis projetuais de funcionalidade, modulação e desempenho higrotérmico. Buscou-se avaliar também o desempenho estrutural dos painéis de parede através de ensaios de compressão vertical e de ensaios de impacto de corpo duro e corpo mole. Os resultados destes ensaios demonstraram a adequação do sistema construtivo para a construção de edificações térreas. Este sistema possibilita a redução dos desperdícios, aumento da produtividade, e cria condições favoráveis para uma construção mais sustentável. As análises de funcionalidade e modulação contribuíram para aumentar a racionalidade do projeto e melhorar as condições de uso da habitação.

Palavras-chave: Habitação de Interesse Social. Sustentabilidade. Pré-fabricação.

Abstract

This paper presents the development of the constructive system with precast panels with recycled plastic bottles for Low-Cost Houses.

The walls of the house are formed by modular boards of 85x265cm and 65x265cm, that they incorporate the plastic bottles in its inward, improving its thermal performance, diminishing the weight, conferring bigger thickness of the wall and rigidity to the set. This process uses the empty plastic bottles, whose material is abundant and of great durability. The manufacture of these panels is made in molds wooden, fiber glass or steel plate, depending on the production scale. The panels are formed by vertical columns with plastic bottles cut and incased, strengthened with steel framework in its perimeter and coated in the two faces and laterals with mortar. The covering can be manufactured with the same process using flat or curved molds. The electric and hydraulically installations are inserted during the production of the panel through corrugated hoses and tubes of PVC placed in the inward of the bottles. It searches rationalization of the project of the one-story precast house for the construction of an archetype embryo of 50,70m², having two bedrooms, kitchen, bathroom, and laundry service, with possibilities of magnifying using the same constructive system.

In this work are made The Analysis of Functionality, modulation and thermal performance of the panels. Tests of vertical compression and tests of impact of hard body and soft body had been carried through in the panels. The results had demonstrated to the viability technique of the constructive system for an one-story precast construction reducing wastefulness, increasing the productivity, and creating favorable conditions for a more sustainable construction. The analyses of functionality and modulation had contributed to magnify the rationality of the design and to improve the conditions of use of the habitation.

Keywords: Low-Cost Houses. Sustainability. Precast.

Lista de Ilustrações

Figura 2. 1: desempenho ao longo do tempo de um elemento, instalação ou sistema construtivo.....	33
Figura 2. 2: tabela de consumo para embalagens Pet.	42
Figura 2. 3: processo de fabricação de garrafas Pet.	43
Figura 2. 4: símbolo das embalagens Pet.	43
Figura 2. 5: rio poluído com garrafas plásticas – Rio de Janeiro.	44
Figura 2. 6: tabela de reciclagem de embalagens Pet.....	45
Figura 3. 1 : planta baixa da <i>Casa Pet</i>	54
Figura 3. 2 : corte transversal <i>Casa Pet</i>	55
Figura 3. 3 : perspectiva frontal da <i>Casa Pet</i>	55
Figura 3. 4 : perspectiva posterior da <i>Casa Pet</i>	55
Figura 3. 5 : montagem dos painéis de parede	56
Figura 3. 6 : montagem da laje plana com garrafas plásticas.....	56
Figura 3. 7 : montagem da estrutura de madeira da cobertura.....	56
Figura 3. 8 : cobertura finalizada.....	56
Figura 3. 9 : proposta de ampliação de dois dormitórios.	57
Figura 3. 10 : proposta de ampliação de um dormitório e uma garagem.....	58
Figura 3. 11 : perspectiva frontal da <i>Casa Pet</i> ampliada.	58
Figura 3. 12 : perspectiva posterior da <i>Casa Pet</i> ampliada.	58
Figura 3. 13 : planta baixa das habitações geminadas.....	59
Figura 3. 14 : implantação do tipo geminada.....	59
Figura 3. 15 : implantação do tipo geminada.....	59
Figura 3. 16 : implantação do tipo geminada – projeto com ampliação.	59
Figura 3. 17 : implantação do tipo geminada – projeto com ampliação.	59
Figura 3. 18 : modelo de gráfico “radar” para compartimento.....	62
Figura 3. 19 : modelo de gráfico “radar” para habitação.....	62
Figura 3. 20 : modelo de gráfico “radar” para habitação.....	63
Figura 3. 21 : modelo de gráfico “radar” para habitação.....	63
Figura 3. 22 : layout proposto para o quarto de casal. Sem escala.	64
Figura 3. 23 : layout proposto para o quarto dos filhos. Sem escala.	66
Figura 3. 24 : layout proposto para a sala de estar. Sem escala.	67
Figura 3. 25 : layout proposto para a cozinha e sala de jantar. Sem escala.....	69
Figura 3. 26 : layout proposto para o banheiro. Sem escala.	70
Figura 3. 27 : layout proposto para a área de serviço. Sem escala.	72
Figura 3. 28 : painéis de 85cm e 65cm.	74

Figura 3. 29 : detalhe do painel de parede portante – corte vertical.	74
Figura 3. 30 : zoneamento bioclimático brasileiro.....	75
Figura 3. 31 : zona bioclimática 3.....	77
Figura 3. 32 : planta do painel de parede com o sentido do fluxo de calor na situação de verão.	79
Figura 3. 33 : corte do painel de parede com o sentido do fluxo de calor na situação de verão.	79
Figura 3. 34 : sentido do fluxo de calor na situação de verão (descendente) para cobertura sem barreira radiante.....	83
Figura 3. 35 : sentido do fluxo de calor na situação de verão (descendente) para cobertura com barreira radiante.....	86
Figura 3. 36 : corte da cobertura proposta para habitação de interesse social.....	89
Figura 3. 37 : planta de cobertura.	90
Figura 3. 38 : diferença de temperatura do ar nas camadas de vedação.....	99
Figura 3. 39 : gradiente das temperaturas em cada camada da vedação.	102
Figura 3. 40 : carta psicrométrica indicando as temperaturas do ar e de condensação para a vedação analisada.	104
Figura 3. 41 : gradiente das temperaturas de orvalho ou condensação.	105
Figura 3. 42 : sobreposição dos gradientes de temperatura e temperatura de orvalho para a vedação.	106
Figura 4. 1: corte e encaixe das garrafas plásticas, formando colunas.	109
Figura 4. 2: forma de madeira.....	109
Figura 4. 3: base de 20mm de argamassa.....	110
Figura 4. 4: colocação das colunas de garrafas plásticas e reforço.....	110
Figura 4. 5: revestimento das laterais e da superfície do painel.....	110
Figura 4. 6: painel finalizado.	111
Figura 4. 7: composição do painel pré-fabricado com garrafas plásticas.	111
Figura 4. 8: planta da laje de cobertura proposta.	112
Figura 4. 9: painel com instalação elétrica e hidráulica.	113
Figura 4. 10: painel com instalação elétrica e hidráulica.	114
Figura 4. 11: painel com esperas da tubulação e do eletroduto.	114
Figura 4. 12: passagem das instalações elétricas e o ponto de eletricidade no painel finalizado.	114
Figura 4. 13: passagem da instalação elétrica dentro das colunas.	115
Figura 4. 14: passagem das instalações hidráulicas e o ponto hidráulico no painel finalizado.	115
Figura 4. 15: passagem da instalação hidráulica dentro das colunas.....	116
Figura 4. 16: fixação dos painéis de parede com chapa metálica perfurada e parafusada na parte superior dos mesmos.....	116
Figura 4. 17: detalhe da fixação dos painéis de parede com chapa metálica perfurada.....	116
Figura 4. 18: chapa metálica perfurada.....	117

Figura 4. 19: fixação dos painéis de parede com chapa metálica perfurada.	117
Figura 4. 20: fixação dos painéis de parede com chapa metálica perfurada.	117
Figura 4. 21: detalhe da fixação dos painéis de parede com chapa metálica perfurada.	117
Figura 4. 22: união dos painéis de parede.	118
Figura 4. 23: detalhe da união dos painéis de parede com junta de 10mm – planta baixa.	118
Figura 4. 24: junta e selante entre os painéis verticais.	119
Figura 4. 25: planta de modulação e quantificação dos painéis.	121
Figura 4. 26: painel “A”.....	123
Figura 4. 27: painel “A1”.....	123
Figura 4. 28: painel “A2”.....	123
Figura 4. 29: painel “B”.....	124
Figura 4. 30: painel “B1”.....	124
Figura 4. 31: painel “B2”.....	124
Figura 4. 32: painel “B3”.....	125
Figura 4. 33: painel “C”.	125
Figura 4. 34: painel “D”.	126
Figura 4. 35: painéis utilizados no projeto de habitação proposto.	126
Figura 4. 36: forma de madeira.	129
Figura 4. 37: base de 20mm de argamassa e treliças posicionadas.	129
Figura 4. 38: colocação das colunas de garrafas plásticas e treliça de reforço.	130
Figura 4. 39: preenchimento das laterais e da superfície do painel.	130
Figura 4. 40: painel finalizado na forma.	131
Figura 4. 41: desmolde do painel – painel solto da forma devido ao uso de desmoldante antes da fabricação dos painéis.	131
Figura 4. 42: desmolde do painel - remoção da lateral da forma de madeira.	131
Figura 4. 43: desmolde do painel – remoção da lateral da forma de madeira.	132
Figura 4. 44: desmolde do painel – canto.	132
Figura 4. 45: desmolde do painel.	132
Figura 4. 46: painel finalizado.	133
Figura 4. 47: armazenagem do painel de parede por 28 dias para realização de ensaios de desempenho estrutural.	133
Figura 5. 1 : planta e elevação do painel de parede analisado.....	135
Figura 5. 2 : detalhe do painel de parede.....	135
Figura 5. 3 : ensaio para impactos de corpo duro com esfera de 1kg.	137
Figura 5. 4 : esfera de 1kg para os ensaios de impacto de corpo duro	137
Figura 5. 5 : falha no reboco ocasionada por repetição de impacto de corpo duro.....	137

Figura 5. 6 : transpassagem no reboco ocasionada por repetição de impacto de corpo duro.	137
Figura 5. 7 : arranjo do ensaio para impactos de corpo mole com saco de areia de 40kg.....	140
Figura 5. 8 : dispositivo de registro de deslocamentos horizontais na face oposta do painel.	140
Figura 5. 9 : ruína do painel devido à deformação excessiva.	140
Figura 5. 10 : medição do deslocamento horizontal residual (dhr) na face posterior do painel.....	140
Figura 5. 11 : painel posicionado no pórtico de ensaios e sistema de aquisição de dados.....	143
Figura 5. 12 : sistema de aquisição de dados.	143
Figura 5. 13 : início das fissuras no painel.	143
Figura 5. 14 : fissuras no revestimento do painel.	143
Figura 5. 15 : fissuras graduais no painel.....	143
Figura 5. 16 : ruptura da camada de 20mm de argamassa do painel.....	143
Figura 5. 17 : elevação e corte do painel de alvenaria.	145
Figura 5. 18 : ensaio do painel 8 na posição vertical.....	145
Figura 5. 19 : desprendimento do reboco na parte superior do painel 8.....	146
Figura 5. 20 : ruptura do painel 8.	146
Figura A. 1 : mapa do zoneamento climático espanhol.	166
Figura A. 2 : software analysis bio.	166
Figura A. 3 : localização da cidade de florianópolis – software analysis bio.	166
Figura A. 4 : dados da cidade de florianópolis - software analysis bio.....	167
Figura A. 5 : mapa do zoneamento climático espanhol por temperaturas médias mínimas.....	167
Figura A. 6 : carta psicrométrica para a determinação das temperaturas de condensação e do conteúdo de umidade contido no ar.	168

Lista de Tabelas

Tabela 1 - etapas de construção x áreas.	58
Tabela 2 - equivalência entre conceito e indicador.....	61
Tabela 3 - intervalos de desempenho da funcionalidade nos compartimentos.....	62
Tabela 4 - funcionalidade do compartimento – quarto de casal.....	64
Tabela 5 - funcionalidade do compartimento – quarto dos filhos.....	66
Tabela 6 - funcionalidade do compartimento – quarto de estar.....	67
Tabela 7 - funcionalidade do compartimento – cozinha e sala de jantar.	69
Tabela 8 - funcionalidade do compartimento – banheiro.....	70
Tabela 9 - funcionalidade do compartimento – área de serviço.....	72
Tabela 10 - aberturas para ventilação e sombreamento das aberturas para a zona bioclimática 3. ...	78
Tabela 11 - transmitância térmica, atraso térmico e fator de calor solar admissíveis para vedações externas para a zona bioclimática 3.	78
Tabela 12 - estratégias de condicionamento térmico passivo para a zona bioclimática 3.	78
Tabela 13 – símbolos.....	79
Tabela 14 – subscritos.....	80
Tabela 15 - resistências térmicas das camadas da vedação – parede.....	81
Tabela 16 - características térmicas do sistema construtivo proposto – parede.....	82
Tabela 17 - resistências térmicas das camadas da cobertura sem barreira radiante.	84
Tabela 18 - características térmicas da cobertura com painéis pet sem barreira radiante.....	85
Tabela 19 - resistências térmicas das camadas da cobertura com barreira radiante.	87
Tabela 20 - características térmicas da cobertura com painéis pet com barreira radiante.....	88
Tabela 21 - comparação das características térmicas do sistema construtivo com painéis pet sem e com barreira radiante em seu interior.....	89
Tabela 22 - características térmicas da cobertura da habitação proposta.....	94
Tabela 23 - somatório das áreas das vedações da habitação.....	95
Tabela 24 – resultados parciais dos cálculos transmitância térmica global U_g	96
Tabela 25 - valores limites máximos de U_g , em (W/m ² K).....	96
Tabela 26 - coeficiente “a” em (W/m ² K).	97
Tabela 27 – temperaturas mínimas exigidas para o ambiente interno.....	100
Tabela 28 – cálculo da diferença de temperatura do ar nas camadas da vedação.	101
Tabela 29 – cálculo da resistência à passagem de vapor de água da vedação.	103
Tabela 30 – cálculo da permeabilidade ao vapor d’água da vedação.	105
Tabela 31 – quantificação de painéis.....	122
Tabela 32 – quadro de esquadrias.....	122
Tabela 33 – características dos painéis pré-fabricados com garrafas plásticas.	135

Tabela 34 – massa de corpo impactador, altura e energia de impacto.....	137
Tabela 35 – impacto de corpo duro - painel 1.	138
Tabela 36 – impacto de corpo duro - painel 2.	138
Tabela 37 – impacto de corpo duro - painel 3.	138
Tabela 38 – massa de corpo impactador, altura e energia de impacto.....	139
Tabela 39 – impacto de corpo mole - painel 1.....	141
Tabela 40 – impacto de corpo mole - painel 2.....	141
Tabela 41 – impacto de corpo mole - painel 3.....	142
Tabela 42 – ensaio de compressão dos painéis em posição vertical até a ruptura.	144
Tabela 43 – resultados do ensaio de compressão dos painéis dominó.....	146
Tabela 44 – comparação dos resultados do ensaio de compressão até a ruptura dos sistemas construtivos casa pet e casas dominó.....	146
Tabela A. 1 - resistência térmica de câmaras de ar não ventiladas, com largura muito maior que a espessura.	163
Tabela A. 2 – coeficiente de transmissão térmica para janelas em (W/m ² °C).	164
Tabela A. 3 – coeficiente de transmissão térmica para portas em (W/m ² °C).....	164
Tabela A. 4 - resistência temperaturas mínimas médias do mês de janeiro (inverno no hemisfério norte) segundo às 5 zonas demarcadas no mapa 2.....	165
Tabela A. 5 – resistividade ao vapor d’água.....	165
Tabela B. 1 – impactos de corpo duro para paredes externas (fachadas).....	169
Tabela B. 2 – impactos de corpo mole para paredes externas (fachadas) de casas térreas, com função estrutural.	170
Tabela B. 3 – impactos de corpo mole para paredes internas.....	171

Lista de Gráficos

Gráfico 1 : gráfico do tipo “radar” do quarto de casal.	65
Gráfico 2 : gráfico do tipo “radar” do quarto dos filhos.....	66
Gráfico 3 : gráfico do tipo “radar” da sala de estar.	67
Gráfico 4 : gráfico do tipo “radar” da cozinha e sala de jantar.	69
Gráfico 5 : gráfico do tipo “radar” do banheiro.....	70
Gráfico 6 : gráfico do tipo “radar” da área de serviço.	72
Gráfico 7 : gráfico do tipo “radar” da habitação.	73

Sumário

1 INTRODUÇÃO	20
1.1 JUSTIFICATIVA DO TEMA	20
1.2 DELIMITAÇÃO DO TEMA	23
1.3 OBJETIVOS.....	23
1.3.1 Objetivo Geral	23
1.3.2 Objetivos Específicos	23
1.4 MÉTODOS E TÉCNICAS	24
1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO	25
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	27
2.1 HABITAÇÃO DE INTERESSE SOCIAL NO BRASIL.....	27
2.1.1 Desempenho da habitação.....	32
2.2 SUSTENTABILIDADE NA CONSTRUÇÃO	34
2.2.1 Sustentabilidade na Habitação Popular	35
2.2.2 Mão-de-obra e inclusão social.....	38
2.2.3 Resíduos sólidos urbanos e Reciclagem	39
2.2.4 Garrafas plásticas <i>PET</i>	42
2.2.4.1 <i>Reciclagem do PET</i>	44
2.2.4.2 <i>Situação atual</i>	45
2.3 PROJETO DE EDIFICAÇÕES E SISTEMAS CONSTRUTIVOS.....	46
2.3.1 Racionalização da Construção.....	46
2.3.2 Industrialização da construção	47
2.3.3 Coordenação Dimensional x Coordenação Modular	48
2.3.4 Pré-fabricação	50
3 DESENVOLVIMENTO DE PROJETO DE HABITAÇÃO DE INTERESSE SOCIAL	52
3.1 PROPOSTA DE PROJETO PARA HABITAÇÃO DE INTERESSE SOCIAL	53
3.1.1 Projeto <i>Casa Pet</i>	53
3.1.2 Ampliações da <i>Casa Pet</i>	56
3.1.3 Implantação no lote da Casa <i>PET</i>	59
3.2 ANÁLISE DE VARIÁVEIS PROJETUAIS	60
3.2.1 Indicadores de funcionalidade.....	60
3.2.1.1 <i>Análise da funcionalidade da habitação proposta</i>	63
3.2.1.2 <i>Funcionalidade do Compartimento – Quarto do Casal</i>	64
3.2.1.3 <i>Funcionalidade do Compartimento – Quarto dos Filhos</i>	65
3.2.1.4 <i>Funcionalidade do Compartimento – Sala de Estar</i>	66
3.2.1.5 <i>Funcionalidade do Compartimento – Cozinha e Sala de Jantar</i>	68
3.2.1.6 <i>Funcionalidade do Compartimento – Banheiro</i>	69
3.2.1.7 <i>Funcionalidade do Compartimento – Área de Serviço</i>	71
3.2.1.8 <i>Funcionalidade da Habitação</i>	72
3.2.2 Modulação.....	73

3.2.3	Análise do Desempenho Higrotérmico	75
3.2.3.1	<i>Desempenho térmico do painel de parede</i>	78
3.2.3.2	<i>Desempenho térmico do painel de cobertura</i>	83
3.2.3.3	<i>Desempenho térmico da cobertura da habitação proposta</i>	89
3.2.3.4	<i>Desempenho térmico global da edificação</i>	94
3.2.3.5	<i>Desempenho higrotérmico</i>	97
4	CARACTERIZAÇÃO DO SISTEMA CONSTRUTIVO	107
4.1	FUNDAÇÕES	107
4.2	ESTRUTURA E VEDAÇÃO - PAINEL PRÉ-FABRICADO.....	108
4.3	COBERTURA	111
4.4	INSTALAÇÕES.....	113
4.4.1	Painel elétrico.....	114
4.4.2	Painel hidráulico	115
4.5	MONTAGEM E FIXAÇÃO DOS PAINÉIS.....	116
4.6	JUNTAS E SELANTES.....	117
4.7	CARACTERÍSTICAS DA FABRICAÇÃO, TRANSPORTE E MONTAGEM DO PROCESSO CONSTRUTIVO	119
4.7.1	Aplicabilidade para o setor produtivo	119
4.7.2	Seqüência e tempos de execução	119
4.8	QUANTIFICAÇÃO DOS MATERIAIS	120
4.9	FABRICAÇÃO DOS PAINÉIS DE PAREDE.....	127
4.9.1	Formas	128
4.9.2	Construção de protótipo de painel pré-fabricado de parede.....	128
5	ANÁLISE DO DESEMPENHO ESTRUTURAL DOS PAINÉIS.....	134
5.1	ENSAIOS DE IMPACTO DE CORPO DURO.....	136
5.1.1	Resultados dos ensaios de impacto de corpo duro.....	138
5.1.2	Análise dos resultados dos ensaios de impacto de corpo duro.....	139
5.2	ENSAIOS DE IMPACTO DE CORPO MOLE	139
5.2.1	Resultados dos ensaios de impacto de corpo mole	141
5.2.2	Análise dos resultados dos ensaios de impacto de corpo mole	142
5.3	ENSAIO DE COMPRESSÃO VERTICAL ATÉ A RUPTURA.....	142
5.3.1	Resultados dos ensaios de compressão dos painéis em posição vertical	144
5.3.2	Análise dos resultados dos ensaios de compressão vertical até a ruptura.	144
5.3.3	Comparação do Painel PET x Painel Dominó quanto ao ensaio de compressão até a ruptura.....	144
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	147
6.1	CONCLUSÃO GERAL.....	147
6.2	CONCLUSÕES ESPECÍFICAS.....	148
6.2.1	Quanto ao conceito aplicado no projeto	148
6.2.2	Quanto à funcionalidade da habitação proposta	148

6.2.3 Quanto à modulação	149
6.2.4 Quanto ao desempenho higrotérmico	149
6.2.5 Quanto à fabricação, transporte e montagem dos painéis	150
6.2.6 Quanto ao desempenho estrutural	151
6.3 SUGESTÕES E RECOMENDAÇÕES.....	152
REFERÊNCIAS.....	153
BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTAR	160
ANEXOS	163
ANEXO A – Desempenho Hígro-térmico	163
ANEXO B – Desempenho Estrutural	169

PROVENZANO, Thaís Lohmann. **Desenvolvimento de sistema construtivo em painéis pré-fabricados de argamassa e garrafas plásticas para habitação de interesse social.** 2006. 171f.. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo - PósARQ, Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC, Florianópolis, 2006.

Endereço para acessar o Currículo Lattes: < <http://lattes.cnpq.br/1310866636749192> >

1 INTRODUÇÃO

O presente trabalho consiste no desenvolvimento de sistema construtivo em painéis pré-fabricados de argamassa e garrafas plásticas reutilizadas para a construção de habitações de interesse social.

Este projeto possui um caráter teórico-experimental, onde são estudados conceitos relacionados ao tema da pesquisa tais como habitação de interesse social, sustentabilidade na construção e pré-fabricação. Neste trabalho foi desenvolvido um projeto de habitação de interesse social onde são aplicados os conceitos de coordenação dimensional e coordenação modular, funcionalidade e pré-fabricação. Posteriormente foram produzidos protótipos de elementos construtivos para a realização de ensaios de desempenho estrutural dos painéis de parede.

A incorporação das garrafas plásticas no interior dos painéis melhora o desempenho térmico, diminui seu peso e confere maior espessura da parede e rigidez no conjunto da habitação. A reutilização das garrafas PET, além de reduzir a poluição ambiental, também contribui para a redução dos custos da construção na medida que substitui outros materiais, agregando ainda mais valor ao produto final.

As técnicas de pré-fabricação são utilizadas de modo a aumentar a produtividade na fábrica ou até mesmo no canteiro de obra, possibilitando o treinamento de mão-de-obra especializada, reduzindo custos e desperdícios na construção.

1.1 JUSTIFICATIVA DO TEMA

No momento atual, a oferta de soluções para a construção de habitações não consegue satisfazer o déficit habitacional brasileiro, que é de aproximadamente 7.222.645 unidades (FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO, 2005). Propostas para atender estas demandas devem considerar as diferenças peculiares no país, tais como as condições sócio-econômicas regionais, a diversidade climática e a disponibilidade de materiais. No entanto, a padronização excessiva dos conjuntos habitacionais brasileiros tem gerado uma impessoalidade que dificulta o estabelecimento de relações de identidade entre o

usuário e a edificação (SZÜCS, 1997; SILVEIRA, 2000). No setor habitacional, segundo Picchi (1993), predomina a crença de que a qualidade, os prazos de execução e os custos são requisitos conflitantes e que a melhoria de um deles resulta em perda de desempenho dos outros. Assim, muitas vezes, na busca de redução de custos, a qualidade é negligenciada adotando-se, como estratégia para a contenção de despesas, a precarização do processo construtivo.

Os desperdícios de materiais, a geração de entulhos, o uso de mão-de-obra pouco especializada e a falta de um projeto de produção, conduzem a uma construção pouco racionalizada onde as perdas de recursos materiais e humanos são cumulativas.

O panorama da indústria da construção civil brasileira apresenta um avanço tecnológico ainda lento em virtude do pouco desenvolvimento e da escassa racionalização da produção. A competitividade, traduzida na relação preço / qualidade, prioriza o baixo custo da construção em detrimento do desenvolvimento de novos processos de produção e de organização do trabalho.

Mais recentemente, pode-se observar inovações tecnológicas que tentam acompanhar os avanços alcançados em outros países e em outros tipos de indústria. A arquitetura, desde os seus primórdios, tem utilizado técnicas de fabricação que vão desde os sistemas artesanais, que empregam basicamente matérias-primas com pouco ou nenhum beneficiamento, até sistemas altamente industrializados, onde novos conceitos de produção, design, pesquisa e desenvolvimento são incorporados. Segundo Andrade e Romero (2000), “uma tendência expressa nos últimos anos, no campo da habitação popular, no Brasil, é a busca da qualidade na construção. Esta tem como um elemento estratégico a qualidade do projeto, repercutindo no desempenho do produto final, na simplificação do processo construtivo e contribuindo para a redução do custo”.

Ainda hoje, existe certa relutância na compreensão e aceitação, por boa parte de arquitetos, projetistas, engenheiros, construtores e empreendedores, da industrialização da construção como indutor da qualificação da arquitetura. Nos anos 50, arquitetura pré-fabricada era, por muitos, considerada sinônimo de uma arquitetura robusta, rígida e sem riqueza formal e compositiva. Nela, as máquinas, muitas vezes rudimentares, e os processos de fabricação rígidos e limitados conduziam a uma arquitetura de baixo custo, muitas vezes em função da baixa qualidade e pouca durabilidade de seus componentes. A escala de produção em série era o fator que predominava, sobre os processos de criação, desenvolvimento e qualificação dos produtos. (BARTH, F. & SILVEIRA W. 2002).

A arquitetura aliada à indústria representa uma aproximação da qualidade e da diversidade de linguagem compositiva, facilitada pela utilização de produtos e componentes industriais, sem abrir mão da personalização que arquitetos, projetistas e usuários anseiam. Gonzalez (1996) destaca que não se trata de construir como a indústria, e sim, com a indústria, ou seja, ajustar o projeto de obra arquitetônica à sistemática dos processos industriais de construção. A meta final é agregar, de forma contínua, qualidade, durabilidade e valores compositivos aos produtos e componentes industrializados, fazendo com que estas características melhorem o desempenho funcional e a qualidade final da construção.

Desta forma, uma análise da evolução dos sistemas construtivos industrializados pode contribuir para a sua correta inserção nos processos projetuais e de produção da habitação; e como consequência um aumento na qualidade da construção em geral e também das habitações de interesse social.

Outro aspecto a destacar é a necessidade de um desenvolvimento sustentável para a indústria da construção, que segundo a Agenda Habitat (1996), deve promover métodos e tecnologias de construção disponíveis no local, apropriados, de custo razoável, seguros, eficientes e comprometidos com o meio ambiente de modo a enfatizar o uso otimizado dos recursos humanos e a incentivar métodos poupadores de energia.

A cadeia produtiva da construção civil apresenta grandes impactos ambientais em todas as etapas do seu processo: extração de matérias-primas, produção de materiais de construção, uso e demolição, e que segundo John *et al*(2001), toda sociedade seriamente preocupada com esta questão deve colocar o aperfeiçoamento da construção civil como prioridade.

A concepção de uma habitação sustentável pressupõe, basicamente, a compatibilização de dois grupos de variáveis: em um deles estão as variáveis relativas à produção e ao funcionamento da habitação; no outro, estão aquelas relacionadas com a preservação do meio ambiente (COSTA FILHO *et al.*, 2000). A escolha de materiais e dos sistemas construtivos deve ter como referência a sua influência no meio ambiente e uma análise do ciclo de vida, que faz com que as indústrias passem a considerar as questões associadas aos sistemas de produção tais como insumos, matérias-primas, manufatura, distribuição, uso, disposição, reuso e reciclagem.

A partir da observação da existência de sistemas construtivos em Santa Catarina que utilizam painéis pré-fabricados com blocos cerâmicos e argamassa, dentre eles as Casas Industrializadas Dominó e a pesquisa desenvolvida por Cesar *et al*(2004), surgiu a idéia substituir estes blocos cerâmicos por garrafas plásticas com o intuito de tentar tornar os painéis mais leves e diminuir o impacto ambiental.

Neste trabalho a ênfase é dada para a fase de projeto e desenvolvimento de componentes com materiais reciclados, num sistema construtivo que busca a produção industrializada, a coordenação dimensional, a rapidez de montagem, de modo a atender os requisitos de uma habitação sustentável.

1.2 DELIMITAÇÃO DO TEMA

O presente trabalho propõe o desenvolvimento de sistema construtivo em painéis pré-fabricados de argamassa e garrafas plásticas para a construção de habitações térreas. É proposto um projeto de habitação de interesse social onde são aplicadas e analisadas as variáveis projetuais de funcionalidade, coordenação dimensional e modular, e desempenho higro-térmico.

Quanto ao sistema construtivo, são analisados os aspectos construtivos, quantificação dos materiais e o desempenho estrutural do painel de parede portante, sendo este último analisado através de ensaios de ruptura à compressão vertical e de impactos de corpo mole e de corpo duro.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo Geral

Desenvolver um sistema construtivo em painéis pré-fabricados de argamassa e garrafas plásticas para habitação de interesse social.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Desenvolver projeto para habitação de interesse social com painéis pré-fabricados.
- Analisar a funcionalidade e modulação da habitação de interesse social proposta.
- Analisar o desempenho higrotérmico das vedações da habitação proposta.
- Desenvolver e caracterizar o sistema construtivo com painéis com garrafas plásticas recicladas.
- Executar protótipos de painéis de vedação vertical.
- Analisar o desempenho estrutural dos painéis de vedação vertical.

1.4 MÉTODOS E TÉCNICAS

Os métodos e técnicas utilizados buscam estabelecer meios para satisfazer os objetivos específicos apresentados anteriormente. Esta pesquisa está dividida em quatro partes.

A primeira parte consiste na realização da revisão bibliográfica com o intuito de construir a fundamentação teórica relativa aos assuntos estudados na pesquisa. Foram pesquisados os temas relacionados com as palavras-chave da dissertação, sendo eles habitação de interesse social, sustentabilidade e pré-fabricação.

A segunda parte consiste na proposição e desenvolvimento de sistema construtivo centrado na pré-fabricação de painéis de vedação com a utilização de garrafas plásticas recicladas do tipo *Pet* (Poli-Tereftalato de Etileno) para a produção de habitação de interesse social. Nesta etapa é proposto o projeto de obra arquitetônica da habitação de interesse social. Paralelamente são analisadas as variáveis projetuais da habitação que envolve coordenação modular, coordenação dimensional, funcionalidade e desempenho higrotérmico. Foi desenvolvido, também, o projeto e a execução de painéis modulares pré-fabricados de vedação vertical com função estrutural a fim de demonstrar que os conceitos de racionalização da construção podem ser aplicados em projetos sociais.

Para a análise da funcionalidade da habitação foi utilizada uma metodologia desenvolvida por Leite (2003) baseado no método apresentado por Silva (1982) aplicado aos seis principais compartimentos das habitações de interesse social, sendo eles o Quarto de Casal, o Quarto dos Filhos, a Sala de Estar e Jantar, a Cozinha, o Banheiro e a Área de Serviço. Esta análise permite qualificar os espaços por meio de análise gráfica com o intuito de verificar possíveis problemas de funcionalidade da habitação projetada.

O desempenho higrotérmico é caracterizado de acordo com a ABNT - Norma Brasileira de Desempenho Térmico de Edificações - NBR15220 e a Norma Espanhola NBE-CT-79. Através de cálculos são avaliados o isolamento, a inércia, o atraso térmico do sistema de vedação, bem como a resistência à passagem e condensação do vapor de água e o desempenho global da edificação. O resultado desta análise permite a caracterização e verificação da adequação do sistema construtivo às condições climáticas da região de Florianópolis.

Quanto à caracterização do sistema construtivo proposto, são detalhados os elementos construtivos que compõem o sistema completo, sendo eles fundação, estrutura, vedação vertical (parede), cobertura, instalações e as características de

fabricação e montagem da habitação. Nos painéis pré-fabricados de parede também são analisados os aspectos construtivos bem como a quantificação dos materiais. A construção de painéis de vedação vertical é necessária para a verificação da viabilidade construtiva, bem como para a verificação das instalações elétricas e hidráulicas, e possíveis ajustes de projeto e produção. Foram construídos seis protótipos de painéis de vedação vertical de 14x65x265cm, a fim de verificar a construtividade e dificuldades de execução. Com a fabricação destes painéis foi possível verificar a viabilidade construtiva para a utilização dos mesmos em habitações de interesse social bem como nas outras edificações do conjunto habitacional tais como Centros Comunitários e Postos de Saúde. Verificadas as especificidades construtivas deste tipo de painel, iniciou-se as análises e propostas de soluções para os requisitos e critérios estabelecidos para o sistema.

Após o equacionamento e produção dos painéis, foi analisado o desempenho estrutural baseado no Projeto de Norma Brasileira de Desempenho de Edifícios Habitacionais de até 5 Pavimentos, através dos ensaios de compressão até a ruptura e ensaios de impacto de corpo mole e corpo duro. Estes ensaios foram realizados no Laboratório de Experimentação em Estruturas - LEE do Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina - USFC, sob coordenação do Professor Dr. Narbal Ataliba Marcellino.

Finalmente foram analisados os resultados alcançados e elaboradas conclusões e sugestões para melhoria no desenvolvimento dos produtos e processos, além de recomendações para a realização de futuros trabalhos relacionados com os assuntos estudados nesta pesquisa.

1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO

O capítulo 1 apresenta o assunto objeto de estudo, bem como os objetivos a serem alcançados, os métodos e técnicas de pesquisa.

O capítulo 2 trata da revisão bibliográfica. Traz a definição de Habitação de Interesse Social, Sustentabilidade e Sistemas Construtivos. Abrange assuntos como Normas de desempenho de edifícios, coordenação dimensional, reciclagem e pré-fabricação.

O capítulo 3 consiste no desenvolvimento do projeto proposto para habitação de interesse social com a análise das variáveis projetuais da habitação, de funcionalidade, modulação e do desempenho higrotérmico das vedações.

O capítulo 4 consiste na caracterização do sistema construtivo com painéis pré-fabricados com garrafas plásticas recicladas para aplicação na habitação de interesse social. São detalhados os elementos construtivos que compõem o sistema proposto tais como: fundações, estrutura e vedações verticais, cobertura, instalações, fixações e juntas. São apresentados, também, o desenvolvimento e a fabricação de protótipos de painel de parede.

No capítulo 5 encontra-se a análise do desempenho estrutural dos painéis, onde, em caráter ilustrativo, são apresentados os resultados dos ensaios de compressão vertical até a ruptura e dos ensaios de impacto de corpo mole e corpo duro.

O capítulo 6 relata as conclusões da pesquisa, referentes aos conceitos aplicados no projeto de habitação térrea, as análises da sua funcionalidade, da modulação adotada, do desempenho higrotérmico, do desempenho estrutural e das principais características de fabricação, montagem e finalização do sistema construtivo proposto. Neste capítulo são também apresentadas sugestões e recomendações para o desenvolvimento de futuras pesquisas sobre o tema.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo foram pesquisados os temas relacionados com as palavras-chave da dissertação, sendo eles Habitação de Interesse Social, Sustentabilidade e Pré-fabricação.

2.1 HABITAÇÃO DE INTERESSE SOCIAL NO BRASIL

“Morar é uma necessidade básica do ser humano e condição indispensável à (re) produção de sua força de trabalho. Habitar em condições precárias implica na redução do desempenho do trabalhador, pois é no interior da habitação onde o homem repõe suas energias através do repouso, das refeições e de sua higiene pessoal” (ROBALINHO, 1980).

“Para projetar adequadamente uma habitação para a população de baixa renda é necessário conhecer o modo de vida dessa população. Não basta dividir os cômodos com dimensões mínimas, achar uma densidade-limite e considerar resolvido o interior desta moradia. No entanto, não é fácil observar o conjunto de exigências, uma vez que o comportamento e as atitudes das famílias apresentam um caráter unitário e dependente do contexto no qual elas vivem” (FOLZ, 2003).

Para Martucci (1990), casa, moradia e habitação possuem conceitos distintos, e assim definidos:

Casa – Invólucro que divide tanto espaços internos como espaços externos. É o ente físico.

Moradia – Possui ligação muito forte com os elementos que fazem a casa funcionar, considerando os “hábitos de uso da casa”. Identifica-se com o modo de vida dos usuários.

Habitação – (...) a Habitação como sendo a Casa e a Moradia integradas ao Espaço Urbano, com todos os elementos que este espaço urbano possa oferecer.

No final do século XIX e início do XX as cidades começavam a apresentar características de concentração urbana e os trabalhadores, morando em cortiços, devido à expansão do mercado de trabalho e a sua construção era de iniciativa privada (BONDUKI, 1998). “A deterioração das condições de vida na cidade, provocada pelo afluxo de trabalhadores mal remunerados ou desempregados, pela falta de habitações

populares e pela expansão descontrolada da malha urbana, obrigou o poder público a intervir para tentar controlar a produção e o consumo das habitações” (BONDUKI, 1998).

As habitações tinham área mínima, ocupavam a periferia do lote e as instalações sanitárias eram coletivas e localizadas na área comum (GHAB, 1999). Segundo Bonduki (1998), isto obrigou o poder público a agir em três áreas distintas ao mesmo tempo, sendo que a prioridade era a do controle sanitário das habitações; seguido pela legislação e códigos de posturas, e da participação direta em obras de saneamento e urbanização.

No início do século XX, “o processo de industrialização era ainda incipiente, frágil e instável, às vezes ameaçado por crises de superprodução, além de sofrer com a ausência de um mercado nacional integrado e com a concorrência estrangeira”. Por isso, pelo menos até meados da década de 1920 a indústria limitava-se a produzir bens de consumo para a classe trabalhadora, sobretudo têxteis e alimentos (CANO, 1979). Mesmo com a baixa industrialização da construção, “as condições econômicas no período de 1900 a 1920 foram bastante favoráveis à produção de habitações e edificações (...)” (BONDUKI, 1998). Após este período, devido ao avanço do processo de industrialização e da atração da vida nos grandes centros, houve a necessidade de atrair mão-de-obra com empregos e moradia. Desde 1853 o Governo Imperial tentava estimular a construção de moradias higiênicas, mas somente no início do século XX foram construídas as Vilas Operárias que dispunham de incentivos para a compra da terra e o não pagamento de impostos por 15 anos (RODRIGUES, 1997).

A partir da Revolução de 30 até 1964, a postura do poder público muda diante da questão habitacional, que até a década de 30 interferia neste setor mais nas áreas de legislação e do controle da especulação imobiliária. “Com a criação do Departamento Nacional do Trabalho, instituiu-se uma legislação trabalhista e previdenciária que pretendia atender às carências habitacionais da população trabalhadora. (...) Neste período, então, a ação do Estado no setor habitacional reflete-se na produção em massa de moradias por intermédio dos Institutos de Aposentadorias e Pensões (IAPs) e pela criação da Fundação da Casa Popular” (FOLZ, 2003). Os IAPs foram criados por volta de 1933 e a Fundação da Casa Popular foi criada em 1946.

Mesmo com a ação do Estado, um fraco desempenho diante do problema habitacional provocou o surgimento da construção espontânea conhecida como *autoconstrução*.

Segundo Bonduki (1998):

Baratear o custo de produção das moradias ou criar facilidades para construir a casa tornou-se um dos grandes objetivos dos técnicos – sobretudo arquitetos e engenheiros, que debateram o tema abordando os mais diferentes enfoques: racionalização e simplificação dos sistemas construtivos, redução do padrão dos acabamentos e dos pés direitos, mudança no código de obras, standardização das unidades, normatização dos materiais, combate à especulação imobiliária e viabilização do acesso à periferia.

Durante seu período de existência, os IAPs construíram conjuntos habitacionais desiguais, com projetos de grande qualidade ao lado de empreendimentos vulgares e tradicionais. Durante o período de 1937 a 1950, uma série de projetos e obras que abordavam o problema da habitação social de maneira criativa e inovadora, incorporaram os princípios da arquitetura e do urbanismo modernos. Assim, parte significativa dos arquitetos envolvidos com a produção habitacional adotou a atitude de projeto concebida pelo movimento moderno, buscando compatibilizar “economia, prática, técnica e estética” (FERREIRA, 1940). “No Brasil, porém, os equívocos da ação habitacional implementada pelo governo reduziram o impacto e a abrangência da proposta. Houve, assim, uma incorporação apenas parcial dos princípios da arquitetura moderna, perdendo-se os generosos e desafiadores horizontes sociais, onde o resultado econômico não deveria se desligar da busca de qualidade arquitetônica e urbanística (...) Esta incorporação parcial gerou, em consequência, o empobrecimento gradativo dos projetos habitacionais (...) Com isso, introduziu-se, no repertório da habitação social brasileira, um suposto racionalismo formal desprovido de conteúdo, consubstanciado em projetos de péssima qualidade, monótonos, repetitivos, desvinculados do contexto urbano, do meio físico e, principalmente, desarticulados de um projeto social” (BONDUKI, 1998).

Após o golpe militar, é criado o BNH (Banco Nacional da Habitação) em 1964, e os Institutos de Aposentadorias e Pensões (IAPs) são extintos. Segundo Rodrigues (1997), o BNH tinha como objetivos a coordenação da política habitacional dos órgãos públicos e a orientação da iniciativa privada, estimulando a construção de moradias populares, financiando a aquisição da casa própria, melhorando o padrão habitacional e do ambiente, eliminando as favelas, aumentando o investimento da indústria de construção e estimulando a poupança privada e o investimento. O Banco Nacional de Habitação inicia suas operações com recursos escassos para a dimensão da falta de moradias.

“Com a criação do Fundo de Garantia por Tempo de Serviço (FGTS) e a designação do BNH como gestor financeiro do fundo, a questão dos recursos escassos se resolve. A outra fonte de recursos para o BNH é proveniente das Cadernetas de Poupança” (RODRIGUES, 1997). O financiamento era diferenciado para cada segmento

do mercado definido pelo BNH. No campo da habitação, existiam as Companhias Habitacionais (COHAHBs), que atendiam as famílias com renda mensal de um a três salários mínimos, limite posteriormente ampliado para cinco; e as Cooperativas Habitacionais (INOCOOPs), que atendiam famílias inicialmente com rendimento entre três e seis salários mínimos e que mais tarde foi estendido.

Quanto à industrialização da construção, Franco (1992) explica que:

A construção dos grandes conjuntos habitacionais no Brasil, a partir da segunda metade dos anos setenta e início dos anos oitenta, marca pela primeira vez, além da utilização em massa de sistemas construtivos inovadores, a preocupação por encontrar alternativas para o aumento dos níveis de produção e produtividade no setor da construção civil. Este setor sempre foi dominado por técnicas e materiais tradicionais, cuja evolução ao longo do tempo não acompanhou a dos demais setores industriais.

Outro critério introduzido no Brasil no fim dos anos setenta foi o conceito de *Desempenho*. Foi definido pelo CIB (*Conseil International du Bâtiment* – CIB, 1975) como sendo “o comportamento de um produto em utilização” e difundido através do esforço de normalização por entidades como ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) e o IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo). Segundo Franco (1992):

Citando os campos propostos por Roberto de Souza, de aplicação na habitação o conceito de desempenho, Sabbatini (1989) generaliza o emprego do conceito de desempenho aos mais diversos setores da atividade produtiva. Aponta, entretanto, como sendo cinco os principais campos de utilização na construção civil:

- No desenvolvimento de produtos, fornecendo orientação racional e caracterizando de forma precisa os requisitos e critérios que estes produtos devem atender;
- Na elaboração de projetos, pois através do estabelecimento de especificações mais precisas pode-se obter um produto que melhor atende às expectativas do usuário;
- Na avaliação do desempenho, propiciando uma base objetiva e racional do desempenho provável de inovações tecnológicas;
- Na normalização, possibilitando a elaboração de normas de desempenho que não restringem a natureza do produto e estimulam a evolução tecnológica dos mesmos;
- No controle da qualidade, por facilitar a implantação de certificados de homologação técnica e permitir a avaliação da qualidade através de propriedades que realmente refletem o comportamento em utilização do produto.

Com a aplicação dos processos inovadores, procurava-se construir um grande número de habitações no menor tempo possível e buscava-se ao mesmo tempo a redução dos custos de construção, muitas vezes em prejuízo de quaisquer outras características, como conforto ou durabilidade (FRANCO, 1992).

No final da década de 70, ocorre uma grande crise econômica e os recursos tornaram-se escassos novamente pois o recolhimento do FGTS e os depósitos em poupança diminuíram. Em 1986 ocorre a falência do BNH devido a esta crise, e os

encargos, recursos e atribuições são transferidos para a Caixa Econômica Federal (CAIXA).

No momento atual, a oferta de propostas para a construção de habitações não consegue satisfazer o déficit habitacional brasileiro, que é de aproximadamente 7.222.645 unidades ¹ (FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO, 2005). Propostas para atender estas demandas devem considerar as diferenças peculiares em nosso país tais como as condições sócio-econômicas regionais, a diversidade climática e a disponibilidade regional do material.

A padronização massificada dos conjuntos habitacionais brasileiros torna as habitações impessoais, o que impossibilita o estabelecimento de relações de identidade entre o usuário e a edificação (SZÜCS, 1997; SILVEIRA, 2000). No setor habitacional, segundo Picchi (1993):

Predomina a crença de que qualidade, prazos de execução, e custos, são dimensões conflitantes e que a melhoria de uma delas, implica em pior desempenho nas outras dimensões. Assim, muitas vezes, na busca de redução de custos, a qualidade é desprezada adotando-se, como estratégia para a contenção de despesas, a precarização do processo construtivo, seja pela subcontratação de mão-de-obra desqualificada, seja através da aquisição de materiais e componentes de baixa qualidade.

Segundo Abiko (2001), desde a metade do século 19, quando a expansão do proletariado urbano exigiu a criação dos primeiros programas de habitação de baixo custo, passando pela criação do BNH, durante a ditadura militar, e por iniciativas mais recentes, como Pró-Moradia e Pró-Saneamento, o papel do Estado na oferta da habitação tem sofrido profundas alterações no Brasil. Hoje há uma forte tendência de redução da intervenção direta do setor público no processo de provisão da moradia popular. Ao mesmo tempo, é crescente a participação do setor privado, das ONGs e das próprias comunidades. Essa é uma tendência global, e o Brasil não é uma exceção.

Uma possível solução para qualificação da construção habitacional no Brasil pode ser definida por Dueñas Peña (2004), onde aponta que “para se obter sucesso em um empreendimento, o projeto não pode ser resumido à caracterização geométrica no papel da obra a ser construída. O projeto deve conceber, além do produto, o seu processo de produção; (...) deve assumir o encargo fundamental de agregar eficiência e qualidade ao produto”. Sabbatini (1989) ressalta a importância da elaboração do projeto para produção do edifício (ou de suas partes), no qual:

¹ Calculado com base no Censo Demográfico 2000.

(...) são definidas as técnicas construtivas (e também os métodos, no caso do objeto do desenvolvimento ser um processo ou um sistema construtivo) e projetados os detalhes de execução (...) que irão permitir a construção do edifício ou de suas partes em acordo com o prescrito na concepção geral.

Melhado (1994) define *Projeto para Produção* como um:

Conjunto de elementos de projeto elaborados de forma simultânea ao detalhamento do projeto executivo, para utilização no âmbito das atividades de produção em obra, contendo as definições de: disposição e seqüência de atividades de obra e frentes de serviço; uso de equipamentos; arranjo e evolução do canteiro.

Melhado e Fabricio (2004) definem que, em relação ao sistema de produção, a definição clara dos procedimentos de produção representa o domínio da tecnologia utilizada pela empresa construtora, que deve ser incorporado na realização dos projetos para produção de determinada obra. Esse domínio do sistema de produção que era precário na grande maioria das empresas de construção de edifícios até recentemente (FARAH, 1992) começa a ser adquirido em um número significativo de empresas como consequência indireta da introdução de sistemas de gestão da qualidade. De fato, procedimentos construtivos padronizados e controlados têm sido amplamente adotados pelas empresas brasileiras de construção de edifícios a partir do final da década de 1990, impulsionado pela busca de certificados de gestão da qualidade ISO 9001, SIQ-C do PBQP-H (Programa Brasileiro de Qualidade e Produtividade no Habitat).

2.1.1 Desempenho da habitação

Na construção civil no Brasil predominam os sistemas construtivos convencionais. No setor habitacional, observou-se, nos últimos anos, que a aplicação de novos sistemas construtivos com o objetivo de industrializar e pré-fabricar a maior parte dos componentes da construção tem esbarrado na ausência de referências normativas que permitam avaliar se estes novos produtos atendem as condições mínimas de desempenho (SOUZA, 1988).

A denominação *Desempenho* significa “comportamento em utilização” e caracteriza-se pelo fato de que um produto deve apresentar determinadas propriedades a fim de cumprir sua função quando sujeito a determinadas influências ou ações durante sua vida útil (CIB; 1975). *Vida Útil* consiste no período de tempo durante o qual o produto pode ser utilizado pelos usuários sob condições satisfatórias de segurança, saúde e higiene (ABNT - Projeto de Norma nº 02:136.01-001, 2004), conforme mostra a Figura 2.1. A idéia do conceito de desempenho é exatamente verificar como a edificação responde a um conjunto de solicitações a que estará submetida e se ela atende ou não às exigências dos usuários que estarão usufruindo dessa edificação. É possível estabelecer somente estimativas tecnicamente fundamentadas da vida útil do produto analisado. A partir disso surgiu a idéia da “avaliação de desempenho” que é a tentativa de simular o

potencial desempenho, de fazer uma previsão de comportamento da edificação ou fazer uma previsão de desempenho (SOUZA, 1988).

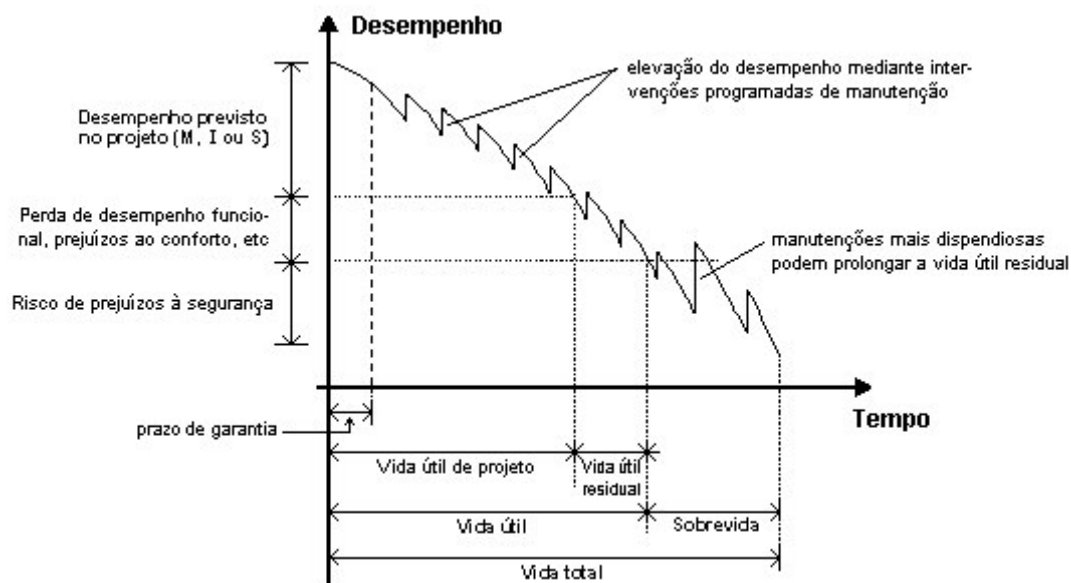


Figura 2. 1: Desempenho ao longo do tempo de um elemento, instalação ou sistema construtivo.
 Fonte: Projeto de Norma Brasileira Desempenho de Edifícios Habit. de até 5 pavimentos – Parte 1 (2004).

Surgem então as *Normas de Desempenho* que são estabelecidas através de um conjunto de ações que passam por ensaios, simulações via modelos físicos e matemáticos e por análises de especialistas, e tem como objetivo estabelecer os requisitos e critérios de desempenho da edificação e seus componentes. Os *Requisitos* são classificados como as “condições qualitativas que devem ser cumpridas pela habitação, a fim de satisfazer as exigências do usuário durante a vida útil” (ABNT - Projeto de Norma nº 02:136.01-001; 2004). Já os *Crítérios* são classificados pela mesma norma como o conjunto de especificações e procedimentos que visam representar tecnicamente as exigências do usuário e geralmente são expressos quantitativamente. A norma, assim elaborada, visa de um lado incentivar e balizar o desenvolvimento de produtos e, de outro lado, orientar a avaliação da real eficiência técnica e econômica das inovações tecnológicas.

A habitação, definida na própria Constituição Federal como um dos direitos do cidadão, deve atender a uma série de anseios dos seus ocupantes, tais como condições básicas de segurança, saúde, higiene e bem-estar.

A normalização de desempenho para habitações tem como objetivo melhorar tecnicamente a qualidade requerida e a oferta de moradias, estabelecendo-se regras claras e objetivas para quem vai desenvolver, quem vai produzir, quem vai financiar e quem vai ocupar e manter um imóvel habitacional. Respeitadas as características regionais, pretende-se eliminar ou minimizar mecanismos viciados (análises técnicas

superficiais, exigências tecnicamente infundadas, preconceitos, interpretações subjetivas e outras interferências) que às vezes podem conduzir à aprovação e às vezes à reprovação de um sistema construtivo ou de todo um empreendimento.

O projeto de norma nº02:136.01-001-2004 “Desempenho de Edifícios Habitacionais de até 5 Pavimentos – Parte 1: Requisitos Gerais.” procurou estabelecer os critérios de segurança (prevenção de colapso estrutural, riscos de incêndio, choques elétricos), habitabilidade (estanqueidade à água, conforto térmico e acústico, níveis de iluminação, dimensões mínimas e organização funcional dos espaços), higiene e saúde (riscos de ferimentos, proliferação de microorganismos), durabilidade (vida útil requerida para a habitação e suas partes, programas de manutenção) e adequação ambiental (utilização racional de insumos, redução de poluentes).

Em função das necessidades básicas de segurança, saúde, higiene e economia, são estabelecidas para os diferentes elementos e partes da construção níveis mínimos de desempenho (“Nível *M*”), que devem ser obrigatoriamente atendidos.

2.2 SUSTENTABILIDADE NA CONSTRUÇÃO

O desenvolvimento, adjetivado sustentável, surgiu da necessidade de conciliar o crescimento da produção de bens e serviço, destinados ao bem-estar das pessoas, com a preservação ambiental da Terra (HOLTHAUSEN, 2002).

O surgimento deste conceito deu-se em 1972 na reunião das Nações Unidas, em Estocolmo, quando os países ricos começaram a discutir sobre o meio ambiente. Mais tarde, a realidade da pobreza mundial obrigou estes países a pensar nos excluídos do progresso material da humanidade. Em 1987, o Relatório Brundtland² definiu *Desenvolvimento Sustentável* como o “desenvolvimento que satisfaz as necessidades do presente sem comprometer a capacidade das gerações futuras de satisfazer as próprias necessidades”. Em 1992 no Rio de Janeiro, veio a Conferência sobre Desenvolvimento e Meio Ambiente para conciliar o desenvolvimento com preservação ambiental. A partir da Reunião de Cúpula do Rio foi formulada a Agenda 21 que “possui necessariamente um caráter geral, delineando um plano de ação voltado para o desenvolvimento sustentável que inclui objetivos, comprometimento dos envolvidos e áreas de programas estratégicos” (CIB, 2000). Ao longo do tempo a Agenda 21 já foi interpretada conforme as agendas locais ou setoriais e sempre trataram de assuntos gerais.

² O Relatório Brundtland ou *Brundtland Report*, WCED (World Commission on Environment and Development) é o resultado dos trabalhos da Comissão Mundial da ONU sobre o Meio Ambiente e o Desenvolvimento.

Para a indústria da construção, uma das versões de maior significado é a Agenda Habitat, resultante da Conferência das Nações Unidas de 1996, em Istambul e que discute agrupamentos e habitações humanos.

O parágrafo 25 da Agenda Habitat afirma que:

Os governos deveriam incentivar a indústria da construção a promover métodos e tecnologias de construção que fossem disponíveis no local, apropriados, de custo razoável, seguros, eficientes e profundamente comprometidos com o meio ambiente, em todos os países, especialmente nos países em desenvolvimento em nível local, nacional, regional e sub regional, de modo a enfatizar o uso ótimo dos recursos humanos locais e a incentivar métodos poupadores de energia que sejam protetores da saúde humana.

Os parágrafos 69, 70 e 71 especificamente, expõem medidas a serem tomadas pelo governo e pela indústria da construção relacionadas ao planejamento, projeto, construção, manutenção e recuperação; a obtenção, uso e promoção de materiais para o Edifício Sustentável bem como a produção de materiais sustentáveis (CIB, 2000).

A definição de Kibert³ de Construção Sustentável é “*a criação e administração responsável de um meio ambiente de construção saudável fundamentado em princípios ecológicos e recursos eficazes*”(CIB 2000).

John *et. al* (2001) afirmam que:

Nenhuma sociedade poderá atingir o desenvolvimento sustentável sem que a construção civil, que lhe dá suporte, passe por profundas transformações. A cadeia produtiva da construção civil apresenta grandes impactos ambientais em todas as etapas do seu processo: extração de matérias-primas, produção de matérias, construção, uso e demolição. Qualquer sociedade seriamente preocupada com esta questão deve colocar o aperfeiçoamento da construção civil como prioridade.

2.2.1 Sustentabilidade na Habitação Popular

Desde a adoção da Declaração Universal dos Direitos Humanos, em 1948, o direito à habitação adequada tem sido reconhecido como um componente importante, ou seja, o direito a um padrão de vida adequado. Segundo Lorenzetti (2001), a Declaração de Vancouver, fruto da 1ª Conferência das Nações Unidas sobre Assentamentos Humanos (HABITAT I), em 1976, indicava um consenso internacional relativo às políticas públicas acerca dos assentamentos humanos, reafirmando a moradia adequada e os serviços como um direito humano básico e apontando a responsabilidade dos governos por ações visando assegurar este direito. Duas décadas depois, foi realizada, em Istambul, a 2ª Conferência das Nações Unidas sobre Assentamentos Humanos (HABITAT II), que reafirma, como princípios e objetivos essenciais, a moradia adequada para todos, como um direito que deve ser progressivamente assegurado, e o desenvolvimento sustentável

³ The First International Conference on Sustainable Construction of Tampa (Primeira Conferência Internacional da Construção Sustentável de Tampa), 1994.

dos assentamentos humanos. Da Conferência resultaram uma declaração de princípios, compromissos e um plano de ação global, que constituem no conjunto, a Agenda Habitat, firmada por todos os Estados participantes.

Segundo Halfed e Rossi (2002), no campo habitacional, para que haja a promoção do desenvolvimento sustentável dos assentamentos humanos, é necessário: oferecer a todos uma habitação adequada; aperfeiçoar o manejo dos assentamentos humanos; promover o planejamento e o manejo sustentáveis do uso da terra; promover a existência integrada de infra-estrutura ambiental: água, saneamento, drenagem e manejo dos resíduos sólidos; promover sistemas sustentáveis de energia e transporte nos assentamentos humanos; promover o planejamento e o manejo dos assentamentos humanos localizados em áreas sujeitas a desastres; promover atividades sustentáveis na indústria da construção; promover o desenvolvimento dos recursos humanos e da capacitação, institucional e técnica para o avanço dos assentamentos humanos.

A habitação adequada para todos é mais do que um teto sobre a cabeça das pessoas. É, também, possuir privacidade e espaço adequados, acessibilidade física, garantia de posse, estabilidade estrutural e durabilidade, iluminação adequada, aquecimento e ventilação, infra-estrutura básica adequada, como fornecimento de água, sistema de esgoto e coleta de lixo, qualidade ambiental adequada e fatores relacionados à saúde, localização adequada e acessível em relação a trabalho e instalações básicas: tudo deveria ser disponível a um custo acessível (FERNANDES, 2003).

Costa Filho *et al.* (2000) afirmam que:

Entende-se que a concepção de uma habitação sustentável pressupõe, basicamente, a compatibilização de dois grupos de variáveis: em um deles estão as variáveis relativas à produção e ao funcionamento da habitação; no outro, estão aquelas relacionadas com a preservação do meio ambiente.

No campo da construção, a Agenda 21 define as diversas áreas que uma construção sustentável deve atingir, sendo elas: sustentabilidade econômica (demanda de mercado, ciclo de vida econômico, processos construtivos e gerenciamento...), sustentabilidade funcional (satisfação das necessidades, qualidade do ambiente interior, desempenho técnico, durabilidade...), sustentabilidade ambiental (recursos naturais, tolerância da natureza...) e sustentabilidade social e humana (estabilidade social, ambiente construído, aspectos estéticos e culturais).

Quanto à sustentabilidade econômica da construção, a Agenda Habitat para Municípios (FERNANDES, 2003) estabelece que se devem promover métodos de construção e tecnologias disponíveis, apropriadas, a custos acessíveis, seguros,

eficientes e ambientalmente corretas, em todos os países, especialmente naqueles em desenvolvimento, em níveis local, nacional, regional e sub-regional, que enfatizem a otimização do uso dos recursos humanos locais e estimulem métodos de economia de energia e que protejam a saúde humana.

Nos países em desenvolvimento existe a necessidade de melhorar a vida útil dos materiais e das tecnologias de construção a fim de suprir a demanda habitacional. A vida útil tem a definição de “período de tempo após a instalação durante o qual todas as condições de um edifício ou da peça da construção correspondem ou excedem os requisitos de desempenho” (CIB, 2000).

Quanto a sustentabilidade funcional da habitação, os principais desafios estão nas fases de projeto e construção. A escolha de materiais deveria ter como referência sua influência no meio ambiente e uma análise do seu ciclo de vida.

Segundo Chehebe (1997), a análise do ciclo de vida:

(...) é uma técnica para avaliação dos aspectos ambientais e dos impactos potenciais associados ao produto, compreendendo etapas que vão desde a retirada da natureza das matérias-primas elementares que entram no sistema produtivo (berço) à disposição do produto final (túmulo). A análise do ciclo de vida faz com que as indústrias considerem as questões ambientais associadas aos sistemas de produção tais como insumos, matérias-primas, manufatura, distribuição, uso, disposição, reuso e reciclagem.

As principais diretrizes gerais adotadas para a concepção do protótipo CETHS⁴ podem exemplificar as diretrizes de uma habitação sustentável. Sendo elas (SATTLER *et al.*, 2000 e COSTA FILHO *et al.*, 2000):

- otimizar a capacidade funcional da habitação, transferindo, para um segundo momento, a avaliação dos seus custos;
- discriminar materiais de construção alinhados com princípios sustentáveis, priorizando aqueles com o menor impacto ambiental possível, assim como aqueles disponíveis localmente;
- incluir no projeto relações espaciais que permitam a utilização da habitação por pessoas portadoras de necessidades especiais e idosos;

⁴ Centro Experimental de Tecnologias Habitacionais Sustentáveis (CETHS). Ao final de 1997, foi firmado um convênio entre o NORIE/UFRGS e a Prefeitura Municipal de Alvorada (região metropolitana de Porto Alegre/RS), para o desenvolvimento de estudos e pesquisas sobre materiais ecológicos e de baixo custo para moradias populares no município de Alvorada. O convênio contou com o patrocínio do Centro Internacional de Investigações para o Desenvolvimento (IDRC), organização não-governamental do Canadá. A partir deste convênio, decidiu-se aproveitar a oportunidade para estender o projeto de pesquisa à construção de um protótipo, que consolidaria os princípios e idéias levantados no Concurso Internacional de Idéias.

- utilizar recursos da arquitetura bioclimática para produzir espaços com um grau de habitabilidade otimizado, com mínima, ou nenhuma, dependência de sistemas ativos de resfriamento ou aquecimento;
- utilizar tecnologias que possam ser facilmente assimiladas pelos futuros usuários, de modo a possibilitar processos de auto-construção;
- projetar a habitação considerando as condições do local onde o mesmo será construído;
- prever um espaço que possibilite o desenvolvimento de atividades geradoras de renda, no programa de necessidades da habitação;
- desenvolver o projeto de modo a possibilitar ampliações e re-manejo de espaços.

Na fase de projeto deve-se refletir sobre a articulação, a montagem e desmontagem da habitação, criando um processo de construção reversível. Na fase de construção os principais desafios estão relacionados ao uso de material local e reutilização de peças de construção aproveitáveis; construção com desmontagem, com enfoque modular; introdução de padrões de qualidade para materiais reciclados e escrever manuais de operação e manutenção para edifícios e sistemas (CIB, 2000). Deve-se, ainda, desenvolver processos de reforma que causem um mínimo de inconveniente para os ocupantes da edificação e, desenvolver sistemas modulares para estas reformas.

A utilização e a transferência de tecnologias ecologicamente corretas que tenham profundo impacto nos padrões de produção e consumo são indispensáveis ao desenvolvimento sustentável dos assentamentos humanos. As tecnologias avançadas e adequadas, e os sistemas de informações que sustentam sua implementação, oferecem novas oportunidades para utilizar de maneira mais eficaz os recursos humanos, financeiros e materiais, estabelecer práticas industriais mais sustentáveis e criar novas fontes de emprego. (FERNANDES, 2003).

2.2.2 Mão-de-obra e inclusão social

Segundo Moretti (2005):

Os trabalhadores envolvidos na produção da habitação apresentam fragilidades e demandas que são bastante conhecidas por aqueles que atuam na construção civil. As iniciativas de melhoria das condições de hospedagem e alimentação nos canteiros de obras, de segurança no trabalho e de treinamento dos trabalhadores devem ser incluídas entre aquelas que visam a sustentabilidade.

Na perspectiva de melhoria das condições da população moradora nos empreendimentos habitacionais destacam-se as seguintes iniciativas:

- Mescla de rendas das famílias moradoras, de forma a evitar os riscos de formação de "guetos" de população excluída.
- Localização dos empreendimentos em áreas centrais e bem atendidas por infraestrutura e serviços públicos, de forma a reduzir as demandas por transporte e facilitar a inclusão social.
- Apoio técnico e operacional para a montagem e funcionamento dos condomínios, nos casos de habitação coletiva.
- Previsão de uso misto no empreendimento, de forma a criar alternativas de emprego e renda, reduzir as necessidades de deslocamento e, quando possível, reduzir as despesas condominiais. A linha, infelizmente ainda comum, de construção de grandes empreendimentos habitacionais, na periferia das cidades, exclusivamente destinados à habitação, e exclusivamente destinados à população de baixo poder aquisitivo constitui assim um passo na contramão dos princípios da sustentabilidade.

2.2.3 Resíduos sólidos urbanos e Reciclagem

Silva (2000) afirma que o aumento significativo do número de habitantes no planeta, associado à concentração populacional nas cidades, vem agravando a capacidade da Terra de absorver o lixo. Em qualquer nível de produção *per capita* de lixo, maior número de pessoas é maior a quantidade de lixo gerado.

O Município, responsável pela gestão dos resíduos sólidos e pela prestação dos serviços de coleta, tratamento e disposição final do lixo, pode contribuir para dar aplicação prática aos resultados das atividades de pesquisa e desenvolvimento tecnológico realizadas no país. As práticas de reciclagem e de reutilização dos resíduos sólidos ainda são pouco numerosas no país, principalmente na esfera de ação municipal. No entanto, impulsionado pelas preocupações crescentes do Governo e da sociedade com o meio ambiente, observa-se o seu avanço no país, inclusive com a participação do setor produtivo, e por iniciativa municipal. (FERNANDES, 2003).

Del Prette (2003) conceitua que *resíduos* são:

(...) subprodutos e bens descartados, porém com valor potencial para a sua reutilização, seja para o consumidor final, ou em um novo processo produtivo, onde os materiais e a energia neles presentes podem ser aproveitados para a fabricação de um novo produto. A cadeia dos resíduos sólidos urbanos, quando feita desconsiderando a análise dos valores presentes nos resíduos, pode ser caracterizada pelas seguintes etapas: (a) *geração* do resíduo pela atividade humana; (b) *descarte* do resíduo; (c) *coleta* do resíduo pelo poder público ou outros agentes; (d) *destinação* do resíduo como lixo.

Segundo a norma NBR 10.004/2004 Resíduos Sólidos - Classificação, *resíduos sólidos* são:

(...) aqueles resíduos nos estados sólido e semi-sólido, que resultam de atividades da comunidade de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos de água, ou exijam para isso soluções técnicas e economicamente inviáveis em face de melhor tecnologia disponível.

A classificação dos resíduos sólidos em grupos é necessária para que a estratégia de gerenciamento dos mesmos seja a mais adequada possível e consuma a menor quantidade de energia.

A norma NBR 10.004/2004 classifica os resíduos sólidos quanto a sua periculosidade, sendo eles:

- Classe I – Resíduos Perigosos - São aqueles que apresentam periculosidade, ou uma das características seguintes como inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade, patogenicidade.
- Classe II – ou Não-Inertes - São aqueles que não se enquadram nas classes I ou III. Os resíduos classe II podem ter propriedades, tais como: combustibilidade, biodegradabilidade ou solubilidade em água.
- Classe III - ou Inertes - São aqueles que, por suas características intrínsecas, não oferecem riscos à saúde e ao meio ambiente, e que, quando amostrados de forma representativa, segundo a norma NBR 10.007/2004, e submetidos a um contato estático ou dinâmico com água destilada ou deionizada, a temperatura ambiente, conforme teste de solubilização segundo a norma NBR 10.006/2004, não tiverem nenhum de seus constituintes solubilizados a concentrações superiores aos padrões de potabilidade da água, conforme listagem nº 8, constante do Anexo H da NBR 10.004, excetuando-se os padrões de aspecto, cor, turbidez e sabor.

Deve-se intensificar e apoiar pesquisas destinadas a encontrar substitutos ou a otimizar o uso de recursos não renováveis e reduzir os efeitos da poluição, dedicando atenção especial à reciclagem e à reutilização de resíduos e ao reflorestamento (FERNANDES, 2003).

Tecnicamente, é possível recuperar e reutilizar a maior parte dos materiais que na rotina do dia-a-dia é jogada fora. Latas de alumínio, vidro e papéis, facilmente coletados, estão sendo reciclados em larga escala em muitos países, inclusive no Brasil. “A coleta seletiva e a reciclagem de resíduos são uma solução indispensável, por permitir a

redução do volume de lixo para disposição final em aterros e incineradores” (MUÇOUÇA, 1993).

A proposta de gerenciamento para o sistema de coleta, tratamento e disposição final dos resíduos sólidos urbanos deve levar em conta o princípio dos “3 R_s” (Reduzir – Reutilizar – Reciclar) como orientador de todas as ações desse sistema (SÃO PAULO, 1998):

- Reduzir

Reduzir para que o sistema processe o menor volume e peso possível de resíduos e rejeitos e possa direcionar, com economia e eficácia, seus meios e recursos para ampliar a prestação e assegurar a regularidade, a continuidade e abrangência dos serviços comunitários. A *redução* do volume de lixo gerado decorre, inclusive, da incorporação de hábitos de consumo mais conscientes e da prática do reaproveitamento e da reciclagem, ao menos, nesse último aspecto, pela facilitação da coleta de recicláveis pela adoção de práticas na origem.

- Reaproveitar

O reaproveitamento de materiais ou objetos servidos pode ser feita na origem, a partir da iniciativa individual dos particulares, ou obedecer a um conjunto de ações administrativas que produzam uma conscientização na comunidade, sobre a conveniência, vantagens e ganhos individuais e sociais com o reaproveitamento de material e objetivos utilizados.

- Reciclagem

Esta é a atividade que apresenta um potencial imediato de apropriação de ganhos, pois resulta na venda do material colhido e selecionado no meio dos resíduos, antes da disposição. Além disso, emprega um contingente não menos importante de mão-de-obra de baixa qualificação e que, na atividade, encontra oportunidade de ganhos competitiva com alternativas informais e de emprego formal. A Administração, como já tem sido recomendado em outras oportunidades, deve desenvolver programas de apoio e indução direcionados a esses agentes, buscando seu resgate social e oferecer meios de elevação da eficiência econômica e social da atividade.

Tudo que nos cerca um dia será resíduo - casas, automóveis, móveis, pontes, aviões. A este total, deve-se somar todos os resíduos do processo de extração de matérias-primas e de produção de bens. Assim, em qualquer sociedade, a quantidade de resíduos gerados supera a quantidade de bens consumidos (ROCHA e JOHN, 2003).

2.2.4 Garrafas plásticas PET

O PET (Poli-Tereftalato de Etileno) é um polímero termoplástico, o melhor e mais resistente plástico para fabricação de garrafas e embalagens para refrigerantes, águas, sucos, óleos comestíveis, medicamentos, cosméticos, produtos de higiene e limpeza, destilados, isotônicos, entre vários outros. O PET proporciona alta resistência mecânica (impacto) e química, além de ter excelente barreira para gases e odores. Devido às características já citadas e o peso muito menor que das embalagens tradicionais, o PET mostrou ser o recipiente ideal para a indústria de bebidas em todo o mundo, reduzindo custos de transporte e produção. Por tudo isso, oferece ao consumidor um produto substancialmente mais barato, seguro e moderno.

Segundo a Associação Brasileira da Indústria do PET - Abipet, o PET foi desenvolvido em 1941 pelos químicos ingleses Whinfield e Dickson, mas as garrafas produzidas com este polímero só começaram a ser fabricadas na década de 70, após cuidadosa revisão dos aspectos de segurança e meio ambiente. No começo dos anos 80, EUA e Canadá iniciaram a coleta dessas garrafas, reciclando-as inicialmente para fazer enchimento de almofadas. Com a melhoria da qualidade do PET reciclado, surgiram aplicações importantes, como tecidos, lâminas e garrafas para produtos não alimentícios. Mais tarde, na década de 90, o governo americano autorizou o uso deste material reciclado em embalagens de alimentos. O PET chegou ao Brasil em 1988 e seguiu uma trajetória semelhante ao resto do mundo, sendo utilizado primeiramente na indústria têxtil. Apenas a partir de 1993 passou a ter forte expressão no mercado de embalagens, notadamente para os refrigerantes. Atualmente o PET está presente nos mais diversos produtos.

Ano	Consumo para Embalagens
1994	80.000 toneladas
1995	120.000 toneladas
1996	150.000 toneladas
1997	185.700 toneladas
1998	223.600 toneladas
1999	244.800 toneladas
2000	255.100 toneladas
2001	270.000 toneladas
2002	300.000 toneladas
2003	330.000 toneladas
2004	360.000 toneladas

Figura 2. 2: Tabela de consumo para embalagens PET.
Fonte: www.abipet.com.br

Algumas características físico-químicas do PET:

- Alta resistência mecânica a impactos
- Alta resistência química
- Transparência
- Baixo peso
- 100% reciclável

(fonte: abipet, 2006)

Características das embalagens de PET:

Normatizado pela ABNT, o triângulo da reciclagem é fundamental na hora de separar os vários tipos de plásticos, tarefa fundamental para a viabilização econômica e industrial da reciclagem. Cada tipo de plástico recebeu uma numeração específica⁵ e todas as embalagens plásticas devem ter o respectivo triângulo com a identificação. As embalagens de PET são identificadas através do número 1, conforme mostra a Figura 2.4. Na maioria das embalagens, o triângulo é aplicado em alto relevo na parte de baixo da mesma.



Figura 2. 3: Processo de fabricação de garrafas PET.
Fonte: www.abipet.com.br



Figura 2. 4: Símbolo das embalagens PET.
Fonte: www.abipet.com.br

Vantagens:

- Poder ser reciclado várias vezes sem que a qualidade do produto final seja alterada. O material moído é 100% reciclável.
- O PET promove excelente barreira para gases e odores.
- É leve e reduz o custo do transporte de bebidas, refletindo no preço final. No caso de embalagem PET de 2 litros, a relação entre o peso da garrafa (cerca de 54g) e o conteúdo é uma das mais favoráveis entre os descartáveis (fonte: Abipet, 2006).

⁵ No Brasil existe a norma ABNT - NBR 13230/1994 - *Simbologia indicativa de reciclabilidade e identificação de materiais plásticos*, que padroniza os símbolos que identificam os diversos tipos de resinas (plásticos) virgens. O objetivo é facilitar a etapa de triagem dos resíduos plásticos que serão encaminhados à reciclagem. Os tipos são classificados pelos números a seguir: 1-PET, 2-PEAD, 3-PVC, 4-PEBD, 5-PP, 6-OS, 7-Outros plásticos.

Fonte: COMPAM - <http://www.compam.com.br/>

Desvantagens

- Descartado de forma errada aparece nos rios (Figura 2.5), praias, lixões e ruas; entope galerias pluviais e enche os aterros sanitários. É de difícil degradação em aterros sanitários.
- Empilhado nas encostas, pode causar deslizamentos.
- Não pode ser transformado em adubo. (fonte: Abipet, 2006).



Figura 2. 5: Rio poluído com garrafas plásticas – Rio de Janeiro.
Fonte: Samuel Martins

2.2.4.1 Reciclagem do PET

A reciclagem do PET pode ser de dois tipos diferentes:

- **QUÍMICA.** Utilizada também para outros plásticos, separa os componentes do PET, fornecendo matéria-prima para solventes e resinas, entre outros produtos.
- **MECÂNICA.** Praticamente todo o PET reciclado no Brasil passa pelo processo mecânico, que pode ser dividido em:

Recuperação: Nesta fase, as embalagens que seriam atiradas no lixo comum ganham o status de matéria-prima, o que, de fato, são. As embalagens recuperadas são então separadas por cor e prensadas. A separação por cor é necessária para que os produtos que resultarão do processo tenham uniformidade de cor, facilitando, assim sua penetração no mercado. A prensagem, por outro lado, é importante para que o transporte das embalagens seja viabilizado. Como já se sabe, o PET é muito leve.

Revalorização: As garrafas são moídas, ganhando valor no mercado. O produto que resulta desta fase é o floco da garrafa. Pode ser produzido de diferentes maneiras e os flocos mais refinados, podem ser utilizados diretamente como matéria-prima para a fabricação de novos produtos. No entanto, há possibilidade de agregar ainda mais valor ao produto, produzindo os grãos de PET reciclado. Desta forma o produto fica muito mais compactado, otimizando o transporte e o desempenho na transformação.

Transformação: Fase, propriamente dita, em que os flocos ou o granulado serão transformados num novo produto, fechando o ciclo.

A Figura 2.6 apresenta a quantidade de embalagens das garrafas plásticas PET recicladas entre os anos de 1994 e 2004.

ANO	RECICLAGEM pós-consumo/índice
1994	13 ktons= 18,8%
1995	18 ktons= 25,4%
1996	22 ktons= 21,0%
1997	30 ktons= 16,2%
1998	40 ktons= 17,9%
1999	50 ktons= 20,42%
2000	67 ktons= 26,27%
2001	89Ktons = 32,9%
2002	105 ktons = 35%
2003	141.5 ktons = 43%
2004	167 ktons = 47%

Figura 2. 6: Tabela de reciclagem de embalagens PET.
Fonte: www.abipet.com.br

2.2.4.2 Situação atual

O Brasil consumiu 300 mil toneladas de resina PET na fabricação de embalagens em 2003. A demanda mundial é de cerca de 6,7 milhões de toneladas por ano, segundo a CEMPRE (2005).

Atualmente, o maior mercado para o PET pós-consumo no Brasil é a produção de fibra de poliéster para indústria têxtil (multifilamento), onde será aplicada na fabricação de fios de costura, forrações, tapetes e carpetes, mantas de TNT (tecido não tecido), entre outras. Outra utilização muito freqüente é na a fabricação de cordas e cerdas de vassouras e escovas (monofilamento). Outra parte é destinada à produção de filmes e chapas para boxes de banheiro, termo-formadores, formadores a vácuo, placas de trânsito e sinalização em geral. Também é crescente o uso das embalagens pós-consumo recicladas na fabricação de novas garrafas para produtos não alimentícios. É possível utilizar os flocos da garrafa na fabricação de resinas alquídicas, usadas na produção de tintas e também resinas insaturadas, para produção de adesivos e resinas poliéster. As aplicações mais recentes estão na extrusão de tubos para esgotamento predial e na injeção para fabricação de torneiras (CEMPRE, 2005).

A Indústria têxtil é o setor que mais utiliza o PET reciclado - cerca de 41% -, seguido pelos fabricantes de não-tecidos e cordas; mas surgem a cada dia novas aplicações, que incluem telhas, placas e tubos de esgoto (ABIPET, 2006). No Brasil, 40% das embalagens pós-consumo foram efetivamente recicladas em 2003, totalizando 120

mil toneladas. As garrafas são recuperadas através de catadores, além de fábricas e da coleta seletiva operada por municípios.

2.3 PROJETO DE EDIFICAÇÕES E SISTEMAS CONSTRUTIVOS

A grande variedade de componentes construtivos disponíveis no mercado permite, hoje em dia, a comparação e escolha de alternativas que melhor se adequem às demandas arquitetônicas, principalmente aos projetos de habitação de interesse social. O planejamento e a elaboração dos projetos muitas vezes representam uma pequena parcela do processo da construção civil, ficando a maior parte para a resolução de problemas para a etapa de execução das obras, sem levar em consideração o desempenho potencial e as características particulares de cada sistema construtivo.

Se isto é antecipado para a fase de realização do projeto de edificações, é possível evitar conflitos normativos, permitindo uma maior racionalização da construção e conseqüentemente melhores condições ambientais, minimização de desperdícios e um preço acessível à população de baixo poder aquisitivo.

2.3.1 Racionalização da Construção

No século XX, o empenho por uma maior industrialização da construção verificou-se, no bloco soviético, com a criação de políticas habitacionais do tipo construções em massa de habitações segundo projetos-padrão e, no bloco capitalista, com a criação da Bauhaus, em Dessau, em 1924, que propunha a introdução de métodos industriais como a pré-fabricação de ciclo aberto e fechado na produção de moradias (KRÜGER, 2001/2002). Após a Segunda Guerra Mundial (1939-1945), a formulação de uma política habitacional eficaz tinha de levar em conta uma série de limitações como a falta de materiais, um grande déficit de moradias, dificuldades econômicas e a escassez de mão-de-obra especializada. Enquanto a ausência de materiais e de capital conduz a iniciativas de restauração e reutilização de prédios avariados nos bombardeamentos, a ausência de mão-de-obra especializada tem um efeito positivo: a mecanização da construção, com um maior controle do trabalho em usinas e a montagem simplificada no canteiro.

No Brasil, as primeiras iniciativas para racionalizar a construção ocorreram na década de 50, com a construção de Brasília e de grandes conjuntos habitacionais no modelo dos programas de massa do pós-guerra europeu, tendo como base a produção fabril seriada e a organização do trabalho fordista (FARAH, 1992). Essa produção, tipicamente industrial e em grande escala, sofre com a crise econômica dos anos 80 e é

deixada de lado. A partir daí são introduzidas novas formas de racionalização no setor da construção civil.

A racionalização, segundo Rosso (1976) caracteriza-se por uma abrangência mais restrita à otimização da realização de cada tarefa. Neste sentido, Rosso (1976) afirma que:

(...) pode-se entender por racionalização de um processo de produção um conjunto de ações reformadoras que propõe substituir as práticas rotineiras convencionais por recursos e métodos baseados em raciocínios sistemáticos, visando eliminar a casualidade nas decisões.

Para Sabbatini (1989), racionalização construtiva, consiste em “(...) um processo composto pelo conjunto de todas as ações que tenham por objetivo otimizar o uso dos recursos materiais, humanos, organizacionais, energéticos, tecnológicos, temporais e financeiros disponíveis na construção em todas as suas fases.”

2.3.2 Industrialização da construção

Historicamente, o processo de industrialização assemelha-se ao da mecanização (BRUNA, 1976) e ocorre em três fases distintas. Em sua primeira fase, com a Revolução Industrial, as máquinas genéricas ou polivalentes substituem paulatinamente a força humana como ferramentas no processo de produção. Em uma segunda fase, as máquinas cumprem ciclos completos, havendo uma distinção entre o trabalho manual e o trabalho intelectual de organização. É o início da produção seriada e a criação das linhas de montagem. O trabalho manual, na linha de montagem, favorece a rigidez da atividade de trabalho. Uma terceira fase, denominada automatização ou Segunda Revolução Industrial, se verifica a substituição gradativa do trabalho humano por automatismos.

No campo da construção civil, a industrialização da construção é definida como “o emprego de forma racional e mecanizada de materiais, meios de transporte e técnicas construtivas para conseguir uma maior produtividade” (ORDÓÑES, 1974).

Os sistemas industrializados possuem componentes que, produzidos em fábricas ou no próprio canteiro, atingem significativos níveis de complexidade funcional e construtiva. A combinação destes componentes pode gerar uma construção com diferentes níveis de industrialização, numa crescente transferência da mão-de-obra *in situ* para a fábrica. Isto facilita o treinamento e a especialização da mão-de-obra, com aumento da produtividade e conseqüente melhoria dos salários no setor da construção. BRUNA (1976).

Segundo Rosso (1976), a industrialização da construção “resulta de uma racional aplicação de recursos, da eliminação dos desperdícios e do aumento da eficiência dos

fatores de produção mão-de-obra e equipamentos”. Já Testa (1972) define que industrialização “é um processo pelo qual, através de avanços tecnológicos, conceitos e métodos organizacionais, e investimento de capital, tende a aumentar a produtividade e a melhorar o desempenho”.

2.3.3 Coordenação Dimensional x Coordenação Modular

A coordenação dimensional e a coordenação modular tem como objetivo a racionalização da construção. Para Franco (1998) a coordenação dimensional e modular “levariam a padronização dos detalhes construtivos, que além de facilitar a execução e controle dos mesmos, permitiria a padronização das soluções e o desenvolvimento de alternativas cada vez melhores para as diversas situações padrão”.

O conceito de *Coordenação Dimensional*, segundo Barth e Silveira (2003), é definido como um procedimento de projeto e um mecanismo de produção que estabelece inter-relação entre as dimensões dos componentes e elementos construtivos visando a organização, a compatibilização e intercambialidade do sistema.

A adoção da coordenação dimensional na etapa de projeto permite ajustar as medidas de todos os componentes da alvenaria e dos subsistemas a ela relacionados intensificando a racionalização da produção e diminuindo as incompatibilidades e improvisações na fase de execução (FRANCO, 1998).

Para Mascaró (1976), *Coordenação Modular* é “um mecanismo de simplificação e inter-relação de grandezas e de objetos diferentes de procedência distinta, que devem ser unidos entre si na etapa de construção (ou montagem), com mínimas modificações ou ajustes”. Já Baldauf (2004) entende por *Coordenação Modular* “o sistema dimensional de referência que, a partir de medidas com base em um módulo pré-determinado (10cm), compatibiliza e organiza tanto a aplicação racional de técnicas construtivas como o uso de componentes em projeto e obra, sem sofrer modificações”.

O conceito de *Módulo* é definido pela NBR 5706/77 como “a distância entre dois planos consecutivos do sistema que origina o reticulado espacial modular de referência”. Segundo Rosso (1976):

Vitruvio e Vignola ditaram durante muito tempo às normas de composição e a eles principalmente deve-se a divulgação do uso do módulo como unidade de medida convencional para estabelecer dimensões, proporções e ordenar a construção de elementos de um determinado organismo arquitetônico.

O sistema modular de medidas é baseado no *Módulo Básico M* (10cm) e nos módulos derivados: *Multimódulos n.M* e *Submódulos M/n*, onde “n” é um número positivo inteiro qualquer. Lucini (2001) define também os conceitos de Medida Modular, Medida

Nominal, Junta Nominal e Ajuste Modular. *Medida Modular* é a medida de um componente, vão ou distância entre partes da construção. A *Medida Modular mM* inclui o componente e a folga perimetral, necessária para absorver tanto as tolerâncias de fabricação quanto a colocação em obra. A *Medida Nominal* é a medida determinada para o projeto ou produção de um componente. É sempre inferior à medida modular, para possibilitar a inclusão de tolerâncias de fabricação e sua colocação na obra. *Junta Nominal* é a distância prevista no projeto entre os extremos adjacentes de dois componentes, considerados a partir da sua medida nominal. *Ajuste Modular* compreende a folga perimetral necessária ao componente para absorver as tolerâncias de fabricação e a sua colocação na obra (LUCINI, 2001).

Através da aplicação da coordenação modular em projeto de obra arquitetônica voltado para habitação de interesse social, pode-se aumentar os índices de industrialização da construção obtendo, desta forma, economia de escala, compatibilização e otimização da qualidade, quantidades e custos. A partir desses conceitos, é possível comparar os índices de repetição dos componentes construtivos, as facilidades construtivas e a flexibilidade compositiva num mesmo projeto (BARTH e SILVEIRA, 2002).

Outro paradigma observado é que para pré-fabricar ou industrializar a construção é necessário somente a coordenação modular. Elliot (1997) destaca que “a única condição para possibilitar a pré-fabricação é a coordenação dimensional, ou seja, pode-se fabricar produtos ou componentes com dimensões não modulares, desde que exista, no projeto, a possibilidade de combinação e ajuste entre os mesmos”. Os componentes de um sistema construtivo podem ser pré-fabricados com dimensões não modulares e a sua montagem dar-se através de um projeto com coordenação dimensional onde os componentes se encaixam perfeitamente, respeitando juntas, folgas e tolerâncias de fabricação e montagem. Isto não implica na eliminação da coordenação modular. A coordenação dimensional permite aliar os processos projetuais ao meio de produção, sem implicar necessariamente na redução do potencial criativo da proposta, resultando numa solução integrada, com menor desperdício, maior produtividade, qualidade e durabilidade do produto final.

A repetição do número de componentes em projetos industrializados é um fator que influencia na capacidade produtiva e na rapidez de construção. O índice elevado de repetição de um componente pode aumentar a produtividade da construção e, conseqüentemente, reduzir custos. Entretanto, uma grande variedade de componentes,

em geral, gera perdas de produtividade na fabricação e exige atenção especial na montagem, aumentando os tempos de construção e os respectivos custos. Portanto, os valores de repetitividade e diversidade de componentes podem servir como parâmetros para avaliar a eficácia construtiva e contribuir com melhorias na construtividade do sistema proposto.

2.3.4 Pré-fabricação

Os conceitos de modulação, repetição e racionalização podem balizar a concepção de um projeto desde seu início. As soluções de pré-fabricação devem nascer junto com o projeto de obra arquitetônica e precisam ser compatibilizadas com os projetos complementares tais como as estruturas e instalações. Além disso, os projetos devem considerar a modulação, juntas, tolerância dimensional e o transporte das peças.

A pré-fabricação pode acontecer tanto no canteiro de obras como na indústria especializada. Existem casos em que a produção de peças pré-fabricadas no canteiro se justifica pelo tamanho da área do terreno, quantidade de peças produzidas, distância entre as fábricas e o local de utilização e oferta de mão-de-obra especializada. A pré-fabricação minimiza a perda de materiais, reduzindo entulhos e desperdícios; diminui o tempo de execução e oferece melhores condições de trabalho no canteiro, reduzindo os custos finais da obra.

O III Plano de Desenvolvimento Espanhol, segundo Ordóñez (1974), define a construção pré-fabricada como “aquela cujas partes construtivas são, em sua maioria, executadas em série, no canteiro de obras ou na fábrica, com a precisão dos métodos industriais modernos, para formar um sistema construtivo coerente”.

A pré-fabricação pode ser utilizada em vários sub-sistemas da edificação. Segundo o conceito da ABNT na Norma de Desempenho de Edifícios Habitacionais de até 5 pavimentos – Parte 1: Requisitos Gerais, *Sub-sistema* ou *Elemento* é o “produto que corresponde a uma parte complexa da edificação, destinado a cumprir um conjunto amplo de funções e atender simultaneamente a diversas exigências dos usuários (fundações, fachadas, cobertura, estrutura, divisórias internas etc). Geralmente constituído por um conjunto de componentes e/ou de materiais”.

Segundo Barros (1998), é no subsistema de vedação vertical que se observam os maiores índices de desperdício de materiais e mão-de-obra, e também, os maiores índices de patologias. Para Franco (1998) o projeto de vedação vertical é uma peça de extrema importância para a implantação de tecnologias construtivas racionalizadas e este projeto deve ser concebido dentro uma visão sistêmica, “não se restringindo unicamente à

melhoria do comportamento dos componentes da vedação vertical, mas inserindo o funcionamento da vedação vertical no edifício e a sua produção na organização e racionalização dos demais subsistemas que compõe a edificação” .

As vedações verticais podem ser entendidas como o subsistema do edifício constituído por elementos que definem, limitam e compartimentam verticalmente os ambientes internos, controlando a ação de agentes externos como chuva, calor, umidade, etc. Dessa forma, as vedações verticais envolvem as paredes ou divisórias, os revestimentos e as esquadrias, sendo cada uma dessas partes responsável pelo desempenho do subsistema vedações verticais. A importância das vedações verticais para o processo de racionalização da produção está relacionada, principalmente, ao nível de interferência desse subsistema com outros subsistemas do edifício, que ao não ser considerado, pode implicar em altos custos para a produção (OLIVEIRA *et. al*, 2002).

Oliveira *et. al*, (2002) ainda destacam a seguinte terminologia técnica para as vedações verticais em: paredes (de alvenaria ou maciças); divisórias leves (em placas); painéis pesados (pré-fabricados ou pré-moldados); e vedações leves de fachada (em fachada-cortina; em esquadrias; em telhas).

A utilização dos processos pré-fabricados visa, ao mesmo tempo, conservar as vantagens funcionais e estéticas das construções em alvenaria e eliminar os problemas mais sérios deste processo, tais como perdas de tempo devido a condições climáticas desfavoráveis, dificuldade de implementação de métodos de estocagem de materiais e dificuldade de controle de qualidade (ROMAN, 2000).

3 DESENVOLVIMENTO DE PROJETO DE HABITAÇÃO DE INTERESSE SOCIAL

Ao analisar os problemas da industrialização da construção, Orlandi (1988) comenta a falta de padronização de seus materiais e componentes como um dos grandes entraves ao desenvolvimento do setor. John (1995), ao analisar a questão da introdução da inovação tecnológica em habitações populares, conclui pela urgente necessidade do estabelecimento de um sistema de Aprovação Técnica voltado às novas tecnologias, hoje inexistente no Brasil. No mesmo trabalho, John (1995) comenta o equívoco de se pensar nas novas tecnologias apenas como redutoras de custos, deixando de lado a possibilidade de gerar produtos de melhor qualidade e, portanto, produtos com maior valor agregado.

O surgimento de novos materiais, componentes e insumos tem sido uma das origens de mudanças na tecnologia construtiva. Os produtos que chegam ao canteiro de obras são, cada vez mais, industrializados. A história de desenvolvimento do setor é a história da substituição de produtos mais artesanais e trabalhados no próprio canteiro por produtos cada vez mais industrializados (LEMOS, 1989-a; FARAHA, 1996; REZENDE *et al*, 2002).

O *tipo de produto* irá determinar o *tipo de processo* de inovação a ser adotado. Dessa forma, há desde produtos que têm um processo de inovação muito semelhante ao dos demais produtos industrializados e que são voltados – além das construtoras – para o cliente final, como no caso das cerâmicas ou das tintas, até produtos mais parecidos com um típico Produto Complexo (PoSCo)⁶ como no caso dos elevadores ou das paredes de gesso acartonado (WINCH, 1998).

Segundo Rezende *et al.*(2004), após uma intensa análise crítica sobre a bibliografia de inovações tecnológicas, propõem-se 17 fatores como primordiais para a inovação na tecnologia construtiva das edificações brasileiras. Dentre estes fatores destacam-se: o surgimento de novos materiais, citado anteriormente; as características e qualificação da

⁶ Ver mais sobre este assunto em WINCH, G. Zephyrs of creative destruction: understanding the management of innovation in construction. Building Research & Information, v.26, n.5, 1998.

mão-de-obra; os mediadores da inovação ou *innovation brokers*⁷, que no caso do Brasil pode ser o Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo-IPT; elaboração de normas e legislação⁸; e o custo da implantação da inovação, ou seja, quanto maior o custo da nova tecnologia, maior a dificuldade para sua inserção no mercado.

3.1 PROPOSTA DE PROJETO PARA HABITAÇÃO DE INTERESSE SOCIAL

Nesta etapa do trabalho é proposto um projeto de habitação de interesse social que utiliza as garrafas plásticas recicladas na fabricação de painéis de parede e de cobertura. Este projeto foi nomeado como *Casa Pet*. As garrafas são incorporadas no interior dos painéis melhorando o desempenho térmico, diminuindo seu peso e conferindo maior espessura da parede e rigidez no conjunto da habitação. Além de reduzir a poluição ambiental esta solução também contribui para a redução dos custos na medida que substitui outros materiais, tais como tijolos, blocos cerâmicos e de concreto.

3.1.1 Projeto *Casa Pet*

A concepção da *Casa Pet* buscou colaborar para a solução de dois problemas: o déficit habitacional brasileiro e a reciclagem / reaproveitamento das garrafas plásticas tipo PET. Como primeira solução, adotou-se um processo de pré-fabricação de painéis que podem ser desenvolvidos na indústria ou no próprio canteiro de obras através de um projeto racionalizado, com flexibilidade compositiva suficiente para atender as demandas atuais e futuras dos usuários. A leveza e a rigidez dos painéis pré-fabricados facilitam a fabricação, o transporte e a montagem das habitações. A incorporação das garrafas plásticas no seu interior, melhoram o desempenho térmico, diminuem o peso, e conferem maior espessura à parede e rigidez ao conjunto. As técnicas de pré-fabricação são utilizadas de modo a aumentar a produtividade, gerando mão-de-obra treinada e reduzindo custos e desperdícios na construção.

O projeto proposto busca satisfazer as necessidades iniciais dos usuários e prever, de forma racionalizada, possíveis ampliações que atendam as exigências básicas e acompanhem o crescimento e desenvolvimento social dos usuários. A habitação apresenta dois dormitórios com banheiro, cozinha e sala integradas, área de serviço e

⁷ “*innovation brokers*” são agentes que atuam num “campo neutro” onde os novos produtos poderiam ser analisados e discutidos com uma certa isenção em relação aos fornecedores e demais agentes envolvidos. Pesquisar em Winch (1998), REZENDE et al.(2002), REZENDE et al. (2004).

⁸ as normas e legislação podem facilitar o processo de inovação tanto ao apresentarem novas necessidades a serem satisfeitas, quanto ao se basearem mais nos resultados a serem obtidos das construções (avaliação de desempenho) do que nas características dos materiais e componentes utilizados.

varanda, totalizando 50,70m², buscando atender o programa de necessidades para uma família com dois ou três filhos, conforme ilustram as Figuras 3.1, 3.2, 3.3 e 3.4.

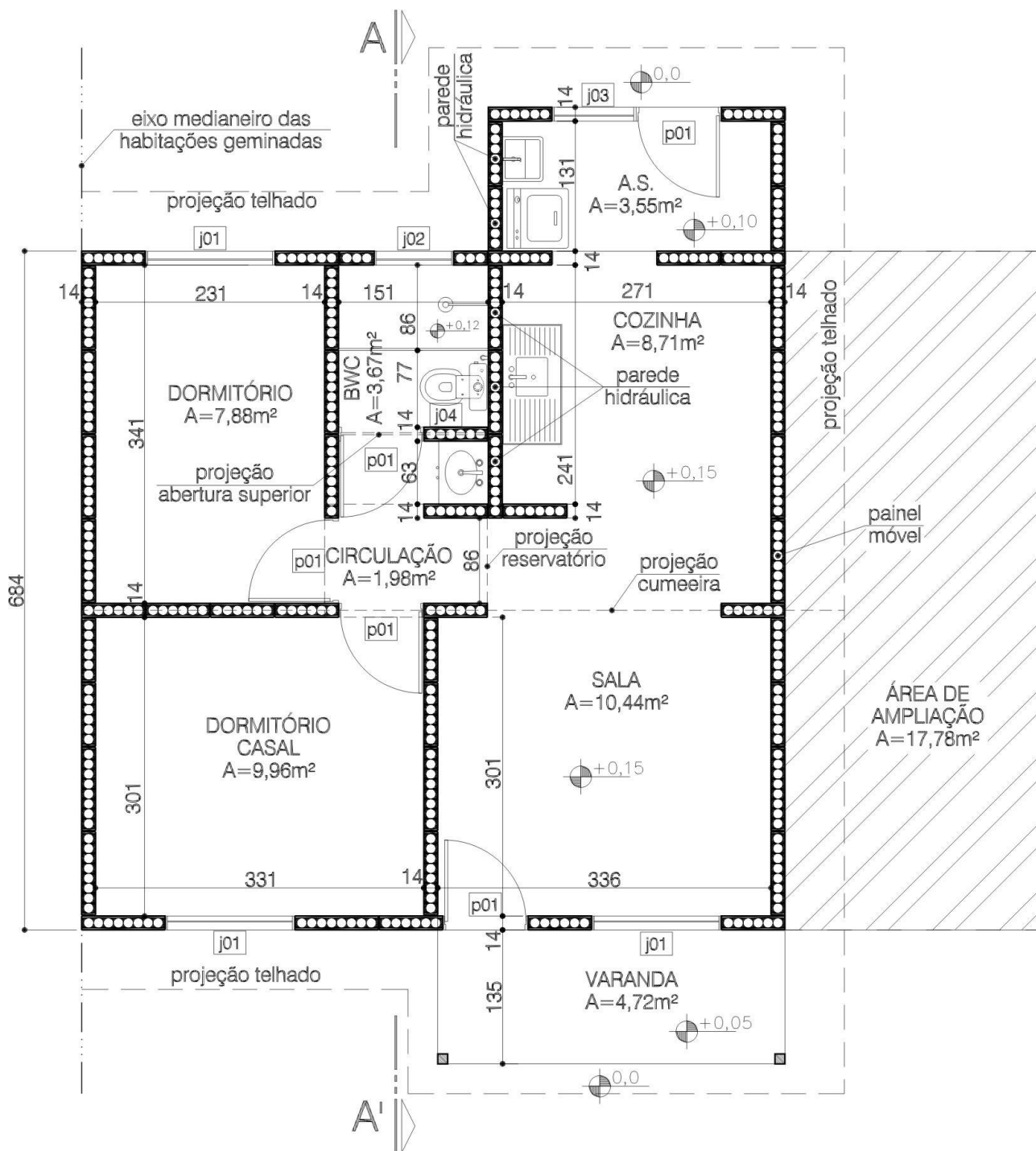


Figura 3. 1 : Planta baixa da Casa Pet.

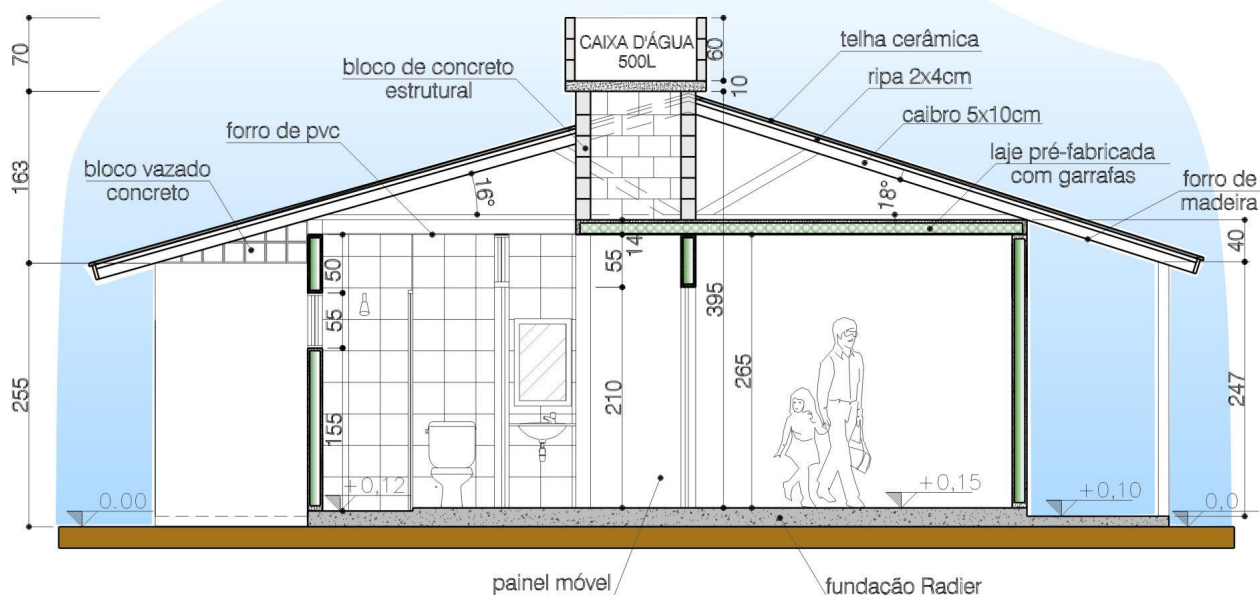


Figura 3. 2 : Corte transversal *Casa Pet*.



Figura 3. 3 : Perspectiva frontal da *Casa Pet*.



Figura 3. 4 : Perspectiva posterior da *Casa Pet*.

A fundação é do tipo radier, ou seja, uma laje armada de 12cm de altura que trabalha como uma única sapata para toda a edificação.

A cobertura é formada por uma laje plana com painéis pré-fabricados que também utilizam as garrafas plásticas em seu interior. Após a concretagem do capeamento final da laje de cobertura, que unifica os painéis planos, é executada a cobertura com estrutura de madeira e telhas cerâmicas que melhoram, ainda mais, o isolamento térmico, garantem a estanqueidade e conferem as características compositivas semelhantes às construções convencionais. O fechamento dos oitões é feito com frontais de madeira tratada.

As Figuras 3.5 à 3.8 apresentam a seqüência de montagem da habitação proposta.



Figura 3. 5 : montagem dos painéis de parede



Figura 3. 6 : montagem da laje plana com garrafas plásticas.

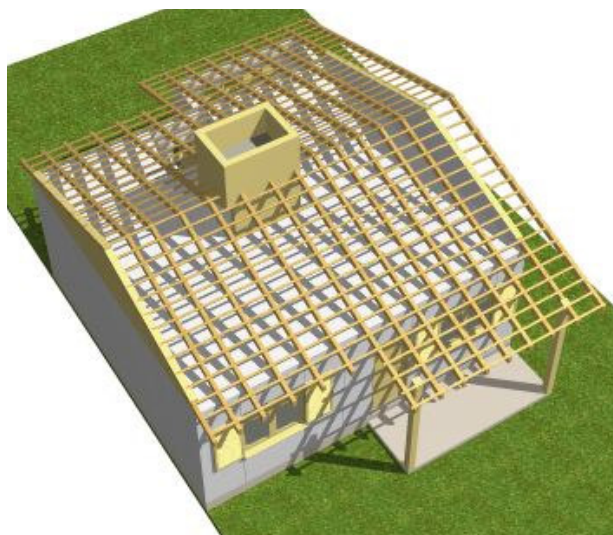


Figura 3. 7 : montagem da estrutura de madeira da cobertura.



Figura 3. 8 : cobertura finalizada.

Os painéis pré-fabricados podem receber diferentes tipos de revestimentos e pinturas nas paredes. Os revestimentos de banheiros e a parede da cozinha onde está localizada a pia podem ter azulejos até o teto, recobrendo totalmente as juntas entre os painéis.

As características deste processo buscam minimizar os preconceitos que os usuários tem com as casas pré-fabricadas. A casa utiliza elementos pré-fabricados, mas tem a aparência de uma construção convencional.

3.1.2 Ampliações da *Casa Pet*

O projeto prevê o crescimento da família e a melhoria de suas condições, que resultam na possibilidade de ampliação de dois dormitórios, ou de um dormitório mais garagem, que também pode ser transformada num espaço de trabalho, gerando aumento da renda familiar, conforme as Figuras 3.9 à 3.12. A ampliação é induzida de forma

preliminar através da execução da fundação em *radier*, que estabelece os limites máximos da ampliação, conforme ilustrado na Figura 3.1. O acesso para a área ampliada da habitação se dá através da retirada de um painel denominado “painel móvel”, conforme mostra a Figura 3.1. Este painel móvel é retirado sem ser danificado e reposicionado no novo local devidamente especificado no projeto, conforme mostram as Figuras 3.9 e 3.10.

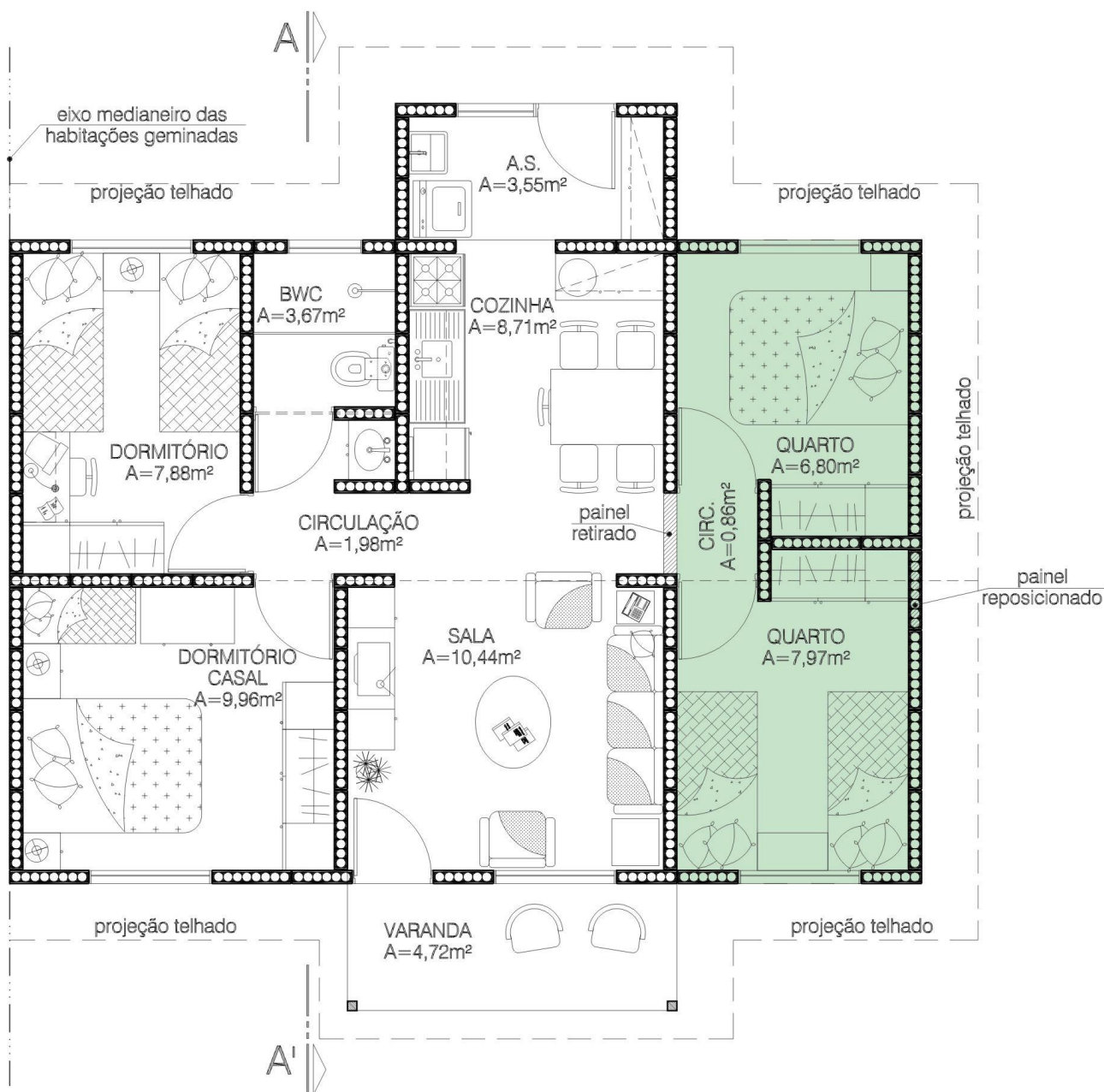


Figura 3. 9 : Proposta de ampliação de dois dormitórios.

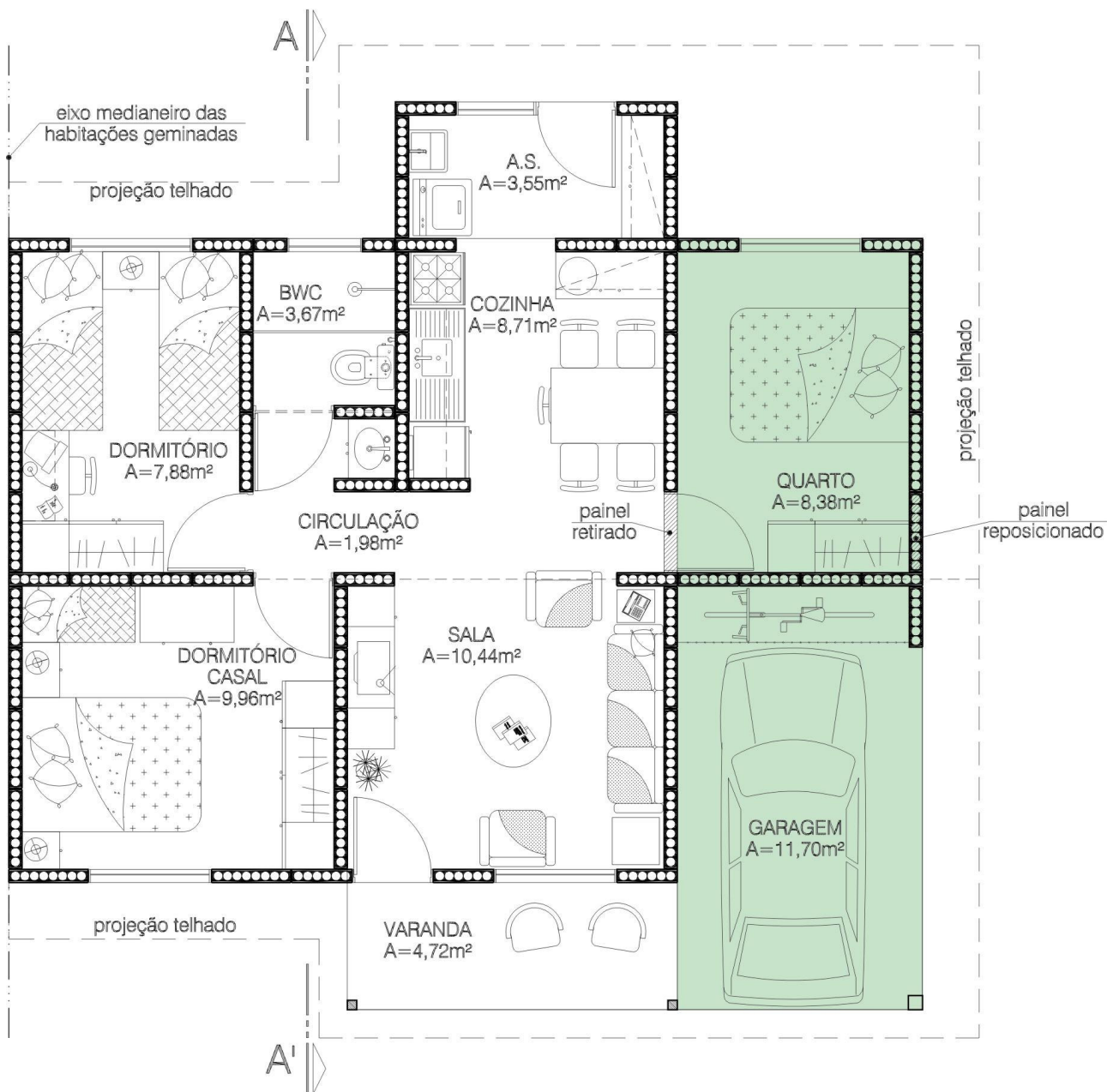


Figura 3. 10 : Proposta de ampliação de um dormitório e uma garagem.



Figura 3. 11 : perspectiva frontal da Casa Pet ampliada.



Figura 3. 12 : perspectiva posterior da Casa Pet ampliada.

Tabela 1 - Etapas de Construção x Áreas.

Etapas de Construção	Área Construída
Habitação	57,84 m ²
Habitação + Ampliação	77,64 m ²

3.1.3 Implantação no lote da Casa PET

As casas pré-fabricadas neste sistema podem ter dois tipos de implantação: podem estar isoladas no lote ou geminadas, ou seja, agrupadas em duas casas separadas por uma parede medianeira (Figuras 3.13 a 3.17), possibilitando um melhor aproveitamento do lote.

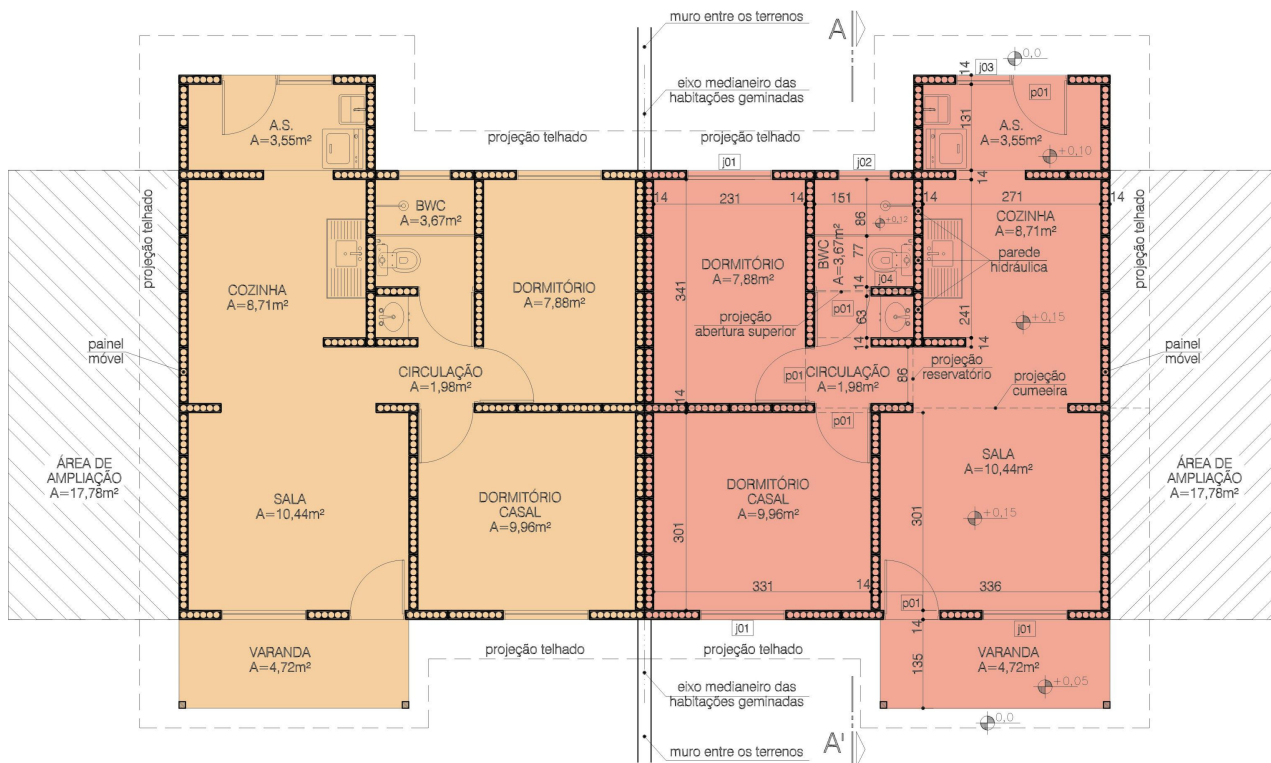


Figura 3. 13 : Planta baixa das habitações geminadas.



Figura 3. 14 : Implantação do tipo geminada.



Figura 3. 15 : Implantação do tipo geminada.



Figura 3. 16 : Implantação do tipo geminada – projeto com ampliação.



Figura 3. 17 : Implantação do tipo geminada – projeto com ampliação.

3.2 ANÁLISE DE VARIÁVEIS PROJETUAIS

O projeto de uma obra arquitetônica apresenta um conjunto amplo de variáveis que devem ser consideradas no seu desenvolvimento, que podem ser estabelecidos como requisitos (qualitativos) e critérios (quantitativos). Dentre eles pode-se citar: orientação solar, ventilação, ventos predominantes, chuvas incidentes, micro-clima, privacidade, segurança, funcionalidade, modulação, desempenho térmico, desempenho acústico, construtividade, durabilidade, etc.

Neste trabalho são analisadas: a funcionalidade da habitação em função da economia visada e dos espaços reduzidos, a modulação por se tratar de uma construção com sistema pré-fabricado e o desempenho higrotérmico da habitação.

3.2.1 Indicadores de funcionalidade.

Lemos (1989-b) afirma que um aspecto que ainda é pouco privilegiado no âmbito acadêmico é o estudo dos aspectos funcionais da habitação popular, sobretudo os que se referem à área útil disponível para cada morador, às áreas de circulação e ao desenvolvimento das atividades domésticas sem sobreposições.

Esta etapa do trabalho é baseada nas dissertações de Leite (2003) e Cordeiro (2005). Leite (2003) desenvolveu um modelo de análise da funcionalidade que se inicia tomando como referência o método apresentado por Silva (1982) aplicado aos seis principais compartimentos das habitações de interesse social, que são o Quarto de Casal, o Quarto dos Filhos, a Sala de Estar e Jantar, a Cozinha, o Banheiro e a Área de Serviço. O *Indicador de Funcionalidade da Habitação* (IFH) desenvolvido por Leite (2003) consiste num modelo de análise e avaliação da qualidade do projeto da habitação de interesse social e que possibilita a identificação de problemas de funcionalidade espacial tanto na etapa de projeto quanto na etapa de pós-ocupação da edificação.

Quanto à dissertação de Cordeiro (2005), são analisados os estudos de caso de habitações autoconstruídas localizadas num loteamento clandestino da Barra do Sambaqui, em Florianópolis. Estas habitações foram analisadas quanto à sua habitabilidade e o método utilizado foi o IFH desenvolvido por Leite (2003).

Segundo Leite (2003), o grau de desempenho na habitação é referente à eficácia de sua estrutura física em relação ao atendimento das funções que lhes são atribuídas. Os parâmetros de projeto utilizados com o intuito de qualificar o atendimento completo das necessidades e desejos dos usuários das habitações estão diretamente relacionados com o desempenho da mesma. Este é descrito por Handler (1970) como a união dos

desempenhos Técnico, Ambiental, Humano, Simbólico e Econômico; e completado pelos desempenhos Social (DE OLIVEIRA, 1998) e Funcional (ORNSTEIN, 2003). O Desempenho Funcional de uma habitação sugere que todos os ambientes devem possuir funcionalidade, ou seja, apresentar capacidade espacial, flexibilidade dos espaços, ergonomia, fluxos de trabalho e outros fatores que influenciem na maneira como as atividades são desenvolvidas no interior da habitação (ORNSTEIN, 2003).

O desempenho de uma edificação pode ser aferido através de dois tipos de avaliações distintas (ORNSTEIN, 1992): a avaliação técnica (calcada em experimentos laboratoriais ou não, com ou sem o controle das condições ambientais) e a avaliação comportamental (baseada nas opiniões e observações do modo de vida dos usuários).

A aplicação do método do IFH implica nas seguintes etapas segundo Leite (2003):

- Realizar a listagem das atividades exercidas no ambiente domiciliar;
- Realizar um inventário dos equipamentos domésticos mínimos e adicionais;
- Procedimentos para calcular o *Indicador de Funcionalidade do Quesito* (IFQ) através da definição dos critérios de quantidade e qualidade dos equipamentos e espaços de circulação;
- Procedimentos para calcular o *Indicador de Funcionalidade dos Compartimentos* (IFC) através da composição dos indicadores de funcionalidade dos Quesitos;
- Procedimentos para calcular o *Indicador de Funcionalidade da Habitação* (IFH) através da composição dos indicadores de funcionalidade dos Compartimentos.

A partir da análise do método proposto por Silva (1982), Leite (2003) estabeleceu cinco conceitos de funcionalidade, aos quais foram atribuídos valores numéricos denominados de indicadores, segundo mostra a Tabela 2.

Tabela 2 - Equivalência entre Conceito e Indicador.

Conceito	Supera	Atende plenamente	Atende parcialmente	Atende precariamente	Atende muito precariamente
Indicador	4	3	2	1	0

Fonte: Leite, 2003 p.92

O *Indicador de Funcionalidade da Habitação* é o somatório dos *Indicadores de Funcionalidades dos Compartimentos*. Os indicadores calculados são lançados em um gráfico do tipo “radar” (conforme ilustram as Figuras 3.18 e 3.19) onde os eixos radiais marcam a escala dos indicadores que variam de 0 a 4 e, para cada critério que compõe o quesito, o valor do indicador é marcado no eixo correspondente. Externamente, em cada eixo consta o nome do critério que está sendo analisado. Quando todos os quesitos apresentam-se com funcionalidade com indicadores com valor igual a 3 (Atende), o gráfico assume a forma de um hexágono (Figuras 3.18 e 3.19) (LEITE, 2003). Portanto, entende-se que os valores mínimos ideais são IFQ=3 (Atende) para os quesitos de quantidade e qualidade, IFC=18 (Atende) para a funcionalidade do compartimento, e

IFH=108 (Atende) para a funcionalidade da habitação, conforme mostra a Tabela 3 elaborada por Leite (2003, p.99).

Tabela 3 - Intervalos de desempenho da funcionalidade nos compartimentos.

Compartimento	Número de Quesitos	Conceito e Indicador de Funcionalidade do Compartimento / Quesitos					Intervalo de Variação do Indicador de Funcionalidade do Compartimento				
		Supera	Atende	Parcial	Precário	Muito Precariamente	Supera	Atende	Parcial	Precário	Muito Precariamente
Quarto do Casal	6	4	3	2	1	0	24	18	12	6	0
Quarto dos Filhos											
Sala de Estar e Jantar											
Cozinha											
Banheiro											
Área de Serviço											
Intervalos de Variação do Indicador de Funcionalidade da Habitação							144	108	72	36	0

Fonte: Leite, 2003 p.99.

INDICADOR DE FUNCIONALIDADE DO COMPARTIMENTO

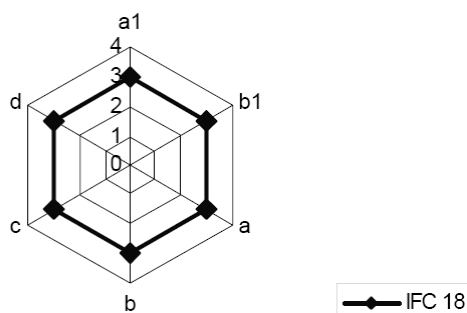


Figura 3. 18 : modelo de gráfico “radar” para Compartimento.
Fonte: LEITE, 2003 p.100

INDICADOR DE FUNCIONALIDADE DA HABITAÇÃO

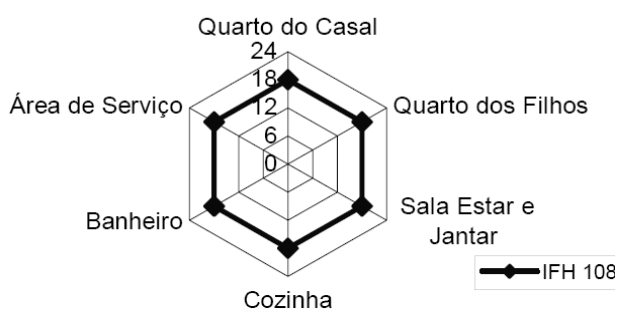


Figura 3. 19 : modelo de gráfico “radar” para Habitação.
Fonte: LEITE, 2003 p.101

Se o gráfico não apresenta a forma básica do hexágono, é sinal de que algum ou alguns compartimentos apresentam anormalidade. Se o valor de algum quesito for maior que 3, é interessante analisar as causas deste aumento e transferir estas vantagens para outros compartimentos com problemas. Se o valor do quesito for menor que 3, é

necessário analisar as causas das inadequações e tentar solucioná-las. As Figuras 3.20 e 3.21 exemplificam uma situação real de análise dos indicadores de funcionalidade.

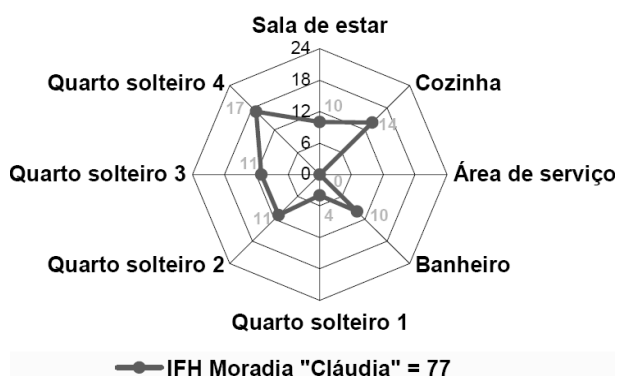


Figura 3. 20 : modelo de gráfico "radar" para Habitação.
Fonte: CORDEIRO, 2005.

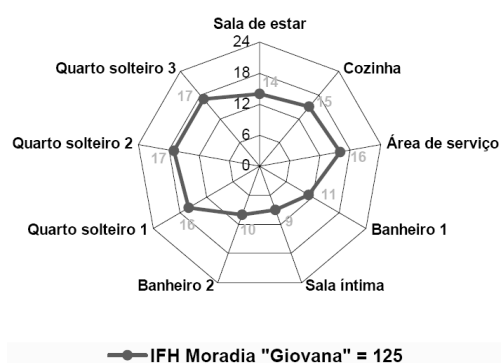


Figura 3. 21 : modelo de gráfico "radar" para Habitação.
Fonte: CORDEIRO, 2005.

3.2.1.1 Análise da funcionalidade da habitação proposta.

Após a apreciação dos estudos acima citados foi realizada a análise da funcionalidade do projeto de habitação de interesse social *Casa Pet*, proposto neste trabalho. Devido à inexistência de um protótipo construído da *Casa Pet*, a análise do IFH será baseada somente no projeto arquitetônico com uma sugestão de layout. Este método utilizado tem o intuito de identificar, ainda na fase de projeto, os possíveis problemas de funcionalidade dos compartimentos, e facilitar ao projetista as decisões de melhoria do projeto.

O roteiro utilizado foi:

- Verificar os critérios do método elaborado por Leite (2003, p.93-99) para aplicar no projeto aqui proposto. Estes critérios são baseados na análise dos equipamentos domésticos mínimos e adicionais;
- Realizar o levantamento dos equipamentos domésticos mínimos e adicionais presentes na proposta de layout;
- Cálculo do *Indicador de Funcionalidade do Quesito* (IFQ) através da definição dos critérios de quantidade e qualidade dos equipamentos e espaços de circulação;
- Cálculo do o *Indicador de Funcionalidade dos Compartimentos* (IFC) através da composição dos indicadores de funcionalidade dos Quesitos;
- Cálculo do o *Indicador de Funcionalidade da Habitação* (IFH) através da composição dos indicadores de funcionalidade dos Compartimentos.

A seguir são apresentadas tabelas com as análises de cada compartimento da habitação proposta. Os critérios utilizados para a pontuação dos quesitos de Quantidade e de Qualidade foram os mesmos sugeridos e utilizados por Leite (2003, p. 93-99).

3.2.1.2 Funcionalidade do Compartimento – Quarto do Casal

Quesitos de Quantidade:

- Equipamento Mínimo: uma cama de casal, duas mesas de cabeceira, um roupeiro de quatro portas, uma cômoda.
- Equipamento Adicional: uma cama infantil.

Quesitos de Qualidade:

- Roupeiro e sua proximidade da porta: o roupeiro está localizado próximo à porta, facilitando seu acesso sem necessidade de contornar obstáculos.
- Áreas de circulação e utilização: as áreas de circulação e utilização atendem aos tamanhos mínimos exigidos.
- Acessibilidade à janela: o acesso à janela deve ter uma passagem não inferior a 55/60cm, sendo tolerada a largura de 40cm em situação crítica. Nesta proposta é garantido o acesso a toda largura da janela com uma passagem de 40cm.
- Otimização: as áreas de circulação e de utilização são superpostas, otimizando o uso do espaço livre.

Tabela 4 - Funcionalidade do Compartimento – Quarto de Casal.

Compartimento Quesitos	Funcionalidade do Compartimento QUARTO DO CASAL	
Quantidade	Equipamento mínimo	4
	Equipamento adicional	3
Qualidade	Roupeiro próximo da porta	3
	Área de circulação	3
	Acesso à janela	2
	Otimização	3
Índice de Funcionalidade do Compartimento IFC		18

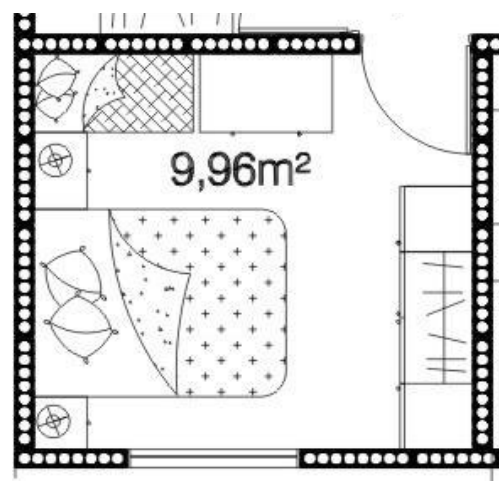


Figura 3. 22 : layout proposto para o Quarto de Casal. Sem escala.

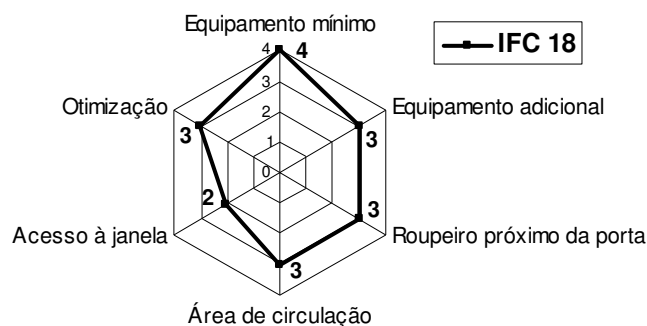


Gráfico 1 : gráfico do tipo “radar” do Quarto de Casal.

Analisando a Tabela 04, a Figura 3.22 e o Gráfico 01 percebe-se que o quesito de Acesso à Janela tem a funcionalidade baixa (Atende Parcialmente=2) pois o acesso total à mesma se dá por uma passagem de apenas 40cm. Já o quesito de Equipamento Mínimo obteve funcionalidade alta (Supera=4) pois a quantidade de equipamentos é superior ao mínimo necessário. O IFC=18 demonstra que o compartimento possui o conceito “Atende”, sinalizando que deveria ser estudado a prioridade entre colocar uma cama infantil ou de otimizar a acessibilidade à janela.

3.2.1.3 Funcionalidade do Compartimento – Quarto dos Filhos

Quesitos de Quantidade:

- Equipamento Mínimo: o compartimento possui duas camas de solteiro (para áreas com mais de $7,50\text{m}^2$ – Leite, 2003, p. 95), uma mesa de cabeceira, um roupeiro de três portas.
- Equipamento Adicional: uma escrivaninha e estante para livros.

Quesitos de Qualidade:

- Roupeiro e sua proximidade da porta: o roupeiro está localizado próximo à porta, facilitando seu acesso sem necessidade de contornar obstáculos.
- Áreas de circulação e utilização: as áreas de circulação e utilização atendem aos tamanhos mínimos exigidos.
- Acessibilidade à janela: o acesso à janela deve ter uma passagem não inferior a 55/60cm, sendo tolerada a largura de 40cm em situação crítica. Nesta proposta o acesso janela é bloqueado pela mesa de cabeceira
- Otimização: as áreas de circulação e de utilização são superpostas, otimizando o uso do espaço livre.

Tabela 5 - Funcionalidade do Compartimento – Quarto dos Filhos.

Compartimento Quesitos	Funcionalidade do Compartimento Quarto dos Filhos	
Quantidade	Equipamento mínimo	4
	Equipamento adicional	3
Qualidade	Roupeiro próximo da porta	3
	Área de circulação	3
	Acesso à janela	2
	Otimização	3
Índice de Funcionalidade do Compartimento IFC		18

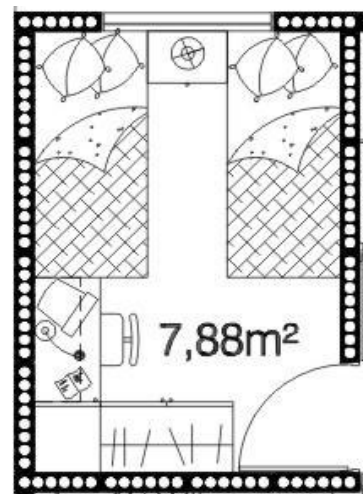


Figura 3.23 : layout proposto para o Quarto dos Filhos. Sem escala.

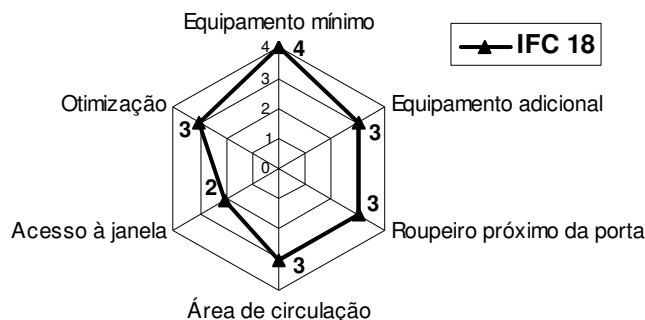


Gráfico 2 : gráfico do tipo “radar” do Quarto dos Filhos.

Na Tabela 05, na Figura 3.23 e no Gráfico 02 percebe-se que o quesito de Acesso à Janela tem a funcionalidade baixa (Atende Parcialmente=2) pois o acesso à mesma é bloqueado pela mesa de cabeceira situada entre as duas camas. Já o quesito de Equipamento Mínimo obteve funcionalidade alta (Supera=4) pois a quantidade de equipamentos é superior ao mínimo necessário. O IFC=18 demonstra que o compartimento possui o conceito “Atende”, sinalizando que deveria ser estudado a prioridade entre colocar uma mesa de cabeceira ou facilitar o acesso parcial à janela.

3.2.1.4 Funcionalidade do Compartimento – Sala de Estar

Quesitos de Quantidade:

- Equipamento Mínimo: o compartimento possui um sofá de três lugares que pode ser sofá cama, uma poltrona, uma estante e uma mesa auxiliar de canto.
- Equipamento Adicional: uma poltrona e uma mesa auxiliar de centro.

Quesitos de Qualidade:

- c. Áreas de circulação e utilização (circulação livre): as áreas de circulação e utilização do compartimento apresentam uma faixa de 60cm de largura de passagem livre, que faz a ligação entre a porta principal de acesso à habitação e à cozinha / sala de jantar.
- d. Área livre central: a disposição dos equipamentos pode preservar uma área livre de móveis que corresponde a um círculo de diâmetro de 1,50m, desde que seja retirada a mesa de centro.
- e. Acessibilidade à janela: o acesso à janela se dá parcialmente (mais de 60% desta) e é permitido pela lateral da poltrona posicionada próximo à ela.
- f. Otimização: as áreas de circulação e de utilização são superpostas, otimizando o uso do espaço livre.

Tabela 6 - Funcionalidade do Compartimento – Quarto de Estar.

Compartimento Quesitos	Funcionalidade do Compartimento Sala de Estar	
Quantidade	Equipamento mínimo	4
	Equipamento adicional	4
Qualidade	Áreas de circulação e utilização	4
	Área livre central	4
	Acesso à janela	3
	Otimização	3
Índice de Funcionalidade do Compartimento IFC		22

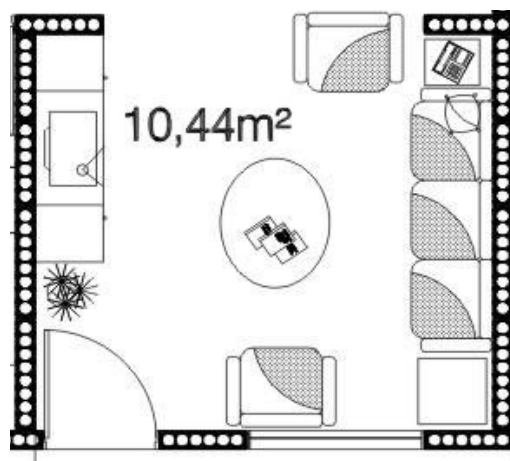


Figura 3. 24 : layout proposto para a Sala de Estar. Sem escala.

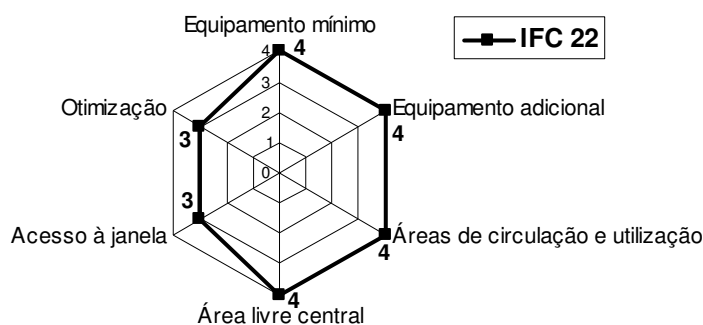


Gráfico 3 : gráfico do tipo “radar” da Sala de Estar.

Na Tabela 06, na Figura 3.24 e no Gráfico 03 observa-se que todos os quesitos apresentam funcionalidade igual a 3 (Atende) ou 4 (Supera). Privilegiou-se a área social da habitação sem desqualificar as outras áreas, uma vez que a maioria dos usuários permanece um tempo maior neste setor. Percebe-se uma boa articulação deste ambiente

com a cozinha e com a varanda, que no caso desta análise pode ser considerada como um adicional da sala de estar, já que não foi realizada a análise de funcionalidade individual. Sugere-se que a varanda também possua uma análise individual de funcionalidade já que se entende que, mesmo sendo uma área externa, pode-se realizar atividades e se posicionar equipamentos diferentes dos compartimentos internos. O IFC=22 da Sala de Estar demonstra que o compartimento possui o conceito superior a 18 (Atende), sinalizando que se por acaso algum dos outros compartimentos possuir funcionalidade inferior a 18, pode-se tentar alterar o layout ou transferir funções e equipamentos, com o intuito de equilibrar os valores de funcionalidade de todos os compartimentos.

3.2.1.5 Funcionalidade do Compartimento – Cozinha e Sala de Jantar

Quesitos de Quantidade:

- a. Equipamento Mínimo: possui um balcão com pia, um refrigerador, um fogão, um armário suspenso, mesa de refeições para cinco ou seis pessoas.
- b. Equipamento Adicional: uma mesa auxiliar para trabalho com o operador sentado e um armário suspenso auxiliar.

Quesitos de Qualidade:

- c. Passagem livre: preserva uma passagem livre com largura de 90cm entre o balcão da pia e a mesa de refeições.
- d. Relação fogão e janela: a disposição do fogão deverá ficar próxima à janela e não confrontar com o refrigerador. No projeto proposto o fogão não confronta com o refrigerador, mas não fica próximo à janela.
- e. Abertura de portas de equipamentos: a abertura da porta do refrigerador e do forno não ocupam o espaço adjacente ao balcão da pia e da mesa auxiliar de trabalho.
- f. Proximidade do refrigerador: o refrigerador encontra-se posicionado próximo à porta de acesso ao interior da habitação.

Tabela 7 - Funcionalidade do Compartimento – Cozinha e Sala de Jantar.

Compartimento Quesitos	Funcionalidade do Compartimento Cozinha e Sala de Jantar	
	Quantidade	Equipamento mínimo
Equipamento adicional		3
Qualidade	Passagem livre	3
	Relação fogão e janela	2
	Abertura de portas de equipamentos	3
	Proximidade do refrigerador	3
Índice de Funcionalidade do Compartimento IFC		18

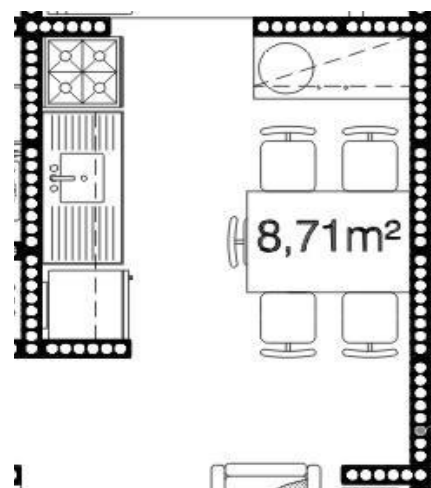


Figura 3. 25 : layout proposto para a Cozinha e Sala de Jantar. Sem escala.

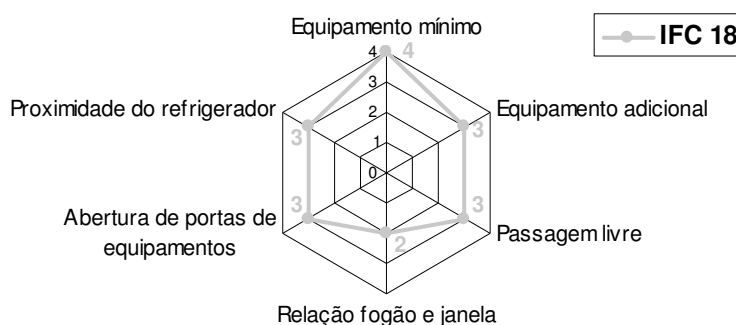


Gráfico 4 : gráfico do tipo “radar” da Cozinha e Sala de Jantar.

Analisando a Tabela 07, a Figura 3.25 e o Gráfico 04 percebe-se que o único quesito que apresentou funcionalidade reduzida foi o da Relação Fogão / Janela que apresentou funcionalidade igual a 2 (Atende Parcialmente). Isto ocorre devido à disposição do fogão ficar a uma distância superior à 1m da janela mais próxima, neste caso a janela da área de serviço. O IFC=18 demonstra que o compartimento possui o conceito “Atende”, podendo, no entanto, ser aumentada a funcionalidade da Relação Fogão / Janela que é baixa.

3.2.1.6 Funcionalidade do Compartimento – Banheiro

Quesitos de Quantidade:

- Equipamento Mínimo: o espaço contém instalação de um lavatório, um vaso sanitário e um chuveiro.
- Equipamento Adicional: uma ducha higiênica.

Quesitos de Qualidade:

- c. Otimização: as áreas de circulação e utilização são superpostas, otimizando o uso do espaço livre.
- d. Utilização simultânea: o banheiro proposto permite a utilização simultânea por dois ou mais usuários devido à existência de uma parede divisória que separa o lavatório do vaso sanitário e do chuveiro.
- e. Iluminação natural: devido à existência da parede divisória entre o lavatório e o vaso sanitário e o chuveiro, utilizou-se uma abertura superior nesta parede com o intuito de melhorar a ventilação e a iluminação natural do lavatório que fica distante da janela.
- f. Privacidade: o uso do banheiro não deve constranger visual ou auditivamente os usuários da habitação. Segundo Leite (2003, p.98), isto ocorre quando há a compartimentação do lavatório em relação aos demais aparelhos sanitários, pois os ruídos durante o uso do lavatório constroem as outras pessoas. Nesta proposta a funcionalidade seria reduzida a 2 (Atende Parcialmente) devido a compartimentação do lavatório, mas classificou-se a funcionalidade igual a 3 (Atende), pois não considerou-se que o uso do lavatório constroem os outros usuários da habitação.

Tabela 8 - Funcionalidade do Compartimento – Banheiro.

Compartimento Quesitos	Funcionalidade do Compartimento Banheiro	
	Quantidade	Equipamento mínimo
Equipamento adicional		3
Qualidade	Otimização	3
	Utilização simultânea	3
	Iluminação natural	2
	Privacidade	3
Índice de Funcionalidade do Compartimento IFC		17

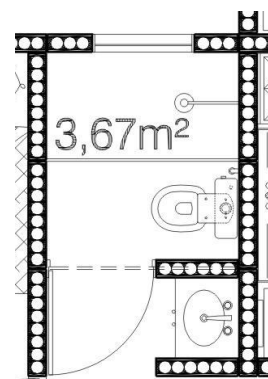


Figura 3. 26 : layout proposto para o Banheiro. Sem escala.

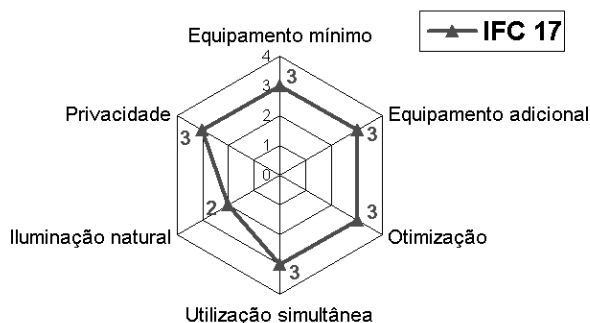


Gráfico 5 : gráfico do tipo “radar” do Banheiro.

Analisando a Tabela 08, a Figura 3.26 e o Gráfico 05 observa-se que o único quesito que apresentou funcionalidade reduzida foi o da Iluminação Natural que apresentou funcionalidade igual a 2 (Atende Parcialmente). Isto ocorre pela compartimentação do banheiro em dois ambientes. Mesmo com a utilização de uma abertura superior na parede divisória, esta compartimentação prejudica a iluminação natural do lavatório em detrimento da melhoria da funcionalidade em relação à Utilização Simultânea. Outro fator significativo é a classificação deficitária que se dá à Privacidade em detrimento da Compartimentação do Banheiro. Segundo Leite (2003,p.98), quando há a compartimentação do lavatório ocorre um constrangimento dos usuários devido aos ruídos gerados pelo uso do mesmo. Utilizando esta classificação, a funcionalidade seria 2, mas classificou-se uma funcionalidade igual a 3, pois consideramos que o uso do lavatório não constrange os usuários da habitação. Entende-se que foram mantidas as privacidades de uso do vaso sanitário e do chuveiro, situações de utilização que causam maior constrangimento aos usuários da habitação.

O IFC=17 demonstra que o compartimento possui o conceito “Parcial”, sinalizando que deveria ser estudado um modo de aumentar a funcionalidade de Iluminação Natural no banheiro quando ocorre a compartimentação do mesmo para a Utilização Simultânea.

3.2.1.7 Funcionalidade do Compartimento – Área de Serviço

Quesitos de Quantidade:

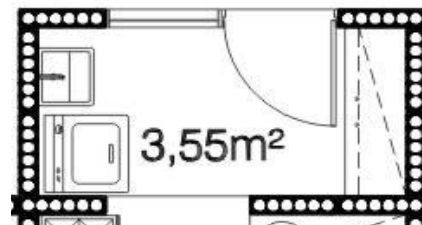
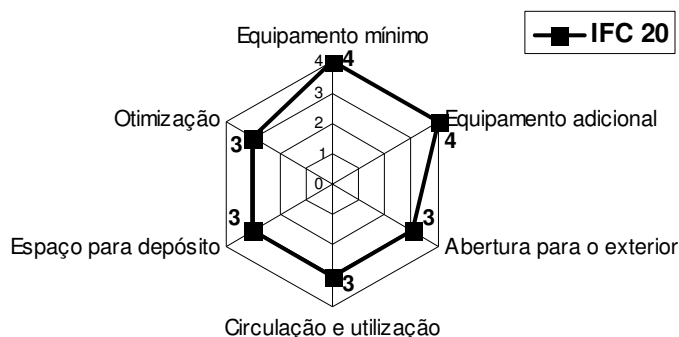
- a. Equipamento Mínimo: o espaço contém um tanque e uma máquina de lavar roupa.
- b. Equipamento Adicional: balcão de trabalho (passar roupa, armazenamento de materiais de limpeza e roupas) e armário suspenso.

Quesitos de Qualidade:

- c. Abertura: possui abertura para o exterior em uma das paredes de maior dimensão.
- d. Circulação e utilização: o ambiente possui espaço suficiente para a circulação e utilização de todos os equipamentos.
- e. Espaço para depósito de material de limpeza e roupas e tábua de passar roupas: o ambiente possui espaço atrás da porta externa de acesso onde foi sugerido a instalação de um balcão de trabalho (passar roupa, armazenamento de materiais de limpeza e roupas) e armário suspenso.
- f. Otimização: As áreas de circulação e utilização dos equipamentos são superpostas, otimizando o uso do espaço livre.

Tabela 9 - Funcionalidade do Compartimento – Área de Serviço.

Compartimento Quesitos	Funcionalidade do Compartimento Área de serviço	
	Quantidade	Equipamento mínimo
Equipamento adicional		4
Qualidade	Abertura para o exterior	3
	Circulação e utilização	3
	Espaço para depósito	3
	Otimização	3
Índice de Funcionalidade do Compartimento IFC		20

**Figura 3.27** : layout proposto para a Área de Serviço. Sem escala.**Gráfico 6** : gráfico do tipo "radar" da Área de Serviço.

Analisando a Tabela 09, a Figura 3.27 e o Gráfico 06 observa-se que todos os quesitos apresentam funcionalidade igual a 3 (Atende) ou 4 (Supera). O IFC=20 da Sala de Estar demonstra que o compartimento possui o conceito superior à 18 (Atende), sinalizando que se por acaso algum dos outros compartimentos possuir funcionalidade inadequada, pode-se tentar alterar o layout ou transferir funções e equipamentos, com o intuito de equilibrar os valores de funcionalidade de todos os compartimentos.

3.2.1.8 Funcionalidade da Habitação

O *Indicador de Funcionalidade da Habitação IFH* é o somatório dos *Indicadores de Funcionalidade dos Compartimentos IFC*. O somatório mínimo ideal para classificar uma habitação como "Adequada" ou "Pronta para o Uso" é do IFH=108, conforme Tabela 03.

Realizando o somatório dos Indicadores de Funcionalidade de cada Compartimento da habitação proposta obteve-se um IFH=112, onde se pode concluir, segundo o método utilizado, que a habitação é classificada como "Adequada para o Uso", conforme o Gráfico 07. Porém, analisando o gráfico do IFH, percebe-se que o formato diferente de um hexágono mostra quais são os compartimentos que estão "Inadequados

ao Uso”. Verifica-se que o banheiro necessita de propostas alternativas pois apresenta o índice de funcionalidade inferior ao adequado, ou seja, IFC=16, obtendo o conceito “Parcial”.

Funcionalidade da Habitação - IFH	
Quarto do Casal	18
Quarto dos Filhos	18
Sala de Estar	22
Cozinha e Sala de Jantar	18
Banheiro	17
Área de serviço	20
Índice de Funcionalidade da Habitação IFH	113

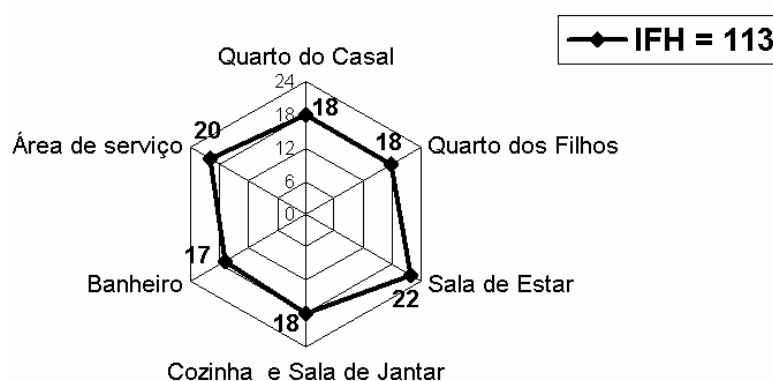


Gráfico 7 : gráfico do tipo “radar” da Habitação.

3.2.2 Modulação

As paredes da casa são formadas por painéis pré-fabricados modulares. A modulação do painel segue a modulação inicial da garrafa que é de 10cm de diâmetro. A modulação horizontal do painel é 10M e os reforços perimetrais são o modulo M/4. Partindo deste princípio, as medidas modulares propostas para os painéis são de 85cm e 65cm. Estes módulos são fundamentados nos conceitos de acessibilidade e sustentabilidade da habitação, considerando uma passagem livre de 80cm para todos os acessos da habitação. O painel de 85cm possui oito garrafas PET de 10cm cada (10M) e o reforço perimetral de argamassa possui 2,0cm nas laterais verticais (M/4). O painel de 65cm possui seis garrafas PET de 10cm cada (6M) e o reforço perimetral de 2,0cm (M/4). A altura proposta dos painéis é de 265cm tendo em vista que esta é a altura mínima exigida pelas agências financiadoras (CAIXA) de habitação de interesse social. Sendo assim a modulação vertical dos painéis é de 260cm de garrafas plásticas (26M) e de 2,5cm (M/4) no reforço perimetral da base e do topo dos mesmos. Adotando uma junta

nominal de 1cm, as medidas nominais para a fabricação dos painéis são de 84cm e 64cm. Com a combinação de somente estes dois painéis é possível obter uma grande variedade de formas e dimensões, atendendo as exigências dimensionais mínimas de cada cômodo da casa. A espessura dos painéis é de 14cm. Nas Figuras 3.28 e 3.29 são mostrados detalhes construtivos destes painéis.

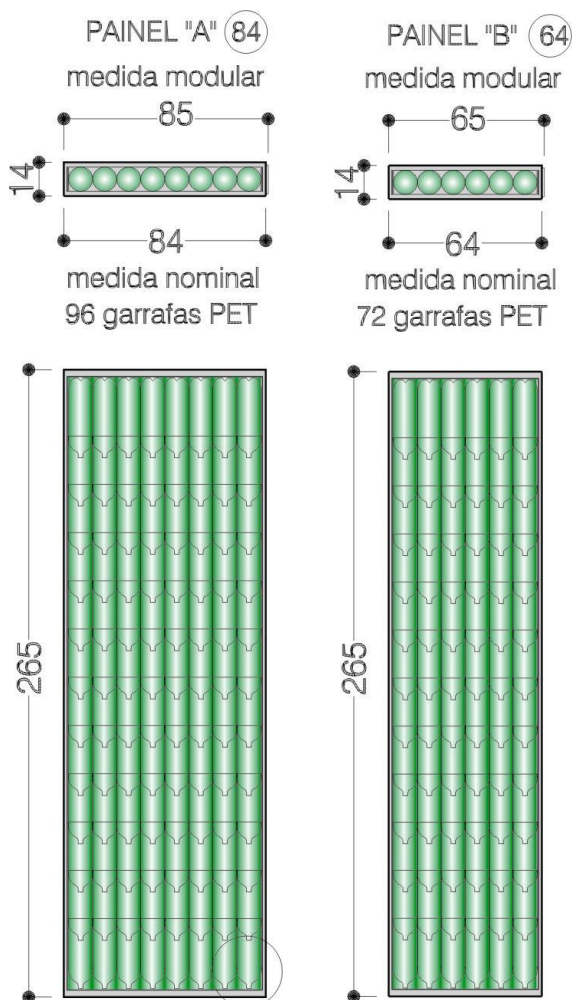


Figura 3. 28 : painéis de 85cm e 65cm.

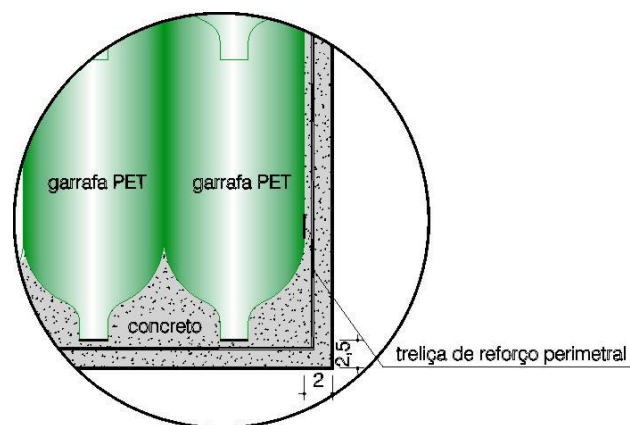


Figura 3. 29 : detalhe do painel de parede portante – corte vertical.

3.2.3 Análise do Desempenho Higrotérmico

A partir de cálculos e simulações é possível, ainda na fase de projeto, realizar a verificação do desempenho térmico tanto dos edifícios quanto de seus sistemas construtivos. Existem duas normas no Brasil que caracterizam o desempenho térmico dos sistemas construtivos, sendo eles a Norma Brasileira de Desempenho Térmico de Edificações - NBR15220-2005 e o Projeto de Norma de Desempenho de Edifícios Habitacionais de até cinco pavimentos 02:136.01-001-2004. Estas normas definem que a edificação habitacional deve reunir características que atendam as exigências de conforto térmico dos usuários, considerando-se a região de implantação da obra e as respectivas características bioclimáticas definidas pela NBR15220 - Parte 3: Zoneamento Bioclimático Brasileiro e Diretrizes Construtivas para Habitações Unifamiliares de Interesse Social. Para uma análise mais próxima da realidade o território brasileiro foi dividido em oito zonas bioclimáticas⁹, conforme ilustradas na Figura 3.30.

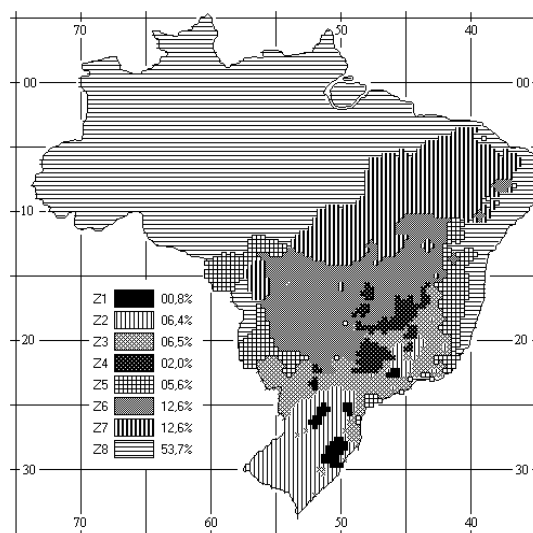


Figura 3. 30 : Zoneamento Bioclimático Brasileiro
Fonte: NBR 15220-Parte 3, p.3.

Nesta etapa da dissertação é analisado o desempenho térmico dos painéis de parede e de cobertura com os painéis pré-fabricados com garrafas plásticas, além do desempenho global da edificação e o desempenho higo-térmico. São avaliados o Isolamento ou Resistência, a Transmitância, a Inércia ou Capacidade, e o Atraso Térmico dos sistemas construtivos das vedações, definidos pela Norma Brasileira como:

- **Resistência Térmica – R_t** – de elementos e componentes: Quociente da diferença de temperatura verificada entre as superfícies de um elemento construtivo pela densidade de fluxo de calor. Unidade: $(m^2.K)/W$

⁹ NBR 15220-2005 define “Zona Bioclimática” como “região geográfica homogênea quanto aos fatores climáticos que interferem nas relações entre ambiente construído e conforto humano”.

- **Resistência Térmica Total – RT :** Somatório do conjunto de resistências térmicas correspondentes às camadas de um elemento ou componente, incluindo as resistências superficiais interna e externa. Unidade: $(m^2.K)/W$
- **Transmitância Térmica – U :** Inverso da resistência térmica total. Unidade: $W/(m^2.K)$
- **Capacidade Térmica – C :** Quantidade de calor necessária para variar em uma unidade a temperatura de um sistema. Unidade: $KJ/(m^2.K)$
- **Atraso Térmico – ϕ :** Tempo transcorrido em horas entre o registro de amplitude de temperatura em um meio e outro separado por um componente construtivo submetido a um regime periódico de transmissão de calor. Unidade: h .

A Norma Brasileira estabelece somente exigências quanto à Transmitância Térmica (U) dos elementos construtivos, não considerando o Desempenho Global da edificação que se dá através do desempenho térmico do conjunto dos fechamentos da edificação. Para realizar esta parte da análise foi utilizada a Norma Espanhola NBE-CT-79. Ambas as normas tratam da verificação do desempenho térmico das edificações, com uma diferença de que o projeto de norma brasileira, não possui o requisito de Transmitância Térmica Global " U_G " da edificação para o estabelecimento de critérios para os valores máximos permitidos a um edifício.

Tanto a norma brasileira quanto a espanhola fornecem as Resistências Térmicas máximas para vedações de acordo com o tipo de vedação utilizada, sendo classificadas como: Leve, Leve Refletora, Pesada. Mas somente a norma espanhola esclarece que estas vedações são definidas como *Leves*, vedações com peso $\leq 200 \text{ kg/m}^2$; e *Pesadas*, vedações com peso $> 200 \text{ kg/m}^2$.

Quanto ao desempenho higro-térmico, como a NBR 15220 não possui os critérios e requisitos para esta análise, aplicou-se o cálculo da norma espanhola e utilizou-se dados locais do programa computacional *Analysis Bio*, desenvolvido por pesquisadores do LabEEE - Laboratório de Eficiência Energética em Edificações, vinculado do Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina e apoio do LMPT - Laboratório de Meios Porosos e Propriedades Termofísicas dos Materiais do Departamento de Engenharia Mecânica da UFSC e do LabCon - Laboratório de Conforto Ambiental do Departamento de Arquitetura da UFSC.

O Projeto de Norma de Desempenho de Edifícios Habitacionais de até Cinco Pavimentos estabelece três procedimentos alternativos para avaliação da adequação de habitações as oito diferentes Zonas Bioclimáticas Brasileiras:

- Procedimento 1 – Simplificado: verificação do atendimento aos *requisitos e critérios*¹⁰ estabelecidos para fachadas e coberturas, nos documentos :
 - Desempenho de Edifícios Habitacionais de até cinco pavimentos – Parte 4: Fachadas e paredes internas;
 - Desempenho de Edifícios Habitacionais de até cinco pavimentos – Parte 5: Coberturas.
- Procedimento 2 – Simulação: verificação do atendimento aos requisitos e critérios estabelecidos, por meio da simulação computacional do desempenho térmico do edifício.
- Procedimento 3 – Medição: verificação do atendimento aos requisitos e critérios estabelecidos, por meio da realização de medições em edificações ou protótipos construídos.

As normas brasileiras permitem avaliar o desempenho térmico do edifício por um dos três procedimentos. Considerando-se que o desempenho térmico do edifício depende do comportamento interativo da fachada, cobertura e piso, uma edificação que não atender aos requisitos destas normas quando avaliada pelo procedimento 1, pode ser avaliada por um dos outros procedimentos.

A seguir são apresentados os cálculos e análises do Desempenho Térmico dos painéis de parede e de cobertura, o Desempenho Global da edificação e o Desempenho Hígro-Térmico. O resultado desta avaliação permite a caracterização e verificação da adequação do sistema construtivo às condições climáticas da região de Florianópolis-SC, classificada como Zona Bioclimática número três, conforme ilustrado na Figura 3.31.

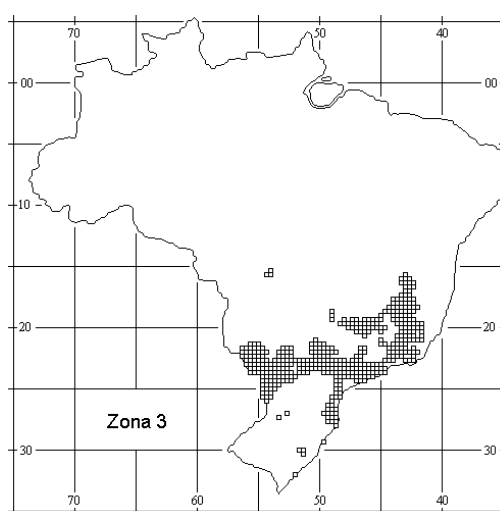


Figura 3. 31 : Zona Bioclimática 3.
Fonte: NBR 15220-Parte 3, p.5

¹⁰ Conceitos já definidos no capítulo 1 deste trabalho.

Diretrizes construtivas para a Zona Bioclimática 3

Na zona bioclimática 3 devem ser atendidas as diretrizes apresentadas nas Tabelas 10, 11 e 12.

Tabela 10 - Aberturas para ventilação e sombreamento das aberturas para a Zona Bioclimática 3.

Aberturas para ventilação A (em % da área de piso)	Sombreamento das aberturas
Médias: $15\% < A < 25\%$	Permitir sol durante o inverno

Fonte: NBR 15220-Parte 3, p.5

Tabela 11 - Transmitância térmica, atraso térmico e fator de calor solar admissíveis para vedações externas para a Zona Bioclimática 3.

Vedações Externas	Transmitância Térmica U (W/m ² .K)	Atraso Térmico ϕ (Horas)	Fator de Calor Solar FCS (%)
Parede: Leve Refletora	$U \leq 3,60$	$\phi \leq 4,3$	FCS $\leq 4,0$
Cobertura: Leve Isolada	$U \leq 2,00$	$\phi \leq 3,3$	FCS $\leq 6,5$

Fonte: NBR 15220-Parte 3, p.5

Tabela 12 - Estratégias de condicionamento térmico passivo para a Zona Bioclimática 3.

Estratégias de condicionamento térmico passivo	
Verão	J) Ventilação cruzada
Inverno	B) Aquecimento solar da edificação C) Vedações internas pesadas (inércia térmica)
Os códigos J, B e C são os mesmos adotados na metodologia utilizada para definir o Zoneamento Bioclimático do Brasil (ver anexo B no Projeto de Norma).	

Fonte: NBR 15220-Parte 3, p.5

3.2.3.1 Desempenho térmico do painel de parede

Este item apresenta a avaliação do desempenho térmico das vedações verticais com painéis pré-fabricados com garrafas plásticas para habitação popular. A análise é realizada de acordo com a Norma Brasileira de Desempenho Térmico de Edificações - NBR15220, onde são avaliados o isolamento, a inércia e o atraso térmico dos sistemas de vedações. Para este exemplo de cálculo foi utilizado o painel de vedação vertical com dimensões 14x84x265cm, conforme Figura 3.32 e 3.33.

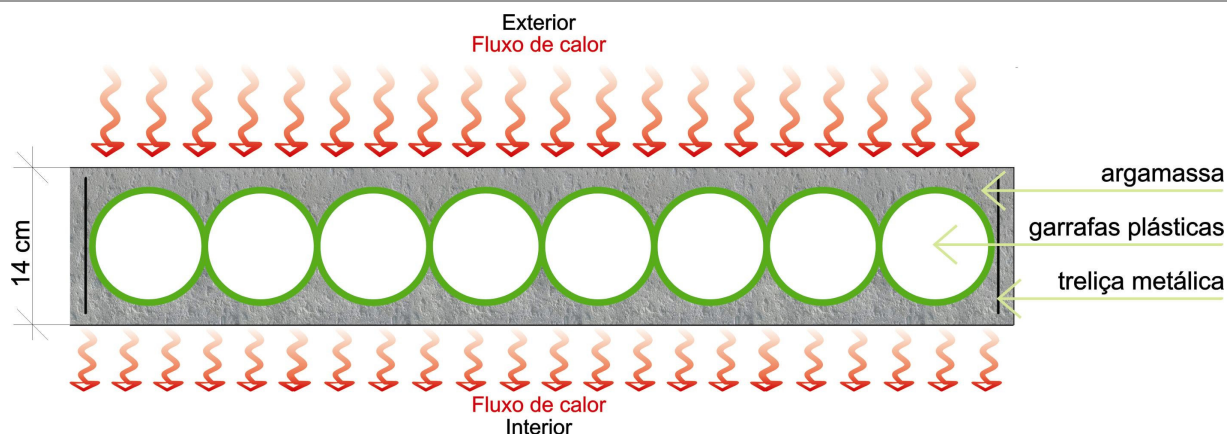


Figura 3.32 : Planta do painel de parede com o sentido do fluxo de calor na situação de verão.

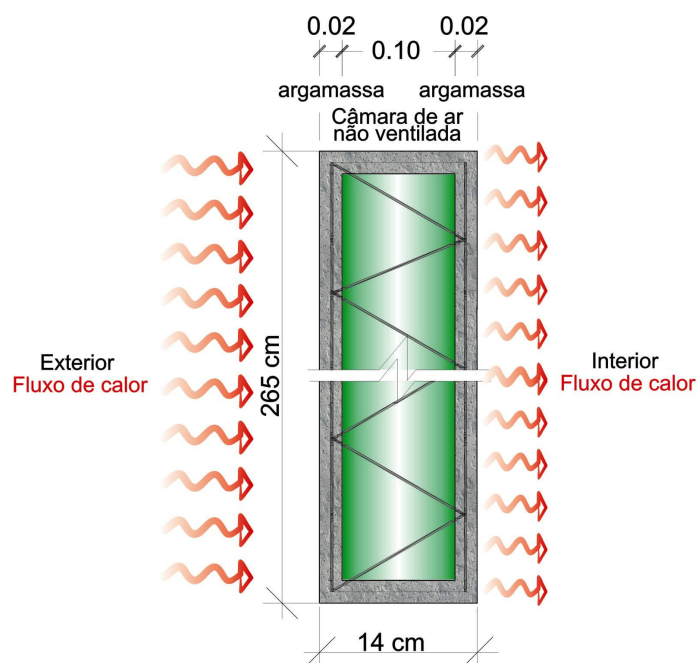


Figura 3.33 : Corte do painel de parede com o sentido do fluxo de calor na situação de verão.

A nomenclatura e simbologia utilizada para estes cálculos estão na Tabela 13 e Tabela 14 a seguir.

Tabela 13 – Símbolos.

Símbolo	Variável	Unidade
A	Área	m ²
R	Resistência térmica de um componente	(m ² .K)/W
U	Transmitância térmica de um componente	W/(m ² .K)
C _T	Capacidade térmica de um componente	kJ/(m ² .K)
φ	Atraso térmico de um componente	horas
FS _o	Fator solar de elementos opacos	-
FS _t	Fator solar de elementos transparentes ou	-
CS	Coefficiente de sombreamento	-
c	Calor específico	kJ/(kg.K)

e	Espessura de uma camada	m
λ	Condutividade térmica do material	W/(m.K)
ρ	Densidade de massa aparente do material	kg/m ³
ε	Emissividade hemisférica total	-

Fonte: NBR 15220-Parte 2, p.2.

Tabela 14 – Subscritos.

Subscrito	Descrição
ar	Referente a uma câmara de ar
n	Número total de seções ou camadas de um elemento ou componente
s	Superfície
e	Exterior da edificação
i	Interior da edificação
t	Total, superfície a superfície
T	Total, ambiente a ambiente

Fonte: NBR 15220-Parte 2, p.2.

Dados do painel de parede:

- $\rho_{\text{argamassa}} = 2000 \text{ kg/m}^3$
- $\lambda_{\text{argamassa}} = 1,15 \text{ W/m.K}$
- $c_{\text{argamassa}} = 1 \text{ KJ/kg.K}$
- Fluxo de calor horizontal - parede
- Câmara de ar não ventilada $e=0,10\text{m}$ Alta Emissividade (sem barreira radiante) – ver Tabela A.1. no Anexo “A”.

As Equações de 1 a 9 representam a seqüência de cálculos estabelecidos pela NBR 15220-parte 2 para a análise do desempenho térmico da vedação.

▪ **Resistência Térmica da parede**

Seção= argamassa + câmara de ar + argamassa

Equação 1 $R_t = (e/\lambda_{\text{argamassa}}) + R_{\text{ar}} + (e/\lambda_{\text{argamassa}})$

$R_t = (0,02/1,15) + 0,17 + (0,02/1,15)$

$R_t = 0,2048 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}$

▪ **Resistência Térmica Total**

Equação 2 $R_T = R_{\text{si}} + R_t + R_{\text{se}}$

$R_T = 0,13 + 0,2048 + 0,04$

$R_T = 0,3748 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}$

Tabela 15 - Resistências térmicas das camadas da vedação – parede.

Camada	Rsi	Rargamassa	Rar	Rargamassa	Rse	RTotal
Resistência térmica (m ² .K)/W	0,13	0,0174	0,17	0,0174	0,04	0,3748

- **Transmitância Térmica**

Equação 3 $U = 1 / R_T$

$$U = 1 / 0,3748$$

$$U = 2,67 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$$

- **Capacidade Térmica da parede**

Seção = argamassa+câmara de ar+argamassa

Equação 4 $CT = (e \cdot c \cdot \rho_{\text{argamassa}}) + (e \cdot c \cdot \rho_{\text{ar}}) + (e \cdot c \cdot \rho_{\text{argamassa}})$

$$CT = (0,02 \cdot 1 \cdot 2000) + 0 + (0,02 \cdot 1 \cdot 2000)$$

$$CT = 80 \text{ KJ}/(\text{m}^2.\text{K})$$

- **Atraso Térmico**

$$R_t = 0,2048(\text{m}^2.\text{K})/\text{W}$$

Equação 5 $B_0 = CT - C_{\text{ext}}$

$$B_0 = 80 - (0,02 \cdot 1 \cdot 2000)$$

$$B_0 = 40,00$$

Equação 6 $B_1 = 0,226 \cdot (B_0/R_t)$

$$B_1 = 0,226 \cdot (40 / 0,2048)$$

$$B_1 = 44,14$$

Equação 7 $B_2 = 0,205 \cdot \{(\lambda \cdot \rho \cdot c)_{\text{ext}}/R_t\} \cdot \{R_{\text{ext}} - (R_t - R_{\text{ext}})/10\}$

$$B_2 = 0,205 \cdot \{(1,15 \cdot 2000 \cdot 1) / 0,2048\} \cdot \{0,0174 - (0,2048 - 0,0174) / 10\}$$

$$B_2 = 0,205 \cdot 11230,47 \cdot (-0,0013)$$

$$B_2 = -2,99$$

B₂ é desconsiderado pois resultou em valor negativo.

Equação 8 $\varphi = 1,382 \cdot R_t \cdot \sqrt{B_1 + B_2}$

$$\varphi = 1,382 \cdot 0,2048 \cdot \sqrt{44,14 + 0}$$

$$\varphi = 1,8 \text{ horas}$$

- **Fator Solar**

Equação 9 $FS = 100 \cdot U \cdot \alpha \cdot R_{se}$

Utilizando cor externa concreto aparente e adotando-se que o coeficiente “ α ” pode variar entre 0,65 e 0,80 tem-se:

$\alpha = 0,65$ teremos:

$$FS = 100. 2,67 . 0,65 . 0,04 = \mathbf{6,9\%}$$

$\alpha = 0,80$ teremos:

$$FS = 100. 2,67 . 0,80 . 0,04 = \mathbf{8,5\%}$$

Tabela 16 - Características térmicas do sistema construtivo proposto – parede.

Característica	Unidade	Sistema construtivo	NBR 15220	Projeto de Norma 5 pav.
		Painel parede proposto	Paredes Leves	
Resistência térmica	(m ² .K)/W	0,3748	-	-
Transmitância térmica	W/(m ² .K)	2,67	U<3,60	U<2,5*
Capacidade térmica	KJ/(m ² .K)	80	-	≥ 130
Atraso térmico	horas	1,8	$\phi < 4,3$	-
Fator solar	%	6,9 – 8,5	FCS<5,0	-

Nota: * este valor é aplicado para o coeficiente de absorção solar $\alpha \geq 0,6$.

Pela Tabela 15 observa-se que as resistências superficiais interna e externa correspondem à praticamente 45% da resistência térmica total da vedação sendo que a câmara de ar interna proporciona mais 45% do isolamento da vedação. A resistência térmica da argamassa é baixa devido à mesma possuir uma condutividade térmica relativamente alta e as camadas apresentarem espessura de somente 2cm.

A partir da Tabela 16 percebe-se que a transmitância térmica satisfaz a NBR15220 ficando seu valor abaixo do valor máximo admissível por esta norma. No entanto, a vedação não satisfaz o mesmo critério estabelecido pelo Projeto de Norma de Desempenho de Edifícios Habitacionais de até cinco pavimentos, pois o valor está em função do coeficiente de absorção solar que neste caso foi considerado um $\alpha \geq 0,6$ para a argamassa (cinza). Verifica-se ainda que a capacidade térmica do painel é inferior ao valor mínimo estabelecido pela referida norma. Uma inércia térmica maior não representa necessariamente um desempenho melhor, pois o atraso térmico é função do produto da capacidade pela resistência térmica. O fator solar é superior ao estabelecido pela norma NBR15220 pois o mesmo está diretamente ligado à transmitância térmica e o coeficiente de absorção solar, sendo neste caso de $\alpha \geq 0,65$ a $\alpha \geq 0,80$ relativo a coloração original da argamassa.

3.2.3.2 Desempenho térmico do painel de cobertura

Neste item é apresentada a avaliação do desempenho térmico da cobertura com painéis pré-fabricados com garrafas plásticas para habitação popular. A análise é realizada de acordo com a Norma Brasileira de Desempenho Térmico de Edificações - NBR15220, onde são avaliados o isolamento, a inércia e o atraso térmico dos sistemas de vedações. Para este exemplo de cálculo foram utilizados dois tipos de cobertura. A primeira análise é a do painel pré-fabricado isolado, ou seja, como se a cobertura da habitação fosse formada somente por laje plana, conforme mostram as Figuras 3.34 e 3.35. A segunda é a análise da cobertura composta por laje plana e o telhamento cerâmico, conforme mostram as Figuras 3.36, 3.37 e 4.8. As diretrizes construtivas e as equações utilizadas para os cálculos a seguir são as mesmas utilizadas na análise de desempenho térmico do painel de parede, na situação de verão.

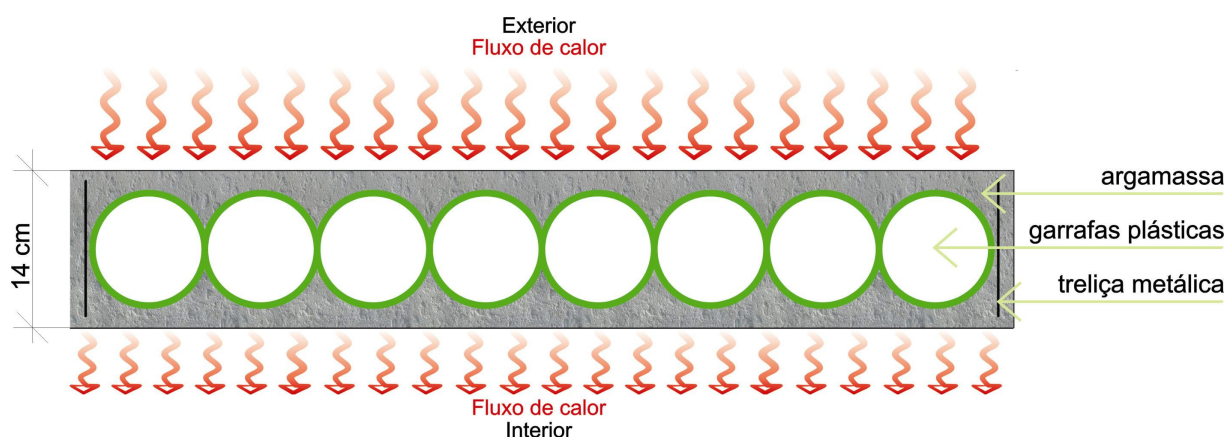


Figura 3. 34 : sentido do fluxo de calor na situação de verão (descendente) para cobertura sem barreira radiante.

Dados da cobertura com laje plana:

- $\rho_{\text{argamassa}} = 2000 \text{ kg/m}^3$
- $\lambda_{\text{argamassa}} = 1,15 \text{ W/m.K}$
- $C_{\text{argamassa}} = 1 \text{ KJ/kg.K}$
- Fluxo de calor descendente – (verão = dia)
- Câmara de ar não ventilada $e=0,10\text{m}$ Alta Emissividade (*sem barreira radiante*) – ver Tabela A.1. no Anexo “A”.

▪ Resistência Térmica da cobertura

$\text{Seção} = \text{argamassa} + \text{câmara de ar} + \text{argamassa}$

$$R_t = (e/\lambda_{\text{argamassa}}) + R_{\text{ar}} + (e/\lambda_{\text{argamassa}})$$

$$R_t = (0,02/1,15) + 0,21 + (0,02/1,15)$$

$$\mathbf{R_t = 0,2448 (m^2.K)/W}$$

▪ **Resistência Térmica Total**

$$RT = R_{si} + R_t + R_{se}$$

$$RT = 0,17 + 0,2448 + 0,04$$

$$RT = 0,4548 \text{ (m}^2\text{.K)/W}$$

Tabela 17 - Resistências térmicas das camadas da cobertura sem barreira radiante.

Camada	R _{si}	R _{argamassa}	R _{ar}	R _{argamassa}	R _{se}	R _{Total}
Resistência térmica (m ² .K)/W	0,17	0,0174	0,21	0,0174	0,04	0,4548

▪ **Transmitância Térmica**

$$U = 1 / RT$$

$$U = 1 / 0,4548$$

$$U = 2,20 \text{ W/(m}^2\text{.K)}$$

▪ **Capacidade Térmica da parede**

Seção = argamassa+câmara de ar+argamassa

$$CT = (e \cdot c \cdot \rho_{\text{argamassa}}) + (e \cdot c \cdot \rho_{\text{ar}}) + (e \cdot c \cdot \rho_{\text{argamassa}})$$

$$CT = (0,02 \cdot 1 \cdot 2000) + 0 + (0,02 \cdot 1 \cdot 2000)$$

$$CT = 80 \text{ KJ/(m}^2\text{.K)}$$

▪ **Atraso Térmico**

$$R_t = 0,2448 \text{ (m}^2\text{.K)/W}$$

$$B_0 = CT - C_{\text{Text}}$$

$$B_0 = 80 - (0,02 \cdot 1 \cdot 2000)$$

$$B_0 = 40,00$$

$$B_1 = 0,226 \cdot (B_0/R_t)$$

$$B_1 = 0,226 \cdot (40 / 0,2448)$$

$$B_1 = 36,93$$

$$B_2 = 0,205 \cdot \{(\lambda \cdot \rho \cdot c)_{\text{ext}}/R_t\} \cdot \{R_{\text{ext}} - (R_t - R_{\text{ext}})/10\}$$

$$B_2 = 0,205 \cdot \{(1,15 \cdot 2000 \cdot 1) / 0,2448\} \cdot \{0,0174 - (0,2448 - 0,0174) / 10\}$$

$$B_2 = 0,205 \cdot 9395,42 \cdot (-0,0053)$$

$$B_2 = -10,21$$

B₂ é desconsiderado pois resultou em valor negativo.

$$\varphi = 1,382 \cdot R_t \cdot \sqrt{B_1 + B_2}$$

$$\varphi = 1,382 \cdot 0,2448 \cdot \sqrt{36,93 + 0}$$

$$\varphi = 2,05 \text{ horas}$$

▪ **Fator Solar**

$$FS = 100 \cdot U \cdot \alpha \cdot R_{se}$$

Utilizando cor externa concreto aparente e admitindo-se que o coeficiente “ α ” de absorção solar pode variar de 0,65 a 0,80 tem-se:

$\alpha = 0,65$ teremos:

$$FS = 100 \cdot 2,20 \cdot 0,65 \cdot 0,04 = \mathbf{5,7\%}$$

$\alpha = 0,80$ teremos:

$$FS = 100 \cdot 2,20 \cdot 0,80 \cdot 0,04 = \mathbf{7,0\%}$$

Tabela 18 - Características térmicas da cobertura com painéis pet sem barreira radiante.

Característica	Unidade	Sistema construtivo	NBR 15220	Projeto de Norma 5 pav.
		Cobertura s/ barreira radiante	Coberturas	
Resistência térmica	(m ² .K)/W	0,4548	-	-
Transmitância térmica	W/(m ² .K)	2,20	U<2,00	U<2,3
Capacidade térmica	KJ/(m ² .K)	80	-	-
Atraso térmico	horas	2,05	$\varphi < 3,3$	-
Fator solar	%	5,7 – 7,0	FCS<6,5	-

Nota: As transmitâncias térmicas e os atrasos térmicos das coberturas são calculados para condições de verão (fluxo térmico descendente).

Pela Tabela 17 nota-se que as resistências superficiais interna e externa correspondem à praticamente 46% da resistência térmica total da vedação de cobertura sendo que a câmara de ar interna proporciona mais 46% do isolamento da vedação. A resistência térmica da argamassa é baixa devido à mesma possuir uma condutividade térmica relativamente alta e as camadas apresentarem espessura de somente 2cm.

Na Tabela 18 percebe-se que o valor da transmitância térmica da cobertura não satisfaz a NBR15220 pois seu valor fica acima do valor máximo admissível pela norma. No entanto, a vedação satisfaz o mesmo critério estabelecido pelo Projeto de Norma de Desempenho de Edifícios Habitacionais de até cinco pavimentos. Ao contrário das paredes, não existe nenhum valor como critério normativo para a avaliação da capacidade térmica da cobertura, impossibilitando, assim, a realização de uma análise crítica deste critério. O fator solar atende parcialmente ao estabelecido pela norma NBR15220 pois o coeficiente de absorção solar neste caso pode variar de $\alpha \geq 0,65$ a $\alpha \geq 0,80$, em função da coloração original da argamassa.

A partir destes resultados é possível sugerir a inclusão de uma manta aluminizada no interior do painel com o intuito de aumentar a resistência térmica, e verificar se o painel de cobertura atende às exigências normativas. A seguir são apresentados os cálculos do desempenho térmico com a barreira radiante incorporada no painel, conforme ilustrado na Figura 3.35.

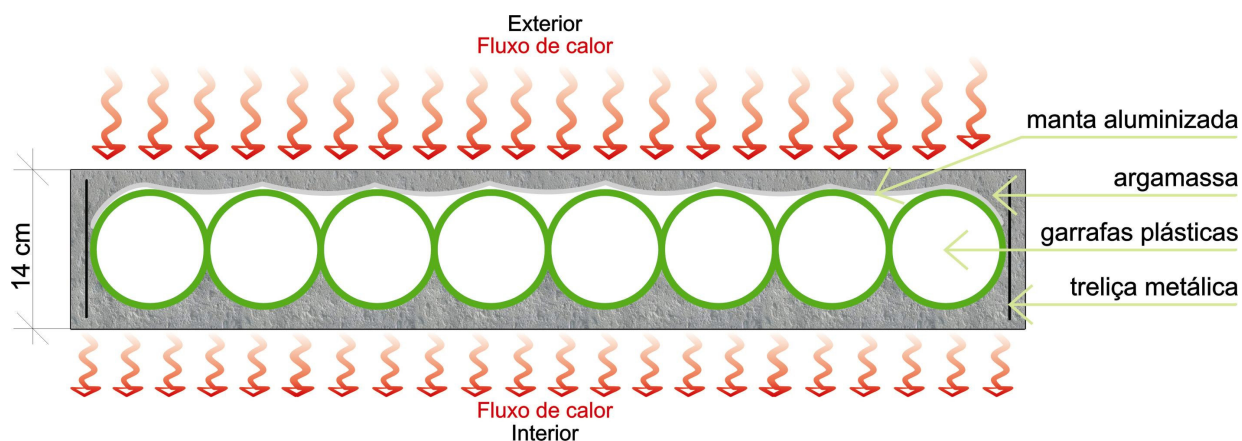


Figura 3. 35 : Sentido do fluxo de calor na situação de verão (descendente) para cobertura com barreira radiante.

Dados da cobertura com laje plana e barreira radiante incorporada:

- $\rho_{\text{argamassa}} = 2000 \text{ kg/m}^3$
- $\lambda_{\text{argamassa}} = 1,15 \text{ W/m.K}$
- $C_{\text{argamassa}} = 1 \text{ KJ/kg.K}$
- Fluxo de calor descendente – (verão = dia)
- Câmara de ar não ventilada $e=0,10\text{m}$ Baixa Emissividade (com barreira radiante) – ver Tabela A.1. no Anexo “A”.

▪ Resistência Térmica da cobertura

Seção= argamassa + câmara de ar + argamassa

$$R_t = (e/\lambda_{\text{argamassa}}) + R_{\text{ar}} + (e/\lambda_{\text{argamassa}})$$

$$R_t = (0,02/1,15) + 0,61 + (0,02/1,15)$$

$$\mathbf{R_t = 0,6448 (m^2.K)/W}$$

▪ Resistência Térmica Total

$$R_T = R_{\text{si}} + R_t + R_{\text{se}}$$

$$R_T = 0,17 + 0,6448 + 0,04$$

$$\mathbf{R_T = 0,8548 (m^2.K)/W}$$

Tabela 19 - Resistências térmicas das camadas da cobertura com barreira radiante.

Camada	R _{si}	R _{argamassa}	R _{ar}	R _{argamassa}	R _{se}	R _{Total}
Resistência térmica (m ² .K)/W	0,17	0,0174	0,61	0,0174	0,04	0,8548

- **Transmitância Térmica**

$$U=1 / R_T$$

$$U=1 / 0,8548$$

$$U=1,17 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$$

- **Capacidade Térmica da parede**

Seção = argamassa+câmara de ar+argamassa

$$CT=(e \cdot c \cdot \rho_{\text{argamassa}}) + (e \cdot c \cdot \rho_{\text{ar}}) + (e \cdot c \cdot \rho_{\text{argamassa}})$$

$$CT= (0,02 \cdot 1 \cdot 2000) + 0 + (0,02 \cdot 1 \cdot 2000)$$

$$CT= 80 \text{ KJ}/(\text{m}^2.\text{K})$$

- **Atraso Térmico**

$$R_t = 0,6448(\text{m}^2.\text{K})/\text{W}$$

$$B_0 = CT - C_{\text{Text}}$$

$$B_0 = 80 - (0,02 \cdot 1 \cdot 2000)$$

$$B_0 = 40,00$$

$$B_1= 0,226 \cdot (B_0/R_t)$$

$$B_1= 0,226 \cdot (40 / 0,6448)$$

$$B_1= 14,02$$

$$B_2= 0,205 \cdot \{(\lambda \cdot \rho \cdot c)_{\text{ext}}/R_t\} \cdot \{R_{\text{ext}} - (R_t - R_{\text{ext}})/10\}$$

$$B_2= 0,205 \cdot \{(1,15 \cdot 2000 \cdot 1) / 0,6448\} \cdot \{0,0174 - (0,6448 - 0,0174) / 10\}$$

$$B_2= 0,205 \cdot 3567,0 \cdot (-0,045)$$

$$B_2= -32,90$$

B₂ é desconsiderado pois resultou em valor negativo.

$$\varphi = 1,382 \cdot R_t \cdot \sqrt{B_1 + B_2}$$

$$\varphi = 1,382 \cdot 0,6448 \cdot \sqrt{14,02 + 0}$$

$$\varphi = 3,34 \text{ horas}$$

- **Fator Solar**

$$FS = 100 \cdot U \cdot \alpha \cdot R_{se}$$

Utilizando cor externa concreto aparente e admitindo uma variação de “ α ” de 0,65 a 0,80 tem-se:

$\alpha = 0,65$ teremos:

$$FS = 100. 1,17 . 0,65 . 0,04 = \mathbf{3,0\%}$$

$\alpha = 0,80$ teremos:

$$FS = 100. 1,17 . 0,80 . 0,04 = \mathbf{3,7\%}$$

Tabela 20 - Características térmicas da cobertura com painéis pet com barreira radiante.

Característica	Unidade	Sistema construtivo	NBR 15220	Projeto de Norma 5 pav.
		Cobertura c/ barreira radiante	Coberturas	
Resistência térmica	(m ² .K)/W	0,8548	-	-
Transmitância térmica	W/(m ² .K)	1,17	U<2,00	U<2,3
Capacidade térmica	KJ/(m ² .K)	80	-	-
Atraso térmico	horas	3,34	$\varphi < 3,3$	-
Fator solar	%	3,0 – 3,7	FCS<6,5	-

Nota: As transmitâncias térmicas e os atrasos térmicos das coberturas são calculados para condições de verão (fluxo térmico descendente).

Pela Tabela 19 nota-se que as resistências superficiais interna e externa correspondem somente a 25% da resistência térmica total da vedação de cobertura. Já a câmara de ar interna proporciona mais de 71% do isolamento da vedação com a utilização da barreira radiante. A resistência térmica da argamassa manteve-se constante aos exemplos anteriores.

Na Tabela 20 observa-se que o valor da transmitância térmica da cobertura satisfaz tanto a NBR15220 quanto ao Projeto de Norma de Desempenho de Edifícios Habitacionais de até cinco pavimentos. O atraso térmico apresenta valor muito próximo ao limite estabelecido pela NBR 15220. O fator solar atende ao estabelecido pela norma NBR15220 mesmo possuindo um coeficiente de absorção solar elevado que varia de $0,65 \geq \alpha \leq 0,80$, relativo a coloração original da argamassa. A seguir é apresentada uma tabela comparativa entre as duas coberturas analisadas, Tabela 21.

Tabela 21 - Comparação das características térmicas do sistema construtivo com painéis pet sem e com barreira radiante em seu interior.

Desempenho	Unidade	Sistema construtivo		NBR 15220	Projeto de Norma 5 pavimentos
		Cobertura s/ barreira radiante	Cobertura c/ barreira radiante	Cobertura	
Resistência térmica	(m ² .K)/W	0,4548	0,8548	-	-
Transmitância térmica	W/(m ² .K)	2,20	1,17	U<2,00	U<2,3
Capacidade térmica	KJ/(m ² .K)	80	80	-	-
Atraso térmico	horas	2,05	3,34	$\phi < 3,3$	-
Fator solar	%	5,7 – 7,0	3,0 – 3,7	FCS<6,5	-

Analisando os valores da tabela acima é possível verificar que apenas com a inclusão de uma barreira radiante no interior do painel, o isolamento tem sua eficiência praticamente duplicada, satisfazendo a referida norma brasileira.

3.2.3.3 Desempenho térmico da cobertura da habitação proposta

Este item apresenta a avaliação do desempenho térmico da cobertura composta por laje plana e o telhamento cerâmico, conforme projeto proposto anteriormente no item 3.1.



Figura 3. 36 : Corte da cobertura proposta para habitação de interesse social.

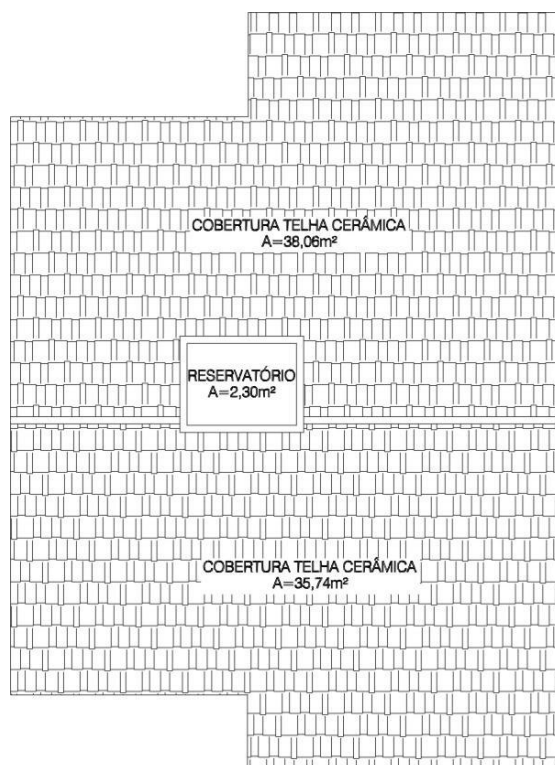


Figura 3. 37 : planta de cobertura.

Dados da cobertura com laje plana e telhamento cerâmico:

Telha Cerâmica $e=0,02\text{m}$

- $\rho_{\text{telha cerâmica}} = 1500\text{kg/m}^3$
- $\lambda_{\text{telha cerâmica}} = 0,90\text{W/m.K}$
- $c_{\text{telha cerâmica}} = 0,92\text{KJ/Kg.K}$

Argamassa $e=0,02\text{m}$

- $\rho_{\text{argamassa}} = 2000\text{kg/m}^3$
- $\lambda_{\text{argamassa}} = 1,15\text{W/m.K}$
- $c_{\text{argamassa}} = 1\text{KJ/Kg.K}$

Forro de PVC $e=0,005\text{m}$

- $\rho_{\text{pvc}} = 1300\text{kg/m}^3$
- $\lambda_{\text{pvc}} = 0,20\text{W/m.K}$
- $c_{\text{pvc}} = \text{---}$

Laje maciça de Concreto $e=0,12\text{m}$

- $\rho_{\text{concreto}} = 2500\text{kg/m}^3$
- $\lambda_{\text{concreto}} = 1,75\text{W/m.K}$
- $c_{\text{concreto}} = 1\text{KJ/Kg.K}$
- Fluxo de calor descendente – (verão = dia)

• Câmara de ar não ventilada $e=0,10m$ Alta Emissividade (sem barreira radiante) –ver Tabela A.1. no Anexo “A”.

▪ **Seções da Cobertura**

Seção1= telha cerâmica + câmara de ar + argamassa + câmara de ar + cam. de ar

A1= 43,7m²

Seção 2= telha cerâmica + câmara de ar + forro pvc

A1= 6,98m²

Seção 3= laje maciça de concreto + câmara de ar + laje maciça de concreto

A1= 1,73m²

▪ **Resistência Térmica da cobertura**

Seção1= telha cerâmica + câmara de ar + argamassa + câmara de ar + cam. de ar

$R1 = (e/\lambda_{telha}) + R_{ar} + (e/\lambda_{argamassa}) + R_{ar} + (e/\lambda_{argamassa})$

$R1 = (0,02 / 0,9) + 0,21 + (0,02 / 1,15) + 0,21 + (0,02 / 1,15)$

$R1 = 0,022 + 0,21 + 0,0174 + 0,21 + 0,0174$

R1 = 0,4768(m².K)/W

Seção 2= telha cerâmica + câmara de ar + forro pvc

$R2 = (e/\lambda_{telha}) + R_{ar} + (e/\lambda_{pvc})$

$R2 = (0,02 / 0,9) + 0,21 + (0,005 / 0,20)$

$R2 = 0,022 + 0,21 + 0,025$

R2 = 0,2570(m².K)/W

Seção 3= laje maciça de concreto + câmara de ar + laje maciça de concreto

$R3 = (e/\lambda_{concreto}) + R_{ar} + (e/\lambda_{concreto})$

$R3 = (0,12 / 1,75) + 0,21 + (0,12 / 1,75)$

$R3 = 0,0685 + 0,21 + 0,0685$

R3 = 0,3470(m².K)/W

$Rt = \frac{A1}{A1/R1} + \frac{A2}{A2/R2} + \frac{A3}{A3/R3}$

$Rt = \frac{43,70}{43,70 / 0,4768} + \frac{6,98}{6,98 / 0,2570} + \frac{1,73}{1,73 / 0,3470}$

$Rt = \frac{52,41}{91,65 + 27,15 + 4,98}$

$Rt = \frac{52,41}{123,78}$

Rt = 0,4234(m².K)/W

▪ **Resistência Térmica Total**

$$RT = R_{si} + R_t + R_{se}$$

$$RT = 0,13 + 0,4234 + 0,04$$

$$RT = 0,5934(m^2.K)/W$$

▪ **Transmitância Térmica**

$$U = 1 / RT$$

$$U = 1 / 0,5934$$

$$U = 1,68 W/(m^2.K)$$

▪ **Capacidade Térmica da parede**

Seção 1 = telha cerâmica + câmara de ar + argamassa + câmara de ar + cam. de ar

$$CT_1 = (e \cdot c \cdot \rho_{telha}) + (e \cdot c \cdot \rho_{ar}) + (e \cdot c \cdot \rho_{argamassa}) + (e \cdot c \cdot \rho_{ar}) + (e \cdot c \cdot \rho_{argamassa})$$

$$CT_1 = (0,02 \cdot 0,92 \cdot 1500) + 0 + (0,02 \cdot 1 \cdot 2000) + 0 + (0,02 \cdot 1 \cdot 2000)$$

$$CT_1 = 27,6 + 0 + 40 + 0 + 40$$

$$CT_1 = 107,6 KJ/(m^2.K)$$

Seção 2 = telha cerâmica + câmara de ar + forro pvc

$$CT_2 = (e \cdot c \cdot \rho_{telha}) + (e \cdot c \cdot \rho_{ar}) + (e \cdot c \cdot \rho_{pvc})$$

$$CT_2 = (0,02 \cdot 0,92 \cdot 1500) + 0 + (0,005 \cdot 0 \cdot 1300)$$

$$CT_2 = 27,6 + 0 + 0$$

$$CT_2 = 27,6 KJ/(m^2.K)$$

Seção 3 = laje maciça de concreto + câmara de ar + laje maciça de concreto

$$CT_3 = (e \cdot c \cdot \rho_{concreto}) + (e \cdot c \cdot \rho_{ar}) + (e \cdot c \cdot \rho_{concreto})$$

$$CT_3 = (0,12 \cdot 1 \cdot 2200) + 0 + (0,12 \cdot 1 \cdot 2200)$$

$$CT_3 = 264 + 0 + 264$$

$$CT_3 = 528 KJ/(m^2.K)$$

$$CT_{total} = \frac{A_1}{A_1/CT_1} + \frac{A_2}{A_2/CT_2} + \frac{A_3}{A_3/CT_3}$$

$$CT_{total} = \frac{43,70}{43,70 / 107,6} + \frac{6,98}{6,98 / 27,6} + \frac{1,73}{1,73 / 528}$$

$$CT_{total} = \frac{52,41}{0,41 + 0,25 + 0,003}$$

$$CT_{total} = \frac{52,41}{0,663}$$

$$CT_{total} = 79,05 KJ/(m^2.K)$$

▪ **Atraso Térmico**

$$R_t = 0,4234(\text{m}^2 \cdot \text{K})/\text{W}$$

$$B_0 = C_T - C_{\text{Text}}$$

$$B_0 = 79,05 - (0,02 \cdot 0,92 \cdot 1500)$$

$$B_0 = 79,05 - 27,6$$

$$\mathbf{B_0 = 51,45}$$

$$B_1 = 0,226 \cdot (B_0/R_t)$$

$$B_1 = 0,226 \cdot (51,45 / 0,4234)$$

$$B_1 = 0,226 \cdot 121,52$$

$$\mathbf{B_1 = 27,46}$$

$$B_2 = 0,205 \cdot \{(\lambda \cdot \rho \cdot c)_{\text{ext}}/R_t\} \cdot \{R_{\text{ext}} - (R_t - R_{\text{ext}})/10\}$$

$$B_2 = 0,205 \cdot \{(0,90 \cdot 1500 \cdot 0,92) / 0,4234\} \cdot \{0,022 - (0,4234 - 0,022) / 10\}$$

$$B_2 = 0,205 \cdot 1242 \cdot (-0,018)$$

$$\mathbf{B_2 = -4,58}$$

B2 é desconsiderado pois resultou em valor negativo.

$$\varphi = 1,382 \cdot R_t \cdot \sqrt{B_1 + B_2}$$

$$\varphi = 1,382 \cdot 0,4234 \cdot \sqrt{27,46 + 0}$$

$$\varphi = 1,382 \cdot 0,4234 \cdot 5,24$$

$$\mathbf{\varphi = 3,06 \text{ horas}}$$

▪ **Fator Solar**

$$FS = 100 \cdot U \cdot \alpha \cdot R_{\text{se}}$$

Utilizando cor externa telha de barro - cerâmica, e admitindo que “ α ” pode variar de 0,75 a 0,80 tem-se:

$\alpha = 0,75$ teremos:

$$FS = 100 \cdot 1,68 \cdot 0,75 \cdot 0,04 = \mathbf{5,0\%}$$

$\alpha = 0,80$ teremos:

$$FS = 100 \cdot 1,68 \cdot 0,80 \cdot 0,04 = \mathbf{5,4\%}$$

Tabela 22 - Características térmicas da cobertura da habitação proposta.

Característica	Unidade	Sistema construtivo	NBR 15220	Projeto de Norma 5 pav.
		Cobertura da Habitação proposta	Coberturas	
Resistência térmica	(m ² .K)/W	0,5934	-	-
Transmitância térmica	W/(m ² .K)	1,68	U<2,00	U<2,3
Capacidade térmica	KJ/(m ² .K)	79,05	-	-
Atraso térmico	horas	3,06	$\phi < 3,3$	-
Fator solar	%	5,0 – 5,4	FCS<6,5	-

Nota: As transmitâncias térmicas e os atrasos térmicos das coberturas são calculados para condições de verão (fluxo térmico descendente).

Na Tabela 22 observa-se que o valor da transmitância térmica da cobertura satisfaz tanto a NBR15220 quanto o Projeto de Norma de Desempenho de Edifícios Habitacionais de até cinco pavimentos, pois seu valor fica abaixo do valor máximo admissível por ambas. Ao contrário das paredes, não existe nenhum valor como parâmetro para a avaliação da capacidade térmica da cobertura, impossibilitando, assim, a realização de uma análise crítica deste critério. O fator solar atende ao estabelecido pela norma NBR15220.

3.2.3.4 Desempenho térmico global da edificação

As normas de desempenho térmico definem que os elementos de fechamento devem cumprir individualmente as exigências estabelecidas para garantir as condições ambientais internas de conforto para os usuários da edificação. Porém, estas exigências não consideram o consumo da energia necessária para garantir estes níveis do conforto térmico. Com o intuito de aumentar a eficiência energética das edificações, foi definido pela norma espanhola NBE-CT-79 um Coeficiente Global de Transmitância térmica do edifício, U_G , que é a média ponderada dos coeficientes “ U ” de Transmissão Térmica das vedações que envolvem um edifício, sendo elas fachadas, coberturas e pisos. Optou-se por utilizar a norma espanhola pois a NBR 15220 não apresenta um método de cálculo para determinar o U_G , cujos valores máximos são baseados no fator de Forma “ f ” da edificação, na zona climática e no tipo de energia usada na calefação dos ambientes internos. Observa-se que a preocupação da NBE-CT-79 refere-se à perda de calor, no entanto o coeficiente U_G também pode representar o desempenho global da edificação quanto ao ganho de calor na situação de verão.

As vedações são classificadas entre fechamentos que estão em contato com o ambiente externo, sendo ar ou terra; e que estão em contato com outras edificações ou com ambientes sem calefação. É necessário somar todas as áreas das vedações da edificação, separando-as conforme as classificações acima explicadas e aplicar os valores correspondentes das transmitâncias térmicas para cada tipo de vedação.

Para este cálculo foi utilizado o projeto da habitação de interesse social com painéis pré-fabricados com garrafas plásticas, proposto no item 3.1 desta dissertação, conforme Figuras 3.1 a 3.4. A habitação possui uma área de 57,84 m² do projeto *Casa Pet* e um pé-direito de 2,65m, resultando num volume total de 153,28m³.

A Tabela 23 mostra as áreas dos diferentes tipos de vedações da habitação.

Tabela 23 - Somatório das áreas das vedações da habitação.

Tipo de vedação	Área das vedações (m ²)
Painel pré-fabricado com garrafas	71,62
Esquadria com veneziana de madeira com vidro e=3mm	6,37
Portas de madeira simples	3,52
Piso	57,84
Cobertura	57,84

A Equação 10 a seguir, mostra a resolução do U_G retirada da referida norma espanhola:

$$\text{Equação 10 } U_G = \frac{\Sigma A_V \times U_V + 0,8 \Sigma A_C \times U_C + 0,5 \Sigma A_P \times U_P}{\Sigma A_V + \Sigma A_C + \Sigma A_P},$$

onde:

A_V - área de vedação vertical

A_C - área de cobertura

A_P - área de piso

U_V - transmitância da vedação vertical

U_C - transmitância da cobertura

U_P - transmitância do piso

A Tabela 24 apresenta os resultados parciais do cálculo da transmitância global U_G desta habitação.

Tabela 24 – Resultados parciais dos cálculos Transmitância Térmica Global U_G .

Tipo de vedação		Σ Área (m ²)	Coef. U (W/m ² K)	$\Sigma A \times U$ (W/m ² K)	Coeficiente correção n	n . $\Sigma A . U$ (W/m ² K)
Fechamentos em contato com o exterior	Painel pré-fabricado	71,62	2,67	191,22	1	191,22
	Esquadrias	6,37	3,3*	21,02	1	21,02
	Portas	3,52	3,5*	12,32	1	12,32
Fechamento de cobertura	Cobertura	57,84	1,68	97,17	0,8	77,74
Fechamento com o terreno	Contrapiso	57,84	4,20	242,93	0,5	121,46
Σ Total		197,19				423,76

Nota: *Os valores das transmitâncias térmicas das esquadrias e das portas foram retirados das Tabelas A.2 e A.3 respectivamente do Anexo "A".

Em seguida calcula-se o Fator de Forma "f" da habitação, conforme Equação 11 retirada da norma espanhola, que estabelece valores da Transmitância Térmica Global Máxima U_{GM} permitida para resultados dos Fatores de Forma entre $f \leq 0,25$ e $f \geq 1,00$, conforme estabelece a Tabela 25.

Tabela 25 - Valores limites máximos de U_G , em (W/m²K).

Tipo de energia para calefação	Fator de forma f	Zonas climáticas espanholas* e U_{GM}				
		A	B	C	D	E
Caso II: edifícios sem calefação	$\leq 0,25$	2,45	1,61	1,19	1,05	0,91
	$\geq 1,00$	1,40	0,92	0,68	0,80	0,52

Fonte: NBE-CT-79 / Tabela 1 (art.4º), p.7.

Nota: * Figura A.1 do anexo "A" – retirado da NBE-CT-79 / Mapa 1(art.13º), p.10.

Equação 11
$$f = \frac{A_T \cdot U_T}{V_T}$$

onde:

A_V - área total das vedações da habitação – m²

A_C - volume total da habitação – m³

$$f = \frac{A_T \cdot U_T}{V_T} \quad f = \frac{197,19}{153,28\text{m}^3} \quad f = 1,28\text{m}^{-1}$$

Como o resultado $f = 1,28\text{m}^{-1}$ ficou dentro dos valores estabelecidos pela norma espanhola, $f \geq 1,00$, não é necessário calcular o U_{GM} .

Se o resultado do Fator de Forma ficasse fora dos valores estabelecidos pela norma espanhola, $f \leq 0,25$ e $f \geq 1,00$, seria necessário utilizar a Equação 12 para calcular a

Transmitância Térmica Global Máxima admissível para os valores intermediários.

$$\text{Equação 12 } U_{GM} = a (3 + 1/f)$$

onde:

U_{GM} - Transmitância Térmica Global Máxima admissível

a - coeficiente – Tabela 26.

f - Fatores de Forma

Tabela 26 - Coeficiente “a” em (W/m²K).

Tipo de energia para calefação	Zonas climáticas espanholas*				
	A	B	C	D	E
Caso II: edifícios sem calefação	0,35	0,23	0,17	0,15	0,13

Fonte: NBE-CT-79 / Tabela 1- bis (art.4^o), p.8.

Nota: * Figura A.1 do anexo “A” – retirado da NBE-CT-79 / Mapa 1(art.13^o), p.10.

Ao final, deve-se encontrar um valor de U_G que seja inferior à transmitância global máxima (U_{GM}) estabelecida pela norma.

Aplicando a equação da U_G :

$$U_G = \frac{\Sigma A_V \times U_V + 0,8 \Sigma A_C \times U_C + 0,5 \Sigma A_P \times U_P}{\Sigma A_V + \Sigma A_C + \Sigma A_P},$$

$$U_G = \frac{423,76}{197,19}$$

$$U_G = 2,14 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Analisando a Tabela 25 verifica-se que, para a zona climática A correspondente à região da Espanha similar a cidade de Florianópolis (Figura A.1 do anexo “A”), a habitação proposta não satisfaz a NBE-CT-79 uma vez que o valor da transmitância térmica global da edificação U_G encontrado de 2,14 W/m²K ultrapassou o valor máximo estabelecido de $U_G = 1,40$ W/m²K. Para que este critério também seja atendido pela norma espanhola faz-se necessário diminuir a transmitância térmica das partes que formam a envolvente, seja dos painéis como das esquadrias.

3.2.3.5 Desempenho higrotérmico

As vedações são permeáveis à passagem de vapor de água, apresentando maior ou menor resistência, dependendo dos materiais utilizados para a composição da fachada. Esta umidade ocasionada pela passagem do vapor de água pode ocasionar, dependendo da diferença de temperatura externa e interna, condensações superficiais e intersticiais nas vedações na situação de inverno. Classifica-se “Condensação Superficial” como a condensação que aparece na superfície de um fechamento ou de um elemento

construtivo quando sua temperatura superficial é inferior ou igual ao ponto de orvalho do ar que está em contato com esta superfície. Já a “Condensação Intersticial” é a condensação que aparece na massa interna de um fechamento em consequência do vapor da água que ultrapassa e alcança a pressão de saturação em algum ponto interno desta massa. Estas condensações, quando ocorrem, facilitam o desenvolvimento de microorganismos que podem provocar manifestações patológicas por umidade nas vedações e gerar gastos extras com a manutenção das mesmas. Estes danos ocasionados pela umidade provocam um desconforto visual ao edifício, e podem gerar problemas estruturais e de salubridade que prejudicam a utilização da edificação.

O ar atmosférico contém determinada quantidade de vapor da água que varia de uma maneira cíclica nas situações noite e dia e com as mudanças das estações do ano. A uma determinada temperatura, o ar no estado de vapor não pode conter mais do que uma quantidade de água em relação ao nível máximo denominado de saturação (13 g/kg ao 18°C, para o exemplo, segundo a NBE-CT-79). Quando o índice do vapor da água é menor (10.4 g/kg, para o exemplo), o ar não está saturado e é caracterizado por sua umidade relativa, ou seja, a relação entre o peso ou a pressão de vapor existente da água e o vapor de água saturado ($10.4/13 = 80\%$).

A pressão de saturação será mais elevada na medida que a temperatura do ar seja mais alta, como se vê na carta psicrométrica, figura A.6 no anexo A. Uma massa de ar inicialmente saturada (80% a 18°C, por exemplo) levada a uma temperatura mais baixa pode alcançar o nível de saturação sem necessidade de ver modificada sua pressão do vapor da água. A partir deste ponto, parte do vapor da água se condensará no estado líquido. A este fenômeno denomina-se “ponto de orvalho” do ambiente, ou seja, a temperatura na qual o vapor de água de um ambiente começa a condensar-se, para dadas circunstâncias de umidade e de pressão, quando a temperatura do vapor contido no ar reduz em consequência da redução da temperatura do ar (14°C, neste exemplo). O fenômeno da condensação ocorre sempre em que o ar reduz sua temperatura até um nível igual ou inferior a seu ponto de orvalho, ou em que o vapor contido no ar entre em contato com uma vedação ou objeto cuja temperatura seja inferior ao ponto de orvalho.

Devido à diferença da temperatura do ar em ambos os lados das vedações, ocorre um fluxo de calor do lado mais quente para o mais frio. O valor desta troca depende diretamente da resistência térmica (RT) que cada vedação possui. Em estado estacionário, este fluxo de calor produz um gradiente de temperatura na vedação que

permite definir a temperatura em qualquer ponto da mesma, conforme mostra a Figura 3.38.

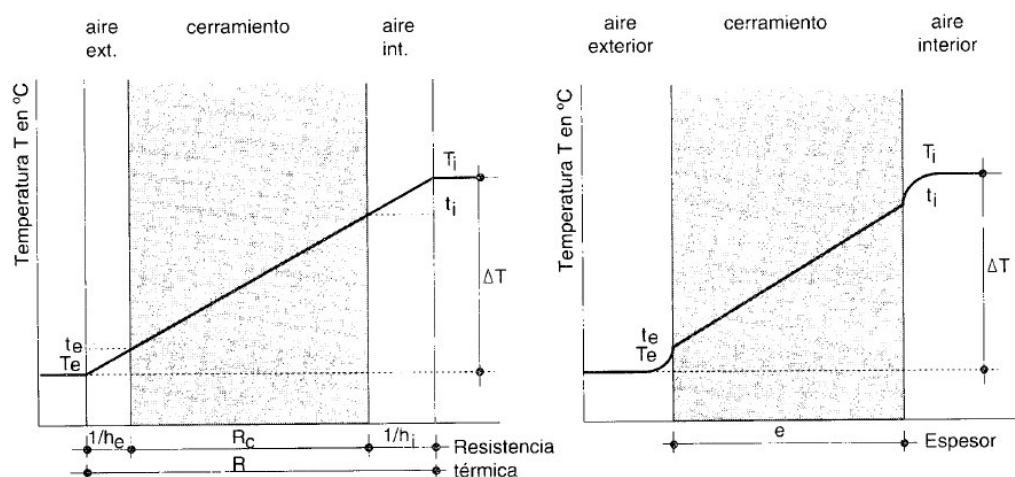


Figura 3. 38 : Diferença de temperatura do ar nas camadas de vedação.

Fonte: NBE-CT-79 / Figura p.41.

Para realizar esta análise do desempenho higrotérmico utilizou-se a norma espanhola NBE-CT-79 pois a NBR 15220 não apresenta método de cálculo para verificar o risco de condensações. As informações necessárias para a realização destes cálculos foram retiradas do Software *Analysis Bio*, conforme as Figuras A.2 a A.4; e da referida norma espanhola, conforme a Figura A.5 e Tabela A.2, do anexo A.

A cidade de Florianópolis encontra-se a uma latitude de $27^{\circ}35'S$, altitude de 1,83m e possui as temperaturas médias mínimas de $13,3^{\circ}C$. Observando a figura A.5 do anexo A, pode-se verificar que a cidade espanhola que mais se aproxima das condições de Florianópolis é a cidade de Santa Cruz de Tenerife, situada em uma ilha do oceano atlântico na latitude de $28^{\circ}50'N$, e possuindo a temperatura mínima de $10^{\circ}C$. Para a análise do desempenho higr-térmico serão utilizadas as diretrizes e exigências normativas espanholas aplicadas a esta zona climática. Segundo a mesma norma, as temperaturas mínimas exigidas para os ambientes internos são separadas pelo uso da edificação e servem para os cálculos de predição das condensações intersticiais e superficiais da vedação, conforme mostra a Tabela 27. Estas temperaturas estão relacionadas com a umidade relativa interna de 75% e a umidade relativa externa de 95%.

Tabela 27 – Temperaturas mínimas exigidas para o ambiente interno.

Edifício ou Local	Temperatura mínima seca (°C)
Residências, Ensino, Comércio, Trabalho sedentário e Cultura	18
Salas de espetáculos, Ginásios e Trabalho leve	15
Locais de trabalho pesado	12
Espaço para armazenamento em geral	10

Fonte: NBE-CT-79 / Tabela 3 (art.9º), p.9. – traduzido.

As temperaturas de cada camada da vedação são calculadas através das diferenças de temperaturas interna e externa e das resistências térmicas de cada material que compõe a vedação. Já a diferença da pressão do ambiente interno e externo, e a resistividade ao vapor de água de cada material que compõe a vedação, resultam no valor de transferência do vapor de água através da parede. Através destes valores é possível determinar as temperaturas de condensação para as camadas da vedação utilizando a carta psicrométrica, Figura A.6 do anexo “A”.

Para realizar este cálculo podem são utilizados dois procedimentos: um analítico e um gráfico, conforme é demonstrado a seguir:

- $T_{interna} = 18\text{°C}$ _____ (Tabela 27 – Residência)
- $T_{mínima} = 13,3\text{°C}$ _____ (Figura A.4 – Anexo “A”)
- $UR_{interna} = 75\%$ _____ (NBE-CT-79)
- $UR_{externa} = 95\%$ _____ (NBE-CT-79)
- $R_{si} = 0,13\text{ (m}^2\cdot\text{K)/W}$ _____ (Tabela 15)
- $R_{targamassa} = 0,0174\text{ (m}^2\cdot\text{K)/W}$ _____ (Tabela 15)
- $R_{tar} = 0,17\text{ (m}^2\cdot\text{K)/W}$ _____ (Tabela 15)
- $R_{se} = 0,04\text{ (m}^2\cdot\text{K)/W}$ _____ (Tabela 15)
- $RT = 0,3748\text{ (m}^2\cdot\text{K)/W}$ _____ (Tabela 15)
- $Rv_{argamassa} = 30\text{ MNs/g}$ _____ (Tabela A.5 – Anexo “A” – *Hormigón com áridos normales o ligeros*)
- $Rv_{ar} = 5,5\text{ MNs/g}$ _____ (Tabela A.5 – Anexo “A” – *Aire em reposo câmaras*)

As Equações de 13 a 17 representam a seqüência de cálculos estabelecidos pela NBE-CT-79 para a análise dos riscos de condensação intersticial nas vedações:

▪ **Diferença de temperatura interna e externa**

Equação 13 $\Delta t = T_{externa} - T_{interna}$

onde:

Δt - diferença da temperatura interna e externa.

$T_{interna}$ - temperatura mínima interna.

$T_{externa}$ - temperatura mínima externa.

$$\Delta t = T_{\text{externa}} - T_{\text{interna}} = 18 - 13,3$$

$$\Delta t = 4,7^{\circ}\text{C}$$

▪ **Diferença de temperatura em cada camada da vedação**

A resistência térmica total é resultado da soma das resistências das camadas da vedação, e para verificar se existe o risco de condensação deve-se realizar o cálculo dos gradientes de temperatura e da permeabilidade ao vapor de água em todas as camadas que compõe a vedação. A seguir é explicitado o cálculo da seção mais representativa do painel pré-fabricado com garrafas plásticas.

Seção= argamassa + câmara de ar + argamassa

Equação 14
$$\Delta t_n = \frac{R_n \cdot \Delta t}{R_T}$$

onde:

Δt_n - diferença de temperatura entre cada camada da vedação.

R_n - resistência térmica de cada camada da vedação.

Δt - diferença de temperatura entre o ambiente exterior e interior.

R_T - resistência térmica total da vedação.

Tabela 28 – Cálculo da diferença de temperatura do ar nas camadas da vedação.

Camadas	Cálculo		Δt (°C)
Rsi	$\Delta t_{\text{Rsi}} = \frac{R_{\text{si}} \cdot \Delta t}{R_T}$	$\Delta t_{\text{Rsi}} = \frac{0,13 \cdot 4,7}{0,3748}$	$\Delta t_{\text{Rsi}} = 1,63^{\circ}\text{C}$
Rargamassa	$\Delta t_{\text{Rarg}} = \frac{R_{\text{arg}} \cdot \Delta t}{R_T}$	$\Delta t_{\text{Rarg}} = \frac{0,0174 \cdot 4,7}{0,3748}$	$\Delta t_{\text{Rarg}} = 0,22^{\circ}\text{C}$
Rar	$\Delta t_{\text{Rar}} = \frac{R_{\text{ar}} \cdot \Delta t}{R_T}$	$\Delta t_{\text{Rar}} = \frac{0,17 \cdot 4,7}{0,3748}$	$\Delta t_{\text{Rar}} = 2,13^{\circ}\text{C}$
Rargamassa	$\Delta t_{\text{Rarg}} = \frac{R_{\text{arg}} \cdot \Delta t}{R_T}$	$\Delta t_{\text{Rarg}} = \frac{0,0174 \cdot 4,7}{0,3748}$	$\Delta t_{\text{Rarg}} = 0,22^{\circ}\text{C}$
Rse	$\Delta t_{\text{Rse}} = \frac{R_{\text{se}} \cdot \Delta t}{R_T}$	$\Delta t_{\text{Rse}} = \frac{0,04 \cdot 4,7}{0,3748}$	$\Delta t_{\text{Rse}} = 0,50^{\circ}\text{C}$

Inserindo estes valores na figura abaixo é possível criar um gráfico com as temperaturas parciais existentes em cada camada da vedação analisada, Figura 3.39.

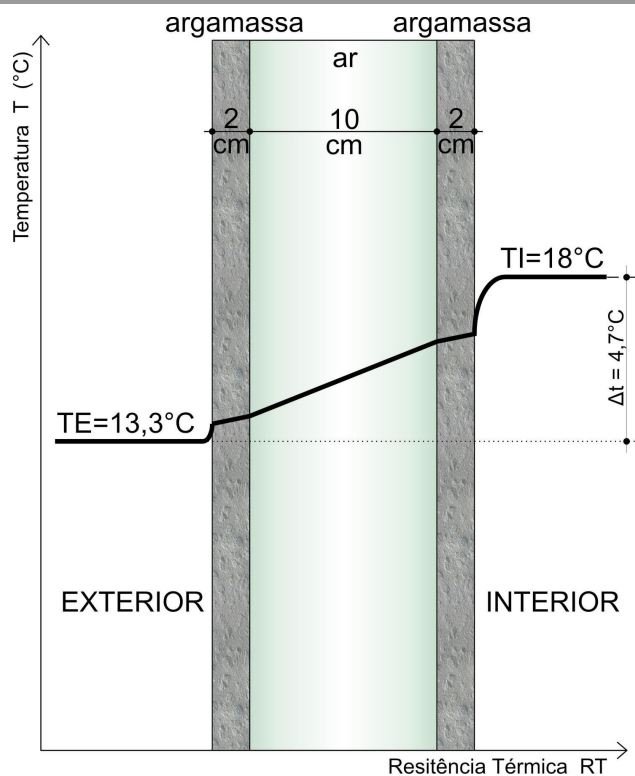


Figura 3. 39 : Gradiente das temperaturas em cada camada da vedação.

Deve-se realizar o mesmo cálculo das temperaturas para verificar a resistência das camadas da vedação à passagem de vapor d'água, conforme Tabela 29.

▪ **Resistência à passagem de vapor de água da vedação**

Seção= argamassa + câmara de ar + argamassa

Equação 15 $R_v = \delta x e$

onde:

δ - é a permeabilidade ao vapor de água (ver Tabela A.3, no anexo "A").

e - é a espessura da camada em metros.

Tabela 29 – Cálculo da resistência à passagem de vapor de água da vedação.

Camadas	Cálculo	Rv (MNs/g)
Rargamassa	$Rv_{arg} = Rv_{arg} \cdot e_{arg}$ $Rv_{arg} = 30,0 \cdot 0,02$	$Rv_{arg} = 0,6$ MNs/g
Rar	$Rv_{ar} = Rv_{ar} \cdot e_{ar}$ $Rv_{ar} = 5,5 \cdot 0,10$	$Rv_{ar} = 0,55$ MNs/g
Rargamassa	$Rv_{arg} = Rv_{arg} \cdot e_{arg}$ $Rv_{arg} = 30,0 \cdot 0,02$	$Rv_{arg} = 0,6$ MNs/g
Resistência Total ao vapor		$Rv_{total} = 1,75$ MNs/g

Para estabelecer o gradiente de temperatura de orvalho, ou seja, temperatura onde há o risco de condensação nas camadas da vedação, é necessário utilizar a carta psicrométrica para aplicar os valores da Temperatura Externa $TE=13,3^{\circ}C$ a uma Umidade Relativa do ar de 95%; e da Temperatura Interna $TI=18^{\circ}C$ a uma Umidade Relativa do ar de 75%. Analisando a carta psicrométrica encontra-se a Temperatura Externa de Condensação de $12,5^{\circ}C$ e a Umidade Absoluta $C_{externa}=9,0$ g/Kg de ar seco; e a Temperatura Interna de Condensação de $13,5^{\circ}C$ e a Umidade Absoluta $C_{interna}=9,62$ g/Kg de ar seco, conforme demonstra a Figura 3.40.

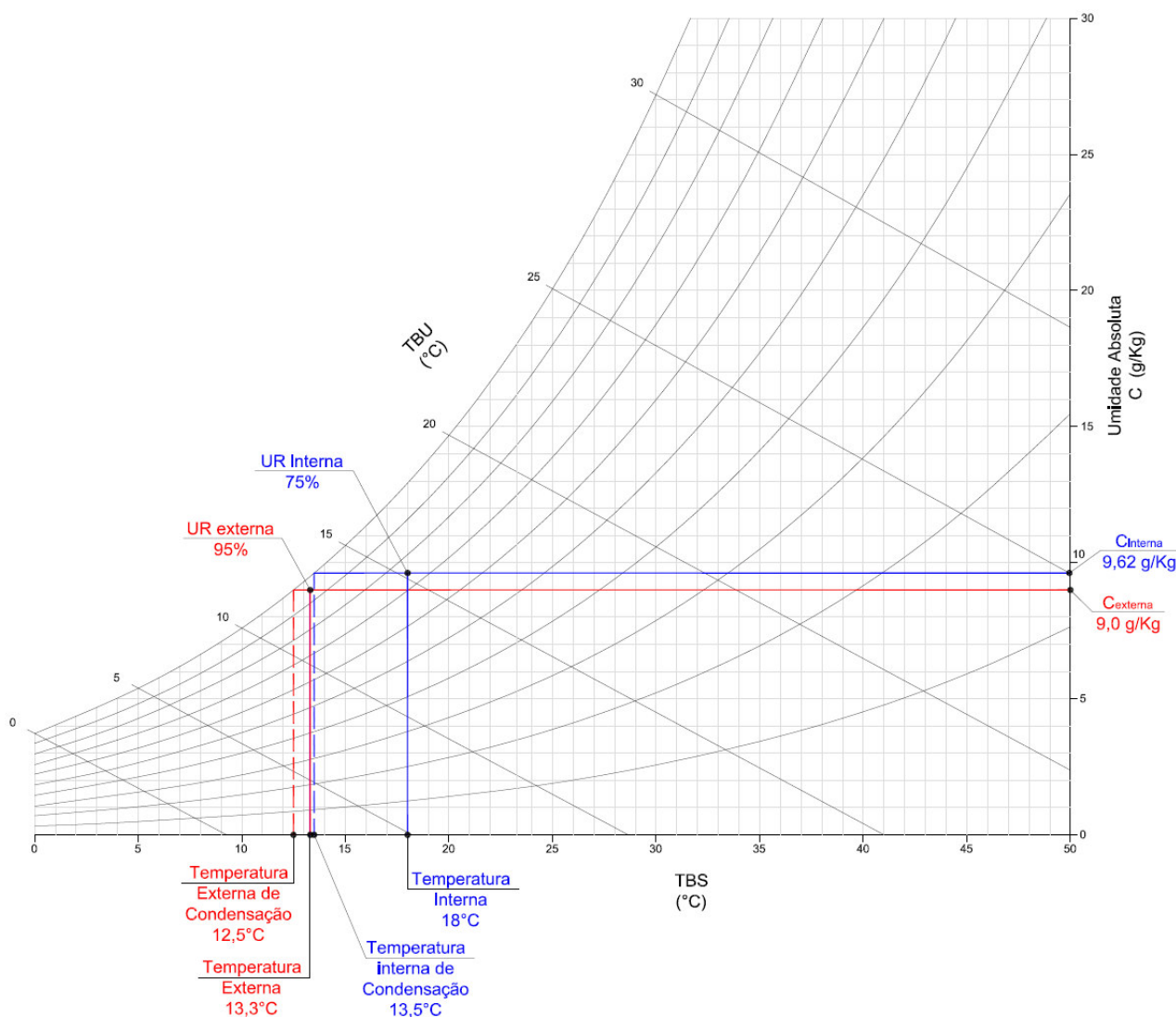


Figura 3. 40 : Carta Psicrométrica indicando as temperaturas do ar e de condensação para a vedação analisada.

▪ **Umidade absoluta e Temperatura de orvalho**

Seção= argamassa + câmara de ar + argamassa

Equação 16 $\Delta C = C_{\text{interna}} - C_{\text{externa}}$

onde:

ΔC - diferença da umidade absoluta interna e externa.

C_{interna} - umidade absoluta interna retirada da carta psicrométrica.

C_{externa} - umidade absoluta externa retirada da carta psicrométrica.

$\Delta C = 9,62 - 9,0 = 0,62 \text{ g/Kg.}$

Equação 17 $\Delta C_n = \frac{R_{vn} \times \Delta C}{R_{vT}}$

onde:

ΔC_n - diferença da umidade absoluta entre cada camada da vedação.

R_{vn} - resistência à passagem de vapor de água de cada camada da vedação.

ΔC - diferença da umidade absoluta interna e externa.

R_{vT} - resistência total à passagem de vapor de água da vedação.

Tabela 30 – Cálculo da permeabilidade ao vapor d'água da vedação.

Camadas	Cálculo	ΔC (g/Kg)
Rargamassa	$\Delta C_{arg} = \frac{R_{Varg} \cdot \Delta C}{R_{VT}}$ $\Delta C_{arg} = \frac{0,6 \cdot 0,62}{1,75}$	$\Delta C_{arg} = 0,21\text{g/kg}$
Rar	$\Delta C_{ar} = \frac{R_{Var} \cdot \Delta C}{R_{VT}}$ $\Delta C_{ar} = \frac{0,55 \cdot 0,62}{1,75}$	$\Delta C_{ar} = 0,19 \text{ g/kg}$
Rargamassa	$\Delta C_{arg} = \frac{R_{Varg} \cdot \Delta C}{R_{VT}}$ $\Delta C_{arg} = \frac{0,6 \cdot 0,62}{1,75}$	$\Delta C_{arg} = 0,21\text{g/kg}$

A partir destes valores é possível criar um gráfico com as temperaturas de orvalho parciais existentes em cada camada da vedação analisada, conforme mostra a Figura 3.41.

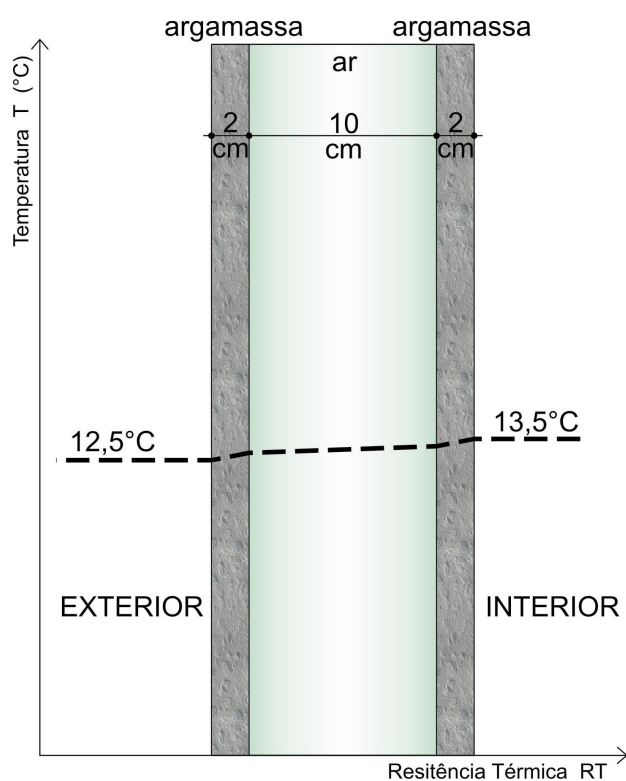


Figura 3. 41 : Gradiente das temperaturas de orvalho ou condensação.

Sobrepondo os gráficos das Figuras 3.39 e 3.41 é possível verificar se existe ou não interseção dos dois gradientes de temperaturas calculados, conforme mostra a Figura 3.42. Se ocorrer a interseção é sinal de que no ponto de encontro dos dois gradientes há o risco de condensação superficial ou intersticial da vedação, sendo necessário corrigir a

composição dos materiais utilizados e suas respectivas espessuras com o intuito de eliminar estes riscos.

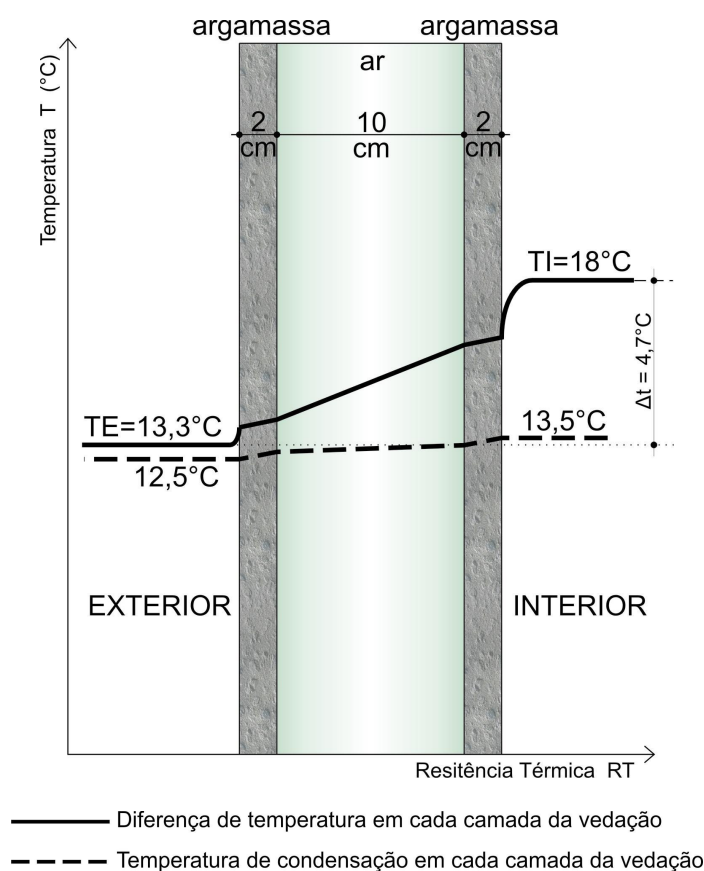


Figura 3. 42 : Sobreposição dos gradientes de temperatura e temperatura de orvalho para a vedação.

Analisando a Figura 3.42 é possível verificar que não há o risco de condensação superficial e intersticial na vedação com painéis pré-fabricados com garrafas plásticas uma vez que não houve interseção dos gradientes de temperatura (linha contínua) e de temperatura de condensação (linha tracejada).

4 CARACTERIZAÇÃO DO SISTEMA CONSTRUTIVO

A ABNT, no projeto de norma já citado nº02:136.01-001:2004, estabelece que *Sistema Construtivo* é o “conjunto de elementos e instalações harmoniosamente integrados, constituindo um todo que atenda ao programa de necessidades previamente estabelecido (habitação, escola, creche, etc), satisfazendo as exigências do usuário durante a vida útil de projeto prevista para a edificação”.

Nesta etapa do trabalho é caracterizado o Sistema *Casa Pet*, ou seja, Sistema Construtivo com Painéis Pré-fabricados com Garrafas Plásticas Recicladas para Habitação de Interesse Social. São detalhados os elementos construtivos que compõem o sistema proposto. Segundo a referida norma, *Elemento Construtivo* significa o “produto que corresponde a uma parte complexa da edificação, destinado a cumprir um conjunto amplo de funções e atender simultaneamente as diversas exigências dos usuários (fundações, fachadas, cobertura, estrutura, divisórias internas, etc)”.

4.1 FUNDAÇÕES

O sistema de fundação de uma edificação é a ligação crítica na transmissão das cargas da edificação para o solo e deve distribuir uniformemente todas as cargas verticais que são geradas pela edificação. O primeiro critério de decisão sobre qual tipo de fundação será utilizado é o reconhecimento do subsolo através de sondagens. Podem ser utilizadas fundações em superfície ou em profundidade, dependendo do tipo de solo encontrado. Segundo Guedes (2004), entende-se por Fundação em Superfície aquela em que as pressões se transmitem ao solo pela base; e são classificadas como: fundações isoladas rígidas (blocos), fundações isoladas flexíveis (sapatas), fundações contínuas rígidas (baldrame), fundações contínuas semiflexíveis (viga de fundação); e fundações contínuas flexíveis (*radier*). Fundação em Profundidade é aquela na qual as pressões se transmitem ao solo pelo atrito lateral da fundação e pela base, e podem ser classificadas

como estacas, tubulões e caixões, podendo ser moldadas *in-loco* ou pré-fabricadas, dependendo do material utilizado.

Para o sistema construtivo proposto foi sugerida inicialmente a utilização de fundação em superfície do tipo *radier* ou em *placa*, ou seja, uma laje armada de 12cm de altura que trabalha como uma única sapata para toda a edificação e geralmente é utilizada quando o carregamento é contínuo e uniformemente distribuído. É projetada como uma unidade estrutural integrada capaz de transmitir as cargas para o solo sob toda a área da laje. É importante ressaltar que o tipo de fundação explicado é meramente sugestivo, sendo que deve ser analisado cada local de implantação para que se decida pela opção mais viável técnica e economicamente, uma vez que se está tratando de habitações de interesse social.

4.2 ESTRUTURA E VEDAÇÃO - PAINEL PRÉ-FABRICADO

Os sistemas de parede são os planos verticais de uma edificação que definem e fecham seus espaços interiores. Podem ser paredes portantes homogêneas ou compostas, ou podem ser construídos pilares e vigas com painéis não estruturais que preencham os espaços entre a estrutura. Estas paredes e pilares devem suportar as cargas de pisos e cobertura acima e transmitir-las aos pisos e fundação abaixo sem gerar instabilidades e fissuras nas vedações e estruturas. As paredes externas são a proteção dos ambientes internos da edificação contra as intempéries, e devem controlar a passagem de calor, frio, ar, umidade e vapor de água, além de serem resistentes às ações agressivas do ambiente externo. Já as paredes internas podem ser estruturais ou não e devem suportar os diversos tipos de materiais de acabamento e isolar acusticamente os ambientes. Tanto as paredes internas quanto as externas devem permitir a passagem das instalações elétrica e hidráulica, sem gerar nenhum dano a esta estrutura ou vedação. Já as aberturas de portas e janelas devem ser localizadas no ambiente com o intuito de proporcionar o melhor desempenho dos requisitos de iluminação natural, ventilação, vistas desejáveis e acessos. Estas aberturas devem ser projetadas e executadas para que as cargas verticais sejam distribuídas lateralmente sem que haja danos tanto à abertura quanto à estrutura e vedação.

Neste trabalho o sistema de estrutura e vedação caracterizado é o painel pré-fabricado de parede estrutural com garrafas plásticas no interior. Este painel deve ser resistente às tensões verticais e horizontais e possuir juntas de dilatação para manter sua estabilidade estrutural. As superfícies da parede ficam expostas pois os materiais que

formam e envolvem o painel são resistentes às agressões do ambiente. Para a fabricação deste painel é necessário combinar unidades de garrafa com armadura e argamassa para obter o formato e as dimensões finais projetadas e especificadas no capítulo 3.2.2 de modulação. As instalações são incorporadas no painel durante a fabricação do mesmo e o isolamento térmico é garantido pela camada de ar interna formada pelas garrafas. As formas podem ser fabricadas em diversos materiais de acordo com a escala de produção e; a classificação, o corte, a limpeza e o preparo das garrafas plásticas, podem ser feitos por uma única pessoa ou grupo, devidamente treinado.

A seqüência de fabricação do painel é:

a) Limpeza, corte, encaixe e amarração das garrafas plásticas, conforme ilustra a Figura 4.1. As garrafas são utilizadas invertidas, com a tampa para baixo, para facilitar a passagem das instalações.

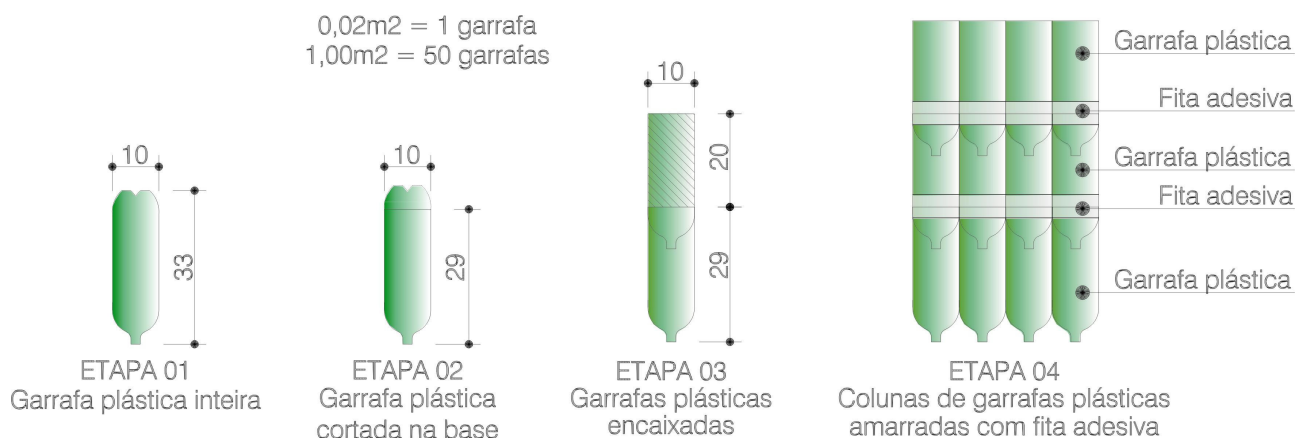


Figura 4. 1: corte e encaixe das garrafas plásticas, formando colunas.

b) Preparação da forma. A forma pode ser fabricada em madeira, fibra de vidro, etc; dependendo da escala de produção dos painéis, conforme ilustrado na Figura 4.2.



Figura 4. 2: forma de madeira.

c) Preenchimento de uma das superfícies do painel. Sobre o fundo da forma coloca-se 20mm de argamassa de cimento e areia com aditivo, conforme mostra a Figura 4.3.



Figura 4. 3: base de 20mm de argamassa.

d) Disposição das colunas de garrafas plásticas. São colocadas armaduras de reforço CA-60 com diâmetro de 6,3mm na forma de treliças planas, em todo o perímetro do painel, para reforço do quadro do painel (Figura 4.4). As armaduras não podem ficar em contato com a forma, devendo ser respeitadas as normas de espaçamento entre os materiais.

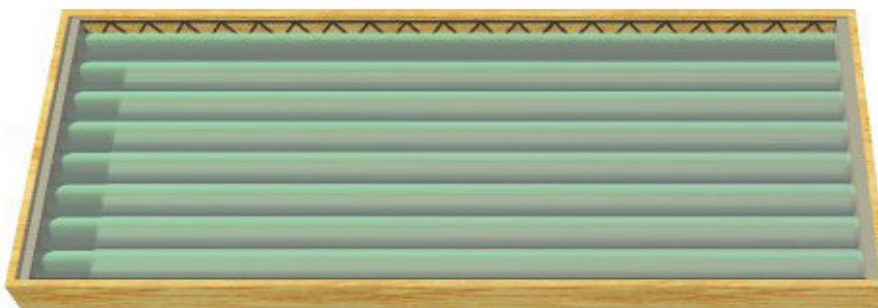


Figura 4. 4: colocação das colunas de garrafas plásticas e reforço.

e) Fechamento do painel. Na seqüência as nervuras perimetrais de reforço e as nervuras entre as colunas de garrafas PET são revestidas com argamassa. Finalmente realiza-se a regularização da superfície com outra camada de argamassa com espessura de 20 mm, totalizando uma espessura total do painel de parede de 14 cm (Figuras 4.5, 4.6 e 4.7).



Figura 4. 5: revestimento das laterais e da superfície do painel.

f) Cura. A cura deve ser realizada em ambiente saturado, obtido através do uso de lonas plásticas impermeáveis colocadas sobre as superfícies expostas da argamassa. Estas lonas devem ser de tons claros para evitar o aquecimento da argamassa e a subsequente retração química.

g) Desmolde. Pode ser realizado após 20 horas, caso seja empregado o Cimento de Alta Resistência Inicial, ou, 40 horas, no caso do uso de Cimento Portland Pozolânico, permitindo a reutilização do molde para a fabricação de novo painel.

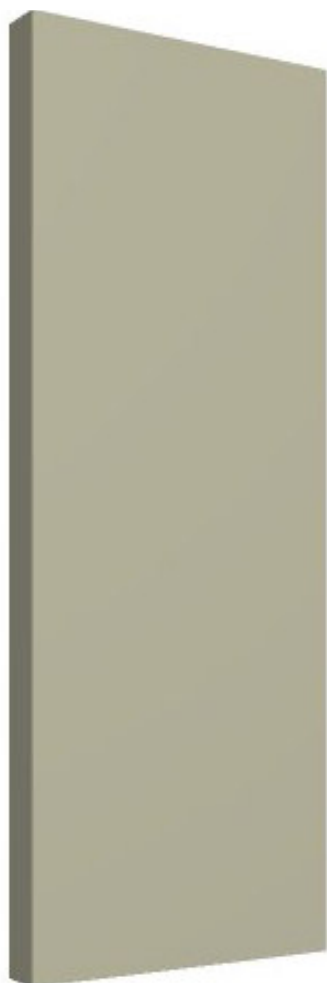


Figura 4. 6: painel finalizado.

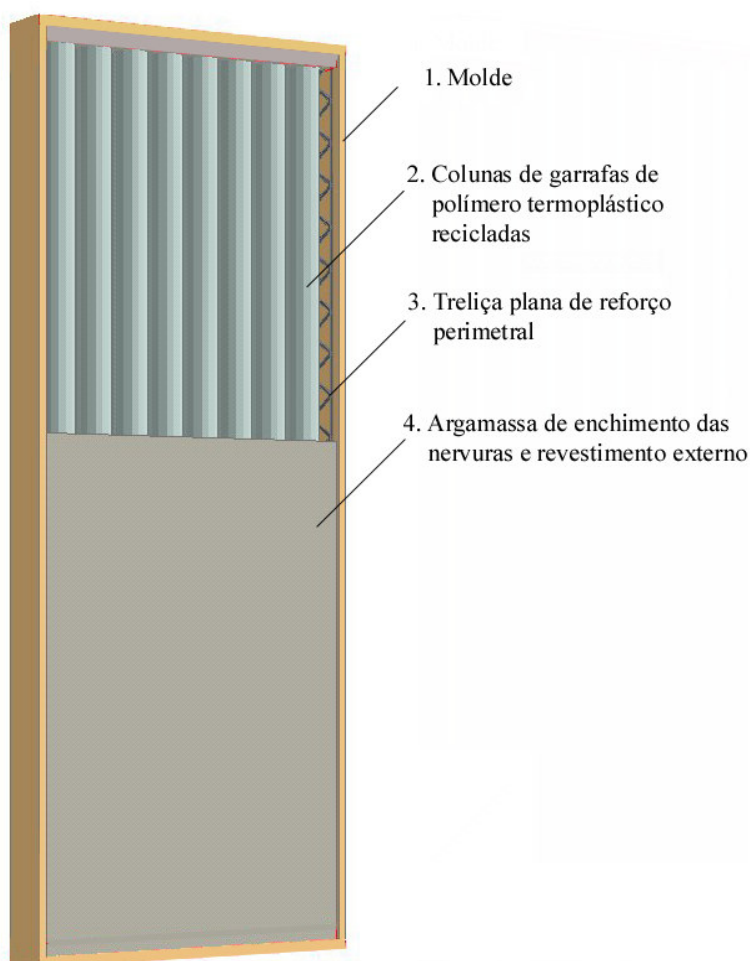


Figura 4. 7: composição do painel pré-fabricado com garrafas plásticas.

4.3 COBERTURA

O sistema de cobertura funciona como elemento de abrigo para os espaços internos de uma edificação, devendo controlar a passagem de água, ar, calor e frio. Na escolha do sistema de cobertura e seus materiais devem ser considerados a economia de execução e manutenção, durabilidade e capacidade de isolamento térmico. As coberturas podem ser planas ou inclinadas, sendo que estas formas geram impactos visuais diferentes na imagem da edificação.

A cobertura proposta é formada por uma laje plana com painéis pré-fabricados que também utilizam as garrafas plásticas em seu interior. Estes painéis horizontais são posicionados sobre os painéis verticais de parede e a unificação é feita com a concretagem do capeamento superior de 4cm da laje de cobertura. Sobre a área do

banheiro não existe laje plana para que a manutenção da caixa d'água seja feita pelo forro de pvc do banheiro. Para a sustentação da caixa d'água é proposto um sistema de laje maciça sobre blocos de concreto que são posicionados sobre os painéis de parede que ficam entre os quartos e o banheiro, conforme Figuras 3.36, 3.37 e 4.8. Após a concretagem é feito o telhamento com estrutura de madeira e telhas cerâmicas que melhoram o isolamento térmico, garantem a estanqueidade e conferem as características compositivas semelhantes às construções convencionais. O fechamento dos oitões é feito com frontais de madeira tratada. É importante salientar que é necessário um projeto e detalhamento específico da laje de cobertura com painéis pré-fabricados com garrafas plásticas.

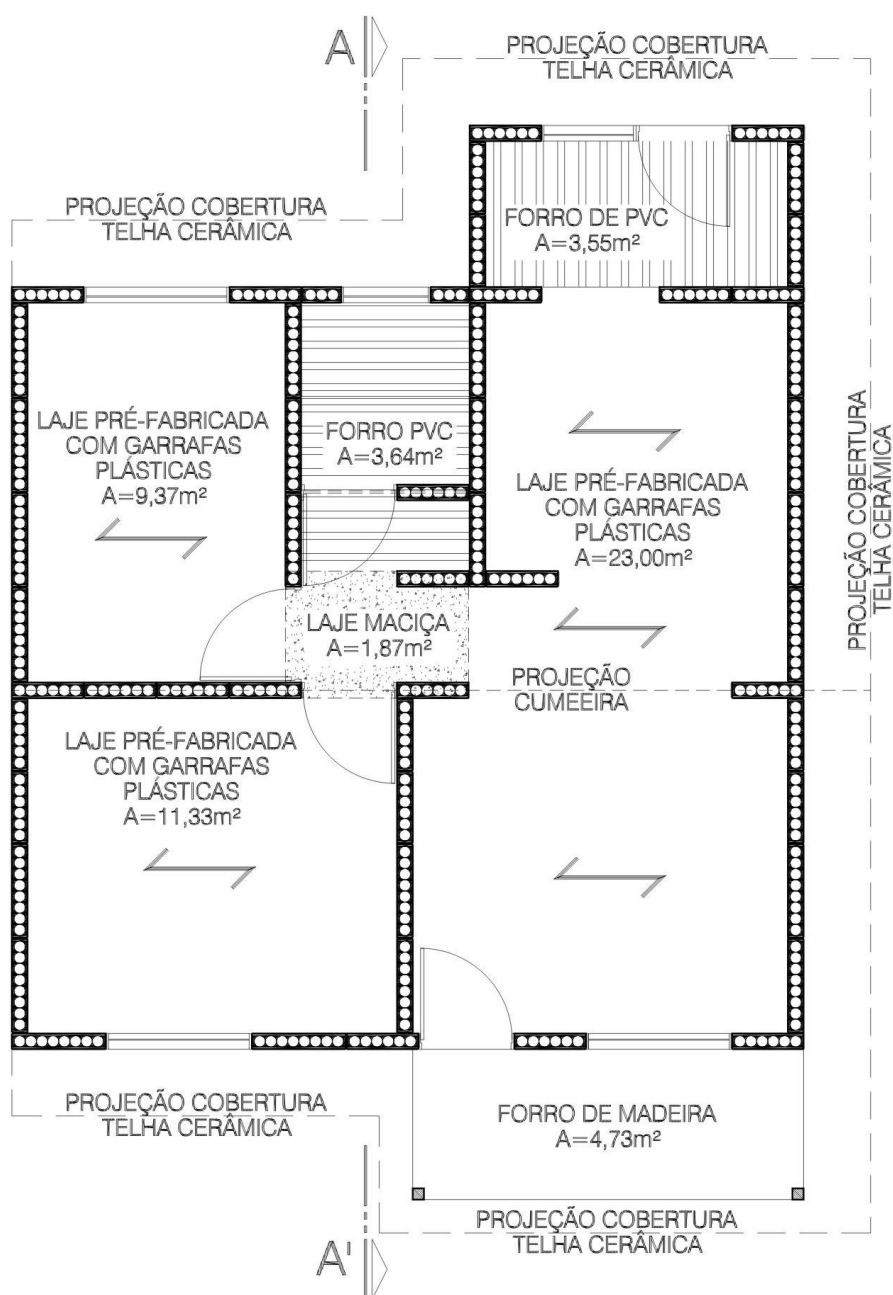


Figura 4. 8: planta da laje de cobertura proposta.

4.4 INSTALAÇÕES

Segundo a ABNT, no projeto de norma nº02:136.01-001:2004 , já citada, *Instalação* é um “sub-sistema incorporado à construção com a finalidade de atender exigências orgânicas e funcionais dos usuários, incluindo alimentação, higiene, saúde, conforto e habitabilidade de forma geral (instalações de água, luz, gás, esgotos, etc)”.

As instalações elétricas e hidráulicas são inseridas no interior das garrafas, durante a montagem e fabricação dos painéis, conforme mostram as Figuras 4.9, 4.10 e 4.11. É utilizado o sistema de prumadas, ou seja, a distribuição dos eletrodutos e tubulações são feitas pela parte superior dos painéis e sobre a laje, sendo conectadas com as esperas deixadas nos painéis fabricados com as instalações no interior, conforme mostram as Figuras 4.9, 4.10 e 4.11. Este sistema é semelhante ao utilizado nas alvenarias estruturais com blocos de concreto ou cerâmico. evitando, deste modo, rasgos nas paredes para a conexão das instalações.

A elaboração do projeto de edificação, com a previsão dos locais onde estarão situados os pontos elétricos e hidráulicos, é de fundamental importância para racionalizar a fabricação dos painéis que receberão as tubulações, evitando rasgos e posteriores retrabalhos, que em geral levam ao desperdício; maior consumo de material e mão-de-obra para a conclusão da obra. É importante salientar a necessidade da elaboração de projeto e detalhamento específico das instalações.



Figura 4. 9: painel com instalação elétrica e hidráulica.



Figura 4. 10: painel com instalação elétrica e hidráulica.
Fonte: Brasiltec (2005).



Figura 4. 11: painel com esperas da tubulação e do eletroduto.
Fonte: Brasiltec (2005)

4.4.1 Painel elétrico

Os eletrodutos passam verticalmente pelo interior das colunas de garrafas PET, e devem ser colocados à medida que estas são encaixadas. As caixas de interruptores, tomadas e telefones também são posicionadas antes da concretagem e finalização do painel, conforme mostram as Figuras 4.12 e 4.13. A distribuição dos eletrodutos é pela parte superior dos painéis e sobre a laje, evitando, deste modo, rasgos nas paredes para a conexão das instalações.

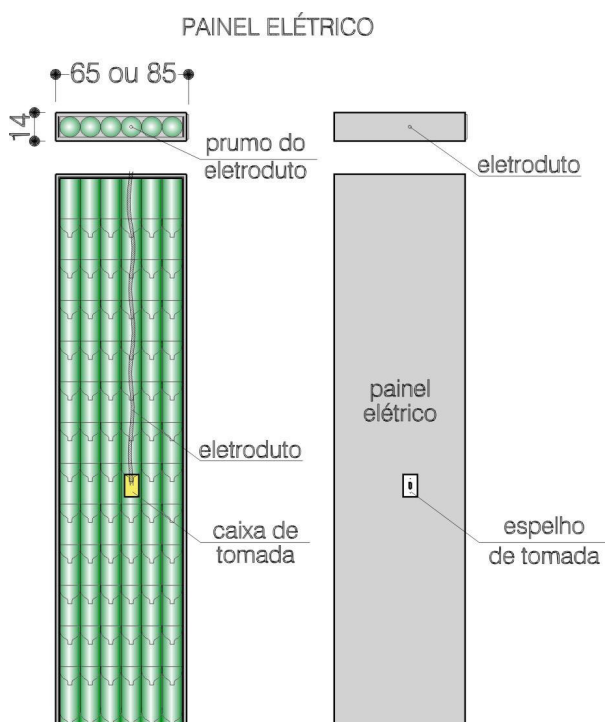


Figura 4. 12: passagem das instalações elétricas e o ponto de eletricidade no painel finalizado.

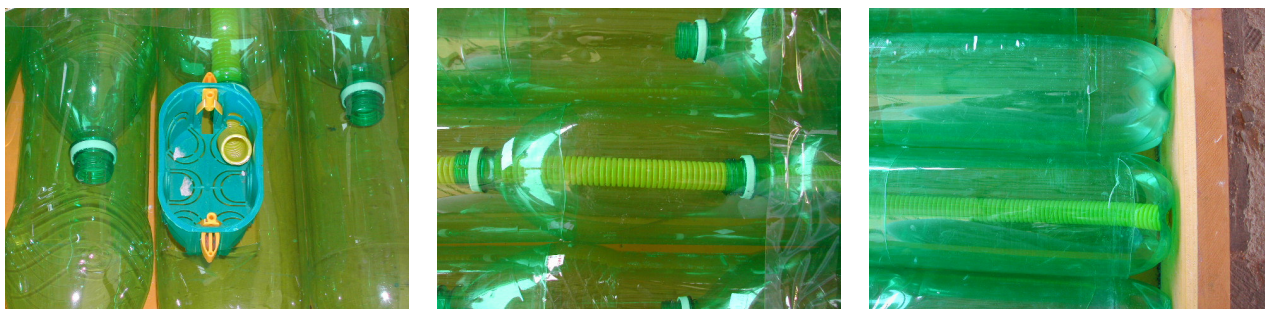


Figura 4. 13: passagem da instalação elétrica dentro das colunas.

4.4.2 Painel hidráulico

As instalações hidráulicas podem ser executadas utilizando dois tipos de tubulações. O sistema convencional com tubulação rígida de PVC, onde a tubulação passa por dentro das garrafas, conforme mostrado nas Figuras 4.14 e 4.15. O projetista também pode prever *shafts* de passagem das instalações que podem ser fechados com painel *Pet*, placa cimentícia ou gesso acartonado, facilitando a manutenção destas tubulações. Ou utilizar o sistema hidráulico de tubulações flexíveis, que podem ser instaladas no mesmo sistema das instalações elétricas. Um ponto importante a ser lembrado é que os cômodos da habitação que necessitem de instalações hidro-sanitárias devem ser projetados o mais próximo possível, utilizando o conceito de “paredes hidráulicas”, de maneira a reduzir os custos finais da construção.

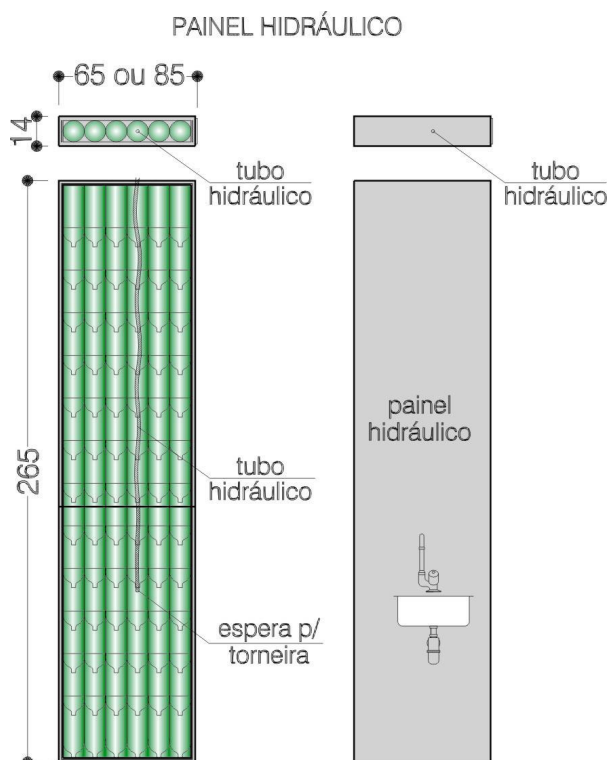


Figura 4. 14: passagem das instalações hidráulicas e o ponto hidráulico no painel finalizado.

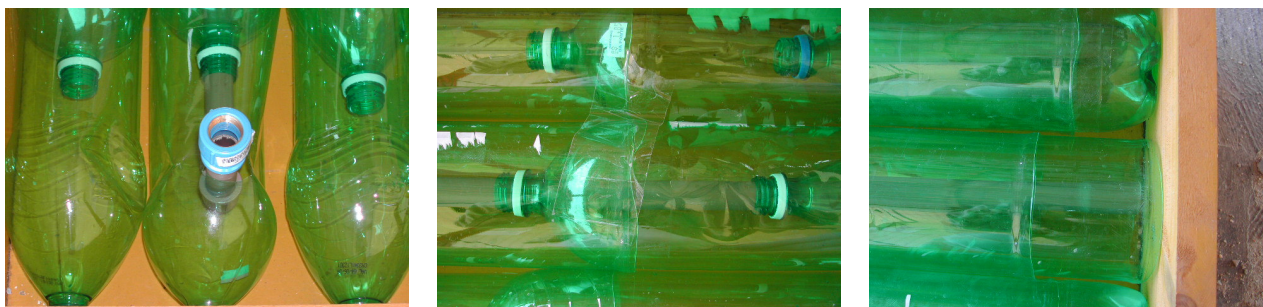


Figura 4. 15: passagem da instalação hidráulica dentro das colunas.

4.5 MONTAGEM E FIXAÇÃO DOS PAINÉIS

Os painéis pré-fabricados de parede são posicionados sobre o *radier* e escorados provisoriamente. A junta entre os painéis é de 10mm de modo a permitir eventual movimentação entre os painéis em função da dilatação e a retração dos mesmos. A amarração e o travamento final dos painéis é feito com uma chapa metálica perfurada que é colocada e parafusada na parte superior dos painéis, conforme ilustrado nas Figuras 4.16 a 4.21. Esta chapa é colocada em todo o perímetro da casa, no lugar de uma viga de concreto de amarração, resultando numa maior rigidez da estrutura.

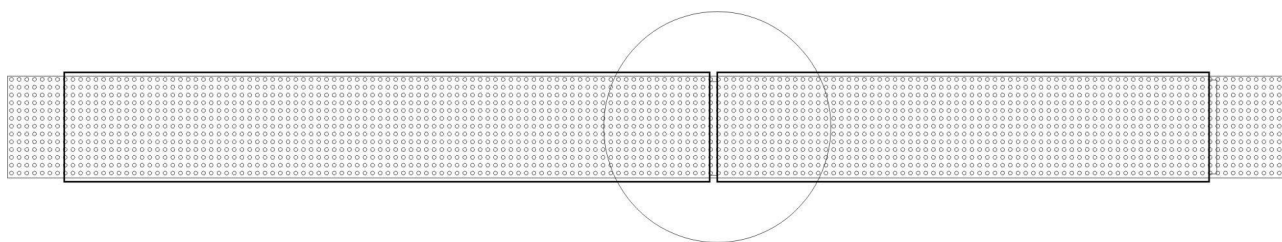


Figura 4. 16: fixação dos painéis de parede com chapa metálica perfurada e parafusada na parte superior dos mesmos.

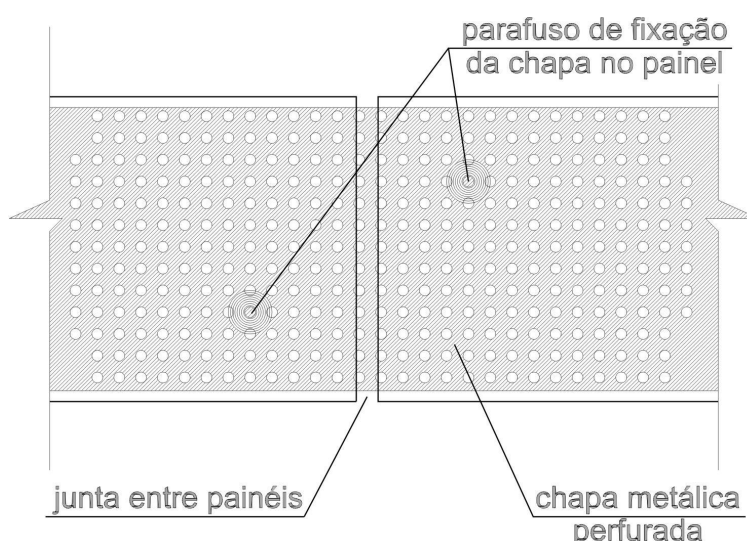


Figura 4. 17: detalhe da fixação dos painéis de parede com chapa metálica perfurada.

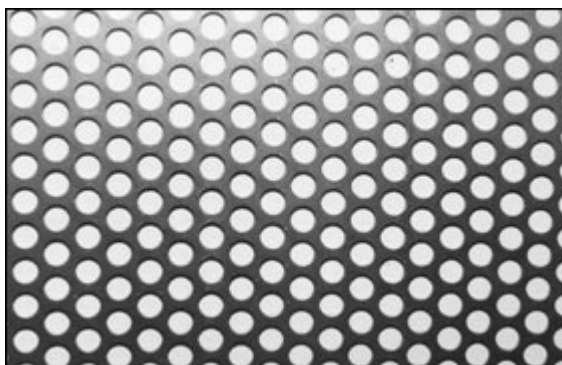


Figura 4. 18: chapa metálica perfurada.



Figura 4. 19: fixação dos painéis de parede com chapa metálica perfurada.

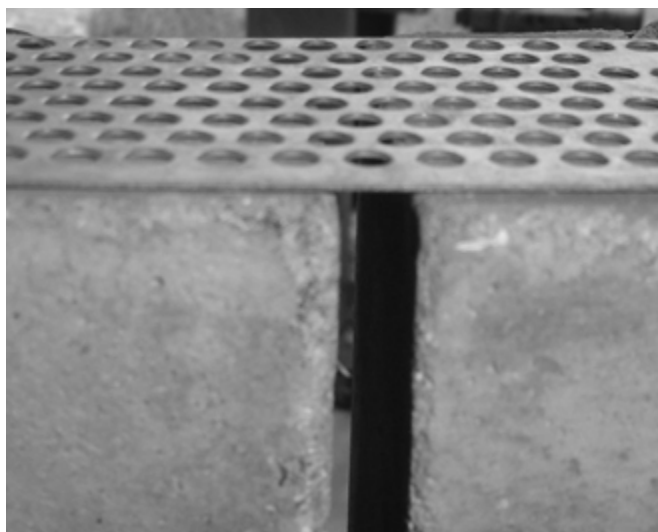


Figura 4. 20: fixação dos painéis de parede com chapa metálica perfurada.

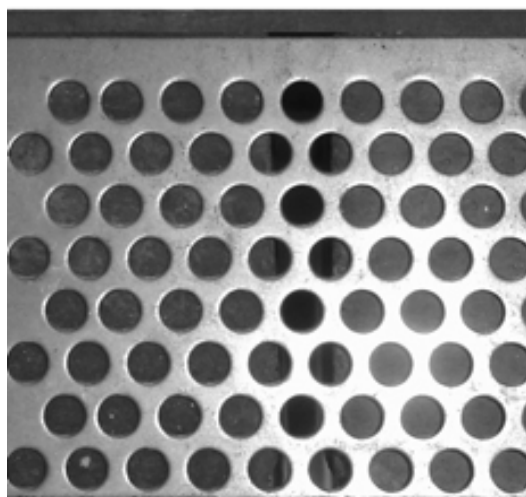


Figura 4. 21: detalhe da fixação dos painéis de parede com chapa metálica perfurada.

4.6 JUNTAS E SELANTES

Junta é a distância prevista no projeto entre os extremos adjacentes de dois elementos construtivos, ou seja, são os espaços vazios entre os elementos. Já o *Selante* é o material utilizado para “vedar” a junta. Estes dois elementos combinados têm a função de absorver as tensões geradas pelos movimentos de dilatação e retração devido às variações de temperatura e umidade; garantir a estanqueidade quanto à passagem de água pela ação da chuva e vento; propiciar o acabamento estético; e o isolamento térmico e acústico. Podem ser utilizados entre elementos de mesma função ou nas interfaces entre piso, vedações e cobertura.

Nos elementos pré-fabricados as juntas e selantes possuem importância fundamental uma vez que para a união e composição destes elementos é necessário

projetar e prever a existência de espaços para que ocorra a variação dimensional sem provocar trincas e falhas na edificação.

Neste trabalho as juntas são projetadas com largura nominal de 10mm e preenchidas nas uniões entre os painéis pré-fabricados de vedação vertical. Os selantes devem possuir grande aderência aos painéis, além de flexíveis e resistentes às variações dimensionais dos mesmos. A quantidade e profundidade do selante devem ser reguladas através da inserção de um limitador de juntas, como por exemplo um perfil de polietileno de poros fechados onde posteriormente é realizada a aplicação do selante. Esta etapa deve receber inspeção rigorosa para evitar falhas e desperdícios, e garantir a durabilidade do material. As Figuras 4.22 a 4.24 ilustram a aplicação do selante nas juntas entre os painéis pré-fabricados.

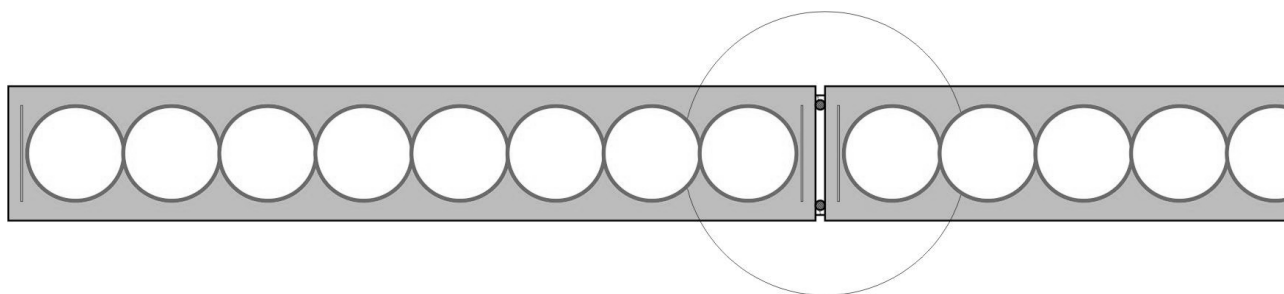


Figura 4. 22: união dos painéis de parede.

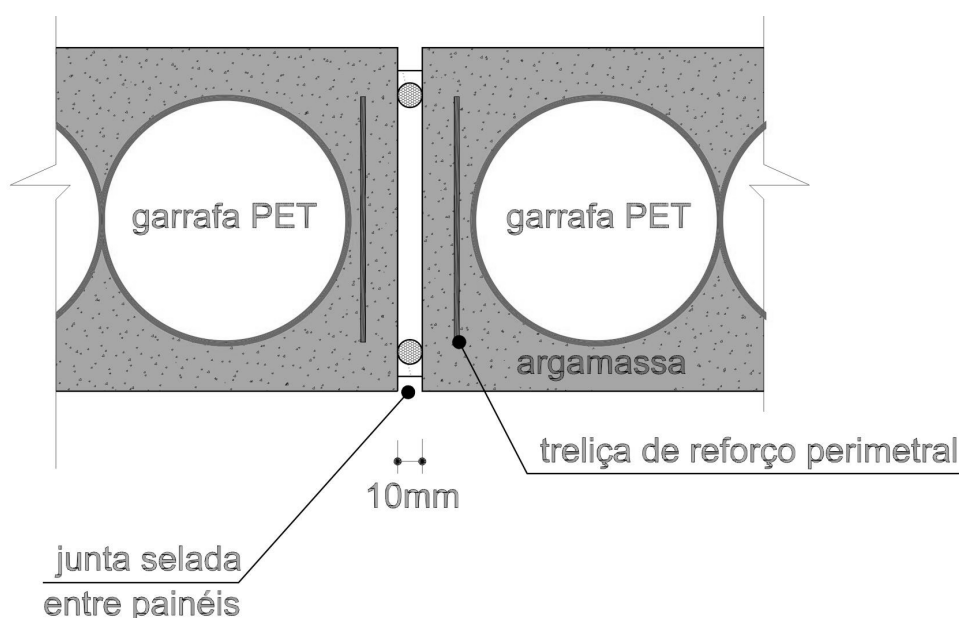


Figura 4. 23: detalhe da união dos painéis de parede com junta de 10mm – planta baixa.

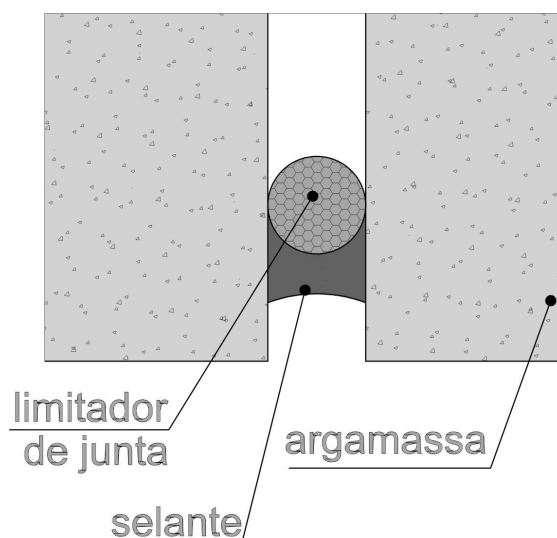


Figura 4. 24: junta e selante entre os painéis verticais.

4.7 CARACTERÍSTICAS DA FABRICAÇÃO, TRANSPORTE E MONTAGEM DO PROCESSO CONSTRUTIVO

Processo Construtivo é o “conjunto de métodos ou técnicas de produção de componentes, elementos e sistemas construtivos”, segundo os conceitos do projeto de Norma de Desempenho de Edifícios Habitacionais de até 5 pavimentos – Parte 1: Requisitos Gerais.

4.7.1 Aplicabilidade para o setor produtivo

Geração de mão-de-obra - este sistema de construção permite o aproveitamento de mão-de-obra em quatro etapas diferentes:

- Reciclagem que inclui a coleta, seleção e limpeza das garrafas plásticas;
- Fabricação dos painéis de parede;
- Transporte e armazenamento;
- Montagem da *Casa Pet* que abrange a montagem dos painéis de parede, esquadrias e acabamentos dos elementos de cobertura do telhado.

Redução dos desperdícios na construção – a racionalização do projeto que prevê futuras ampliações e a pré-fabricação com controle industrial dos processos possibilitam uma obra limpa, econômica e de rápida execução.

4.7.2 Seqüência e tempos de execução

Fabricação das formas – as formas podem ser executadas em madeira, fibra-de-vidro ou em chapas de aço, dependendo da escala industrial de produção dos painéis. As formas de madeira são de fácil execução.

Reutilização das garrafas plásticas – classificação, corte, limpeza e preparo das garrafas podem ser feitos por uma pessoa em aproximadamente em 1 hora por painel, dependendo da sua dimensão.

Fabricação dos painéis de parede – a aplicação da argamassa, a colocação das armaduras de reforço, a inserção das colunas de garrafas plásticas e o revestimento final podem ser feitos por duas pessoas em aproximadamente 1 hora e 30 minutos por painel de parede.

Cura e desmolde – a cura é realizada em temperatura ambiente com um plástico de proteção sobre o painel para mantê-lo saturado. O desmolde pode ser efetuado após 20 horas da concretagem, permitindo a reutilização da forma para uma nova fabricação de painel.

Transporte e armazenamento – o transporte do painel pode ser feito manualmente por quatro ou seis pessoas, dependendo do peso do painel; ou, preferencialmente, com um caminhão com guindaste móvel. O painel pode ser armazenado tanto na posição vertical ou na lateral com ângulo de inclinação de aproximadamente 75°. Os painéis devem permanecer armazenados por quatorze dias para adquirir uma resistência mecânica mais elevada, antes de se iniciar o processo de montagem da edificação.

Cobertura, esquadrias e finalizações – a mesma casa pode ser executada por quatro pessoas em aproximadamente quatorze dias.

Obs: estes tempos podem ser superpostos e são indicativos, pois dependem do tamanho da casa, da escala de produção e do número de profissionais envolvidos no processo.

4.8 QUANTIFICAÇÃO DOS MATERIAIS

Através das coordenações modular e dimensional é possível quantificar os componentes utilizados num projeto de edificação devido à repetição de componentes. Através da análise do projeto é possível comparar os índices de repetição dos componentes construtivos, as facilidades construtivas e a flexibilidade compositiva.

No projeto da *Casa Pet* é possível quantificar tanto o número de painéis utilizados quanto o número de garrafas plásticas, pois se conhece a quantidade necessária de garrafas para a construção de cada tipo de painel. Na Figura 4.25 pode-se visualizar quantos painéis de cada tipo existem e sua posição exata na implantação. A partir da quantificação dos painéis e dos outros componentes da construção é possível realizar um orçamento com pequena margem de erro.

A Tabela 31 demonstra a quantificação dos painéis utilizados no projeto da *Casa Pet* e mostra que o total de garrafas plásticas necessárias para a construção da habitação é de aproximadamente 4616 garrafas. A Tabela 32 mostra o quadro de esquadrias utilizadas no projeto da habitação proposta.

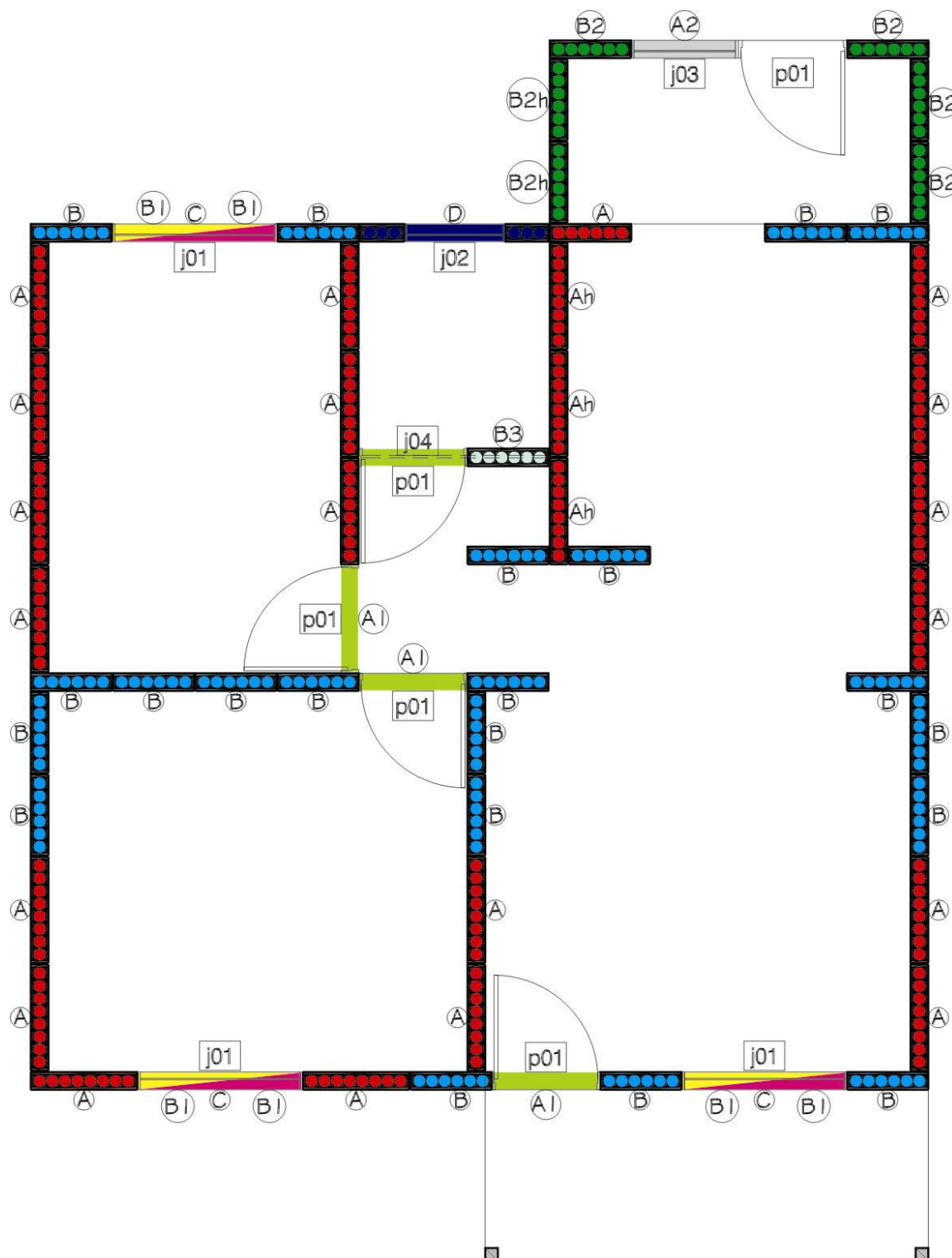













Figura 4. 25: planta de modulação e quantificação dos painéis.

Tabela 31 – Quantificação de painéis

Cor	Painel	Dimensões	Quantidade de garrafas	Peso por painel	Quantidade de painéis
	PAINEL “A”	84 x 265 x 14 cm	96	300 kg	20
	PAINEL “Ah”*	84 x 265 x 14 cm	96	300 kg	3
	PAINEL “A1”	84 x 55 x 14 cm	16	60 kg	3
	PAINEL “A2”	84 x 93 x 14 cm	32	100 kg	1
	PAINEL “B”	64 x 265 x 14 cm	72	240 kg	21
	PAINEL “B1”	64 x 93 x 14 cm	24	80 kg	6
	PAINEL “B2”	64 x 240 x 14 cm	66	200 kg	4
	PAINEL “B2h”*	64 x 240 x 14 cm	66	200 kg	2
	PAINEL “B3”	64 x 210 x 14 cm	60	180 kg	1
	PAINEL “C”	129 x 55 x 14 cm	24	100 kg	3
	PAINEL “D”	149 x 265 x 14 cm	144	500 kg	1

Nota: * Painéis onde são inseridas as instalações hidráulicas.

Considerando o peso específico da argamassa de $\rho=2000\text{kg/m}^3$, chegou-se ao valor de 140kg/m^2 de painel PET. A alvenaria convencional, com blocos cerâmicos de 6 furos e 1cm de argamassa de revestimento de cada lado, com peso específico de $\rho=1300\text{kg/m}^3$, possui um peso de 185kg/m^2 . Portanto, conclui-se que, substituindo a alvenaria convencional pelo painel PET, é possível reduzir em aproximadamente 25% o peso total das vedações verticais na edificação.

É importante ressaltar que as instalações elétrica e hidráulica necessitam de projeto e detalhamentos específicos.

Tabela 32 – Quadro de esquadrias*.

Portas						
Código	Tipo	Dimensões	Material		Quantidade	
p01	abrir	80x210 cm	madeira		5	
Janelas						
Código	Tipo	Dimensões	Peitoril	Material	Vidro	Quantidade
j01	correr 2 fls com veneziana externa	130x120 cm	93 cm	madeira	translúcido	3
j02	basculante	65x80 cm	133 cm	madeira	opaco	1
j03	fixa e basculante	100x150 cm	93 cm	madeira	translúcido	1
j04	basculante	150x55 cm	210 cm	madeira	opaco	1

Nota: * As esquadrias necessitam de detalhamento específico.

As Figuras 4.26 a 4.35 apresentam o detalhamento dos painéis de vedação vertical utilizados no projeto da *Casa Pet*.

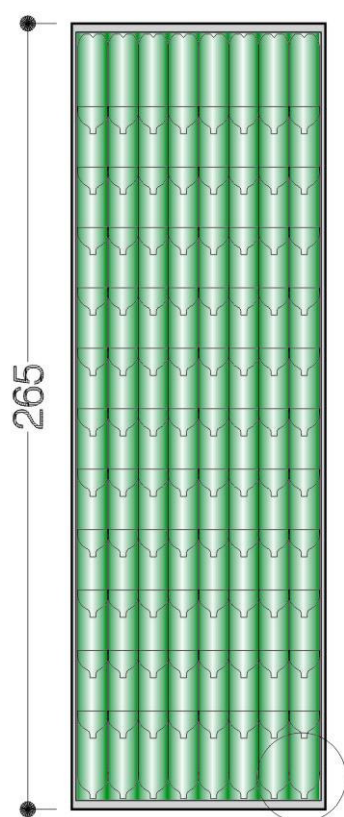
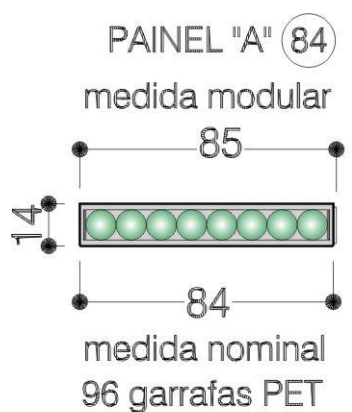


Figura 4. 26: painel "A".

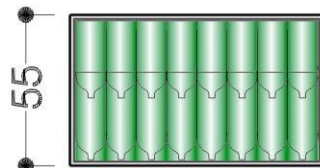
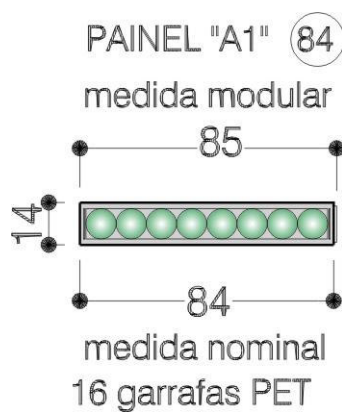


Figura 4. 27: painel "A1".
Painel tipo "verga".

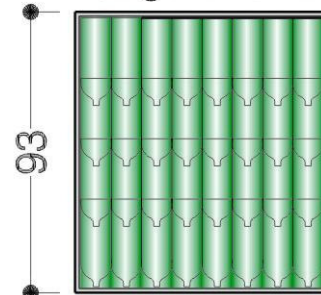
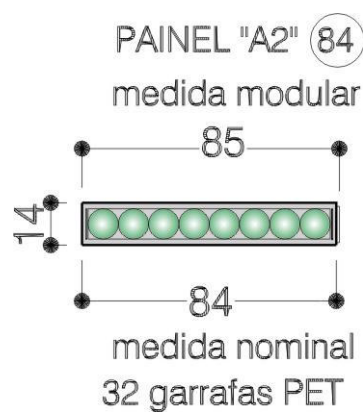


Figura 4. 28: painel "A2".
Painel tipo "peitoril".

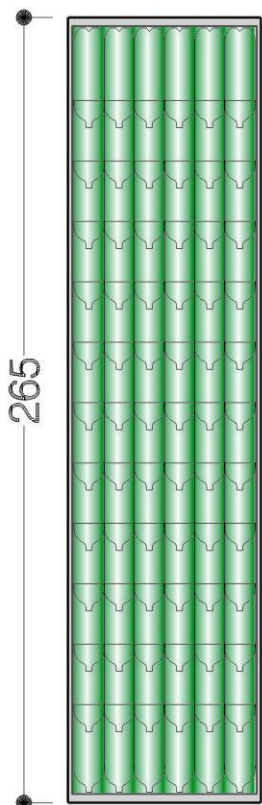
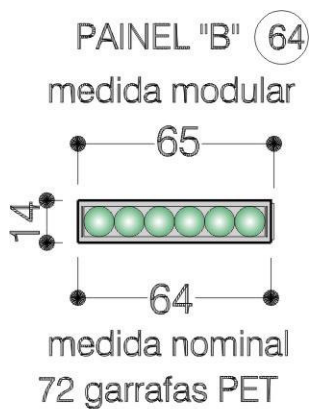


Figura 4. 29: painel "B".

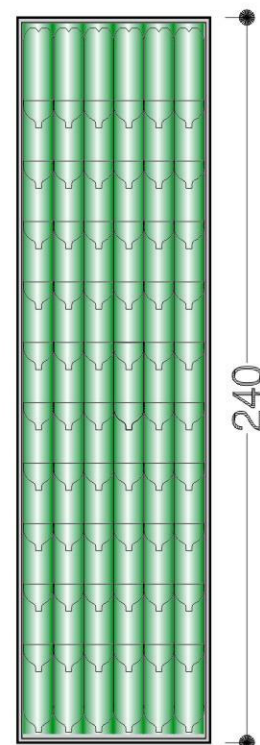
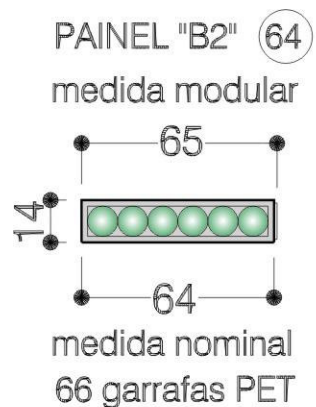


Figura 4. 31: painel "B2".

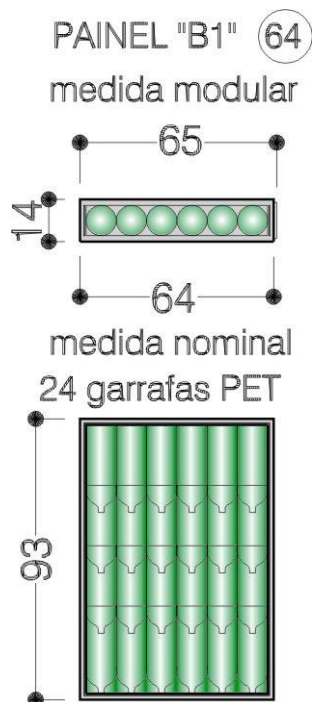


Figura 4. 30: painel "B1".
Painel tipo "peitoril"

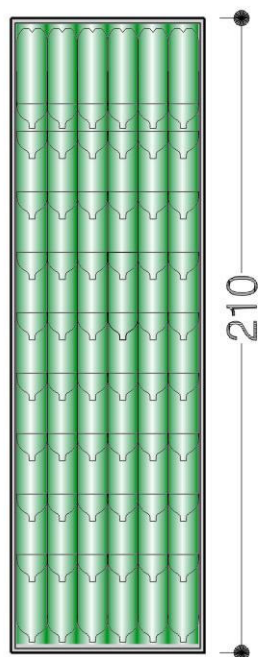
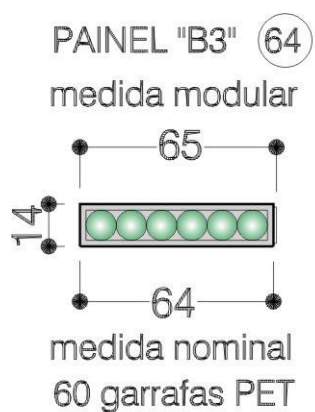


Figura 4. 32: painel "B3".

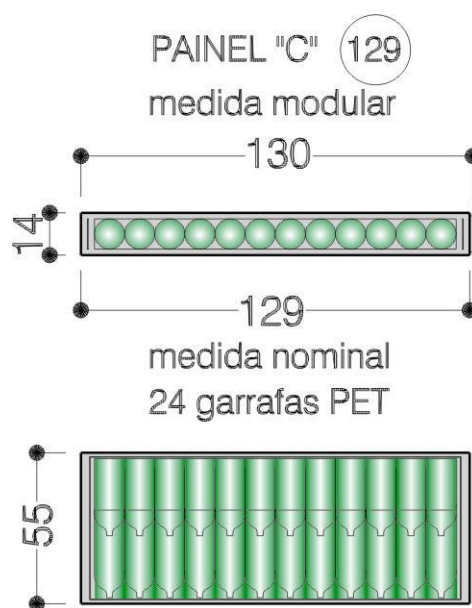


Figura 4. 33: painel "C".

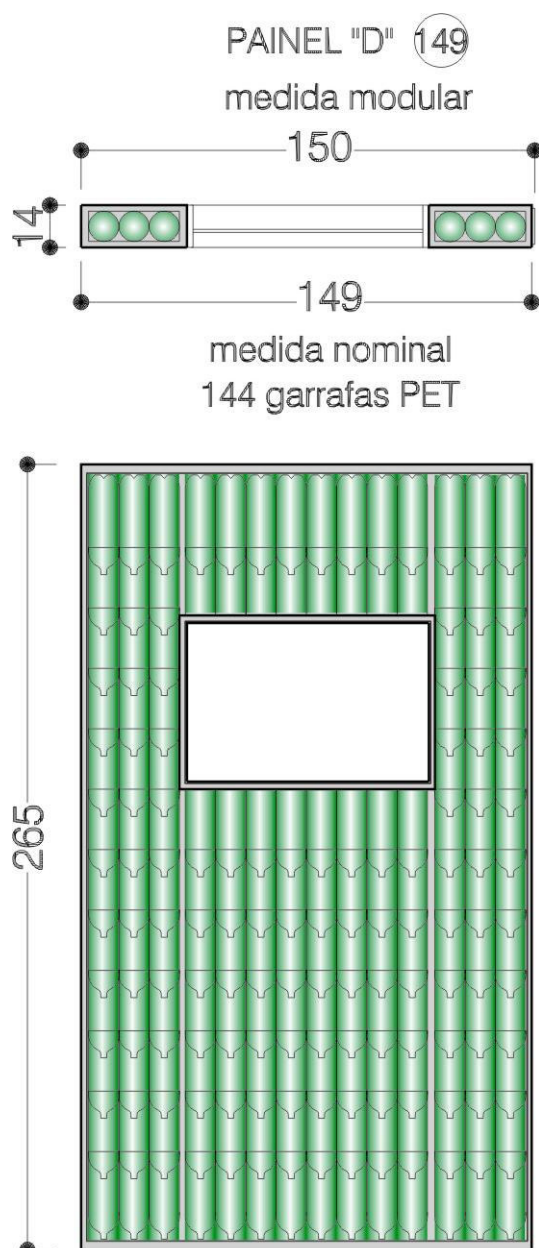


Figura 4. 34: painel "D".

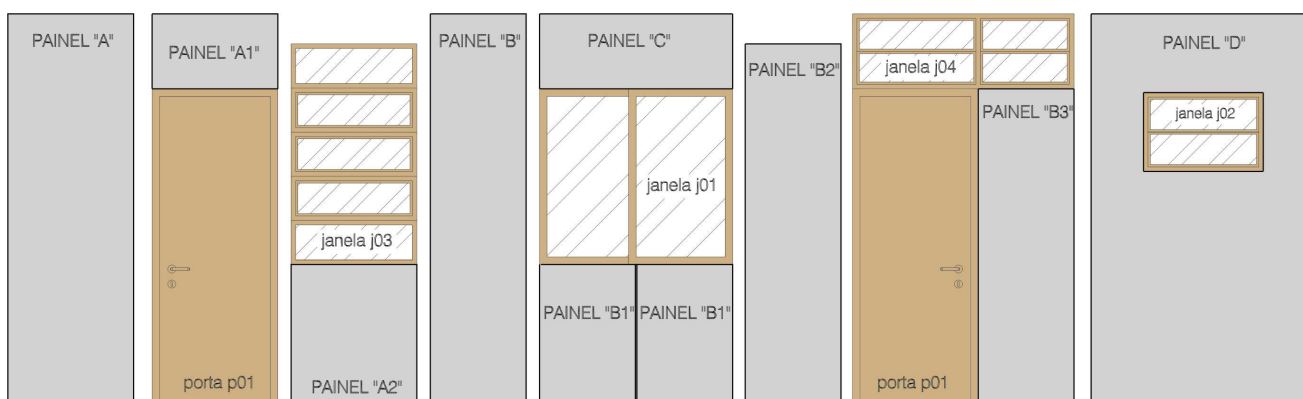


Figura 4. 35: painéis utilizados no projeto de habitação proposto.

Neste trabalho foram realizados somente os ensaios de desempenho estrutural do painel tipo "B", conforme figura 4.29. Os ensaios dos painéis e os resultados obtidos

encontram-se no capítulo 5 deste trabalho. É importante salientar que todos os painéis propostos necessitam de detalhamento específico, além da realização de ensaios de desempenho estrutural para verificar também a viabilidade técnica e construtiva.

4.9 FABRICAÇÃO DOS PAINÉIS DE PAREDE

A construção de um protótipo é importante para o desenvolvimento de um produto uma vez que busca a materialização da solução proposta, a verificação da viabilidade construtiva e econômica, além de possibilitar a análise de alguns tipos de desempenho.

Segundo BAXTER (2000), existe uma grande confusão de conceitos entre *Modelo* e *Protótipo*. O termo *Modelo*, no sentido técnico, geralmente é uma representação física ou matemática de um objeto. No projeto de produto, modelo refere-se a uma representação do produto ou parte do produto. Em geral, o termo modelo é usado para representar modelos computacionais (como desenho de apresentação feito no *CAD-Computer Added Design* ou programas gráficos) ou representações físicas da aparência visual dos produtos. Esses modelos também são chamados de *maquetes*, palavra de origem francesa. Na língua inglesa usa-se o termo *mock-up*.

Já *Protótipo* significa, literalmente, “o primeiro de um tipo”. No projeto de produtos, a palavra protótipo refere-se a dois tipos de representação dos produtos. Primeiro, no sentido mais preciso da palavra, refere-se à representação física do produto que será eventualmente produzido industrialmente. Em segundo lugar, usa-se o termo protótipo para qualquer tipo de representação física construída com o objetivo de realizar testes físicos (BAXTER, 2000).

Os modelos podem ser feitos em escala reduzida ou ampliada e os materiais utilizados para sua fabricação podem ser desde papel até gesso ou espuma; enquanto protótipo é feito com os mesmos materiais do produto final.

No desenvolvimento do produto *Casa Pet* são utilizados os dois tipos de exemplos. O modelo foi utilizado na etapa inicial do desenvolvimento do produto através de maquetes eletrônicas com o intuito de criar o projeto conceitual, conforme o item 3.3.2. Já a fabricação de protótipos dos painéis pré-fabricados com garrafas plásticas faz-se necessária pois se trata do desenvolvimento de um produto com proposta de inovação tecnológica. Sendo um produto inovador, no sentido que substitui materiais convencionais da construção civil por resíduos sólidos urbanos, também se faz necessária a realização de ensaios e testes específicos para a análise do desempenho dos painéis.

4.9.1 Formas

As formas são as peças que dão o formato final ao elemento construtivo projetado. Para a fabricação das peças pré-fabricadas é necessário especificar detalhadamente o dimensionamento das formas e suas particularidades para evitar possíveis deformações e erros de montagem. As formas podem ser fabricadas em vários materiais, tais como madeira, aço ou fibra de vidro, dependendo da escala de produção. Alguns conselhos devem ser seguidos para a fabricação de painéis com formas, tais como:

- Antes do início da fabricação do painel as formas devem estar limpas e estanques, de modo a evitar eventuais fugas de argamassa e desperdício de material;
- Deve-se molhar as formas até a saturação ou impermeabilizá-las, para evitar a absorção da água de amassamento da argamassa;
- Os produtos antiaderentes, destinados a facilitar a desmoldagem, deverão ser aplicados em todas as superfícies da forma antes da colocação da armadura;
- As formas devem ser substituídas ou reforçadas todas as vezes que forem detectadas pequenas diferenças dimensionais.

4.9.2 Construção de protótipo de painel pré-fabricado de parede

O desenvolvimento do protótipo de painel de parede tem como objetivo verificar algumas das possibilidades construtivas utilizando o painel pré-fabricado com garrafas plásticas. Após a construção é possível realizar análises de desempenho estrutural e de construtividade do painel a fim de verificar possíveis problemas e propor soluções para os mesmos.

A ABNT, no Projeto de Norma de Desempenho de Edifícios Habitacionais de até 5 pavimentos – Parte 1: requisitos gerais, nº02:136.01-001:2004, estabelece que Sistema Construtivo é o “conjunto de elementos e instalações harmoniosamente integrados, constituindo um todo que atenda ao programa de necessidades previamente estabelecido (habitação, escola, creche, etc), satisfazendo as exigências do usuário durante a vida útil de projeto prevista para a edificação”.

Nesta etapa é apresentado o desenvolvimento construtivo e fabricação do painel de parede que faz parte do Sistema Casa Pet. Os painéis fabricados foram utilizados posteriormente para a análise do desempenho estrutural através de ensaios laboratoriais dos painéis com dimensões de 65x265x14cm.

a) Limpeza, corte e encaixe das garrafas plásticas. As garrafas plásticas são cortadas na sua base e encaixadas formando colunas que posteriormente são unidas lateralmente

com fita adesiva formando o enchimento do painel, conforme mostram as Figura 4.36 e 4.38.

b) Preparação da forma madeira para a fabricação simultânea de três painéis, conforme ilustrado na Figura 4.36.



Figura 4. 36: forma de madeira.

c) Revestimento de uma das superfícies do painel. Sobre o fundo da forma coloca-se 20mm de argamassa de cimento e areia com aditivo, conforme a Figura 4.37. A argamassa possui a composição em massa de: 25kg de cimento Portland Pozolânico, 75kg de areia, 125ml de aditivo adiment superplastificante e 10 litros de água.



Figura 4. 37: base de 20mm de argamassa e treliças posicionadas.

d) Disposição das colunas de garrafas plásticas. São colocadas armaduras de reforço CA-60 com diâmetro de 6,0mm na forma de treliças planas, em todo o perímetro do painel,

para reforço do quadro do painel. Na seqüência são colocadas as colunas de garrafas devidamente encaixadas e unidas com fita adesiva (Figuras 4.37 e 4.38).



Figura 4. 38: colocação das colunas de garrafas plásticas e treliça de reforço.

e) Fechamento do painel. Na continuação, as nervuras perimetrais de reforço e as nervuras entre as colunas de garrafas plásticas são preenchidas com argamassa. Finalmente realiza-se a regularização da superfície com outra camada de argamassa com espessura de 20 mm, totalizando uma espessura total de 14 cm do painel de parede (Figura 4.39).



Figura 4. 39: preenchimento das laterais e da superfície do painel.

f) Finalização e Cura. A cura foi realizada em ambiente saturado com o uso de lonas plásticas de tons claros. (Figura 4.40).



Figura 4. 40: painel finalizado na forma.

g) O desmolde foi realizado após 48 horas, pois foi utilizado Cimento Portland Pozolânico, conforme mostram as Figuras 4.41 a 4.47. Após o desmolde foram fabricados mais três painéis utilizando a mesma forma sem necessidade de reparos e ajustes nas dimensões da mesma.



Figura 4. 41: desmolde do painel – painel solto da forma devido ao uso de desmoldante antes da fabricação dos painéis.



Figura 4. 42: desmolde do painel - remoção da lateral da forma de madeira.



Figura 4. 43: desmolde do painel – remoção da lateral da forma de madeira.



Figura 4. 44: desmolde do painel – canto.



Figura 4. 45: desmolde do painel.

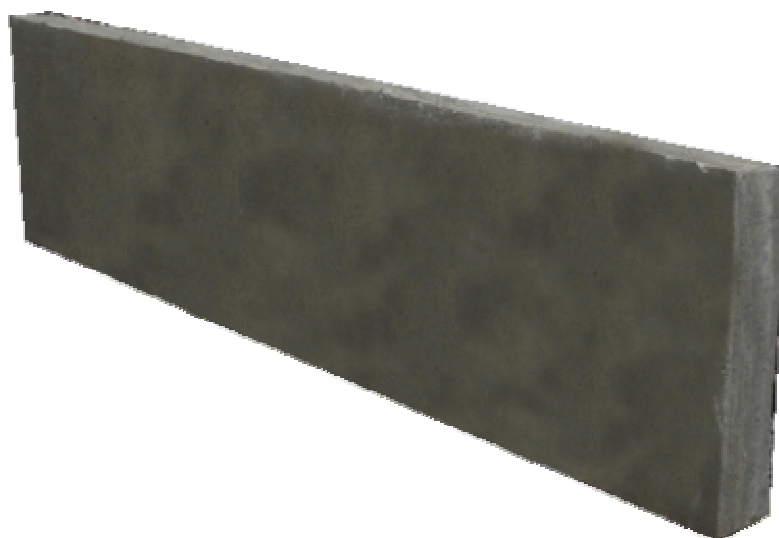


Figura 4. 46: painel finalizado.



Figura 4. 47: armazenagem do painel de parede por 28 dias para realização de ensaios de desempenho estrutural.

5 ANÁLISE DO DESEMPENHO ESTRUTURAL DOS PAINÉIS

O requisito utilizado nesta análise é o da Estabilidade e Resistência Estrutural fundamentada no Projeto de Norma Brasileira de Desempenho de Edifícios Habitacionais de até 5 pavimentos – Parte 2: estrutura e Parte 4: fachadas e paredes internas, e recomendações da CAIXA - Caderno de Orientações de Empreendimentos (2000), para painéis pré-fabricados de sistemas inovadores. O referido projeto de norma estabelece que a estrutura principal e os demais elementos com função estrutural dos edifícios de habitações de até cinco pavimentos não devem apresentar:

- ruptura, instabilidade ou tombamento, considerando a estrutura como um todo ou qualquer um de seus componentes isolados;
- disposições estruturais cuja falência de elemento isolado desencadeie processo de colapso progressivo;
- deformações e defeitos acima das tolerâncias especificadas neste conjunto de normas e nas demais normas técnicas pertinentes.

Caracteriza-se *Falha* como “a ocorrência que compromete o estado de utilização do elemento, por fissuração, danos no elemento e nas interfaces com outros elementos, deslocamentos acima de limites aceitáveis” e *Ruína* como o “estado limite último, seja por ruptura, perda de estabilidade ou deformação excessiva” (ABNT - Projeto de Norma nº02:136.01-001; 2004).

São estabelecidos níveis mínimos “*Nível M*” de desempenho para os diferentes elementos e partes da construção que devem ser atendidos obrigatoriamente. Considerando as possibilidades de agregar qualidades aos produtos analisados, é possível classificar os elementos com níveis de desempenho *S* (superior) e *E* (elevado). Se o elemento não atingir as exigências mínimas de desempenho o mesmo obtém classificação “*I*” (insuficiente), sendo necessário sugerir mudanças e realizar novos ensaios.

Os painéis analisados são elementos pré-fabricados com função estrutural, com dimensões indicadas na Tabela 33. Os painéis são formados por colunas verticais de garrafas plásticas cortadas e encaixadas, reforçadas com treliça de aço plana em seu perímetro e revestidas nas duas faces e laterais com argamassa, como mostram as Figuras 5.1 e 5.2.

Tabela 33 – Características dos painéis pré-fabricados com garrafas plásticas.

Número	Dimensão do Painel (cm)	Data de Fabricação	Data do Ensaio	Ensaio Realizado
01	14 x 65 x 265	21/11/2005	20/12/2005	Corpo Duro Corpo Mole
02	14 x 65 x 265	21/11/2005	20/12/2005	Corpo Duro Corpo Mole
03	14 x 65 x 265	21/11/2005	20/12/2005	Corpo Duro Corpo Mole
04	14 x 65 x 265	23/11/2005	22/12/2005	Compressão Vertical
05	14 x 65 x 265	23/11/2005	22/12/2005	Compressão Vertical
06	14 x 65 x 265	23/11/2005	22/12/2005	Compressão Vertical



Figura 5.1 : planta e elevação do painel de parede analisado.

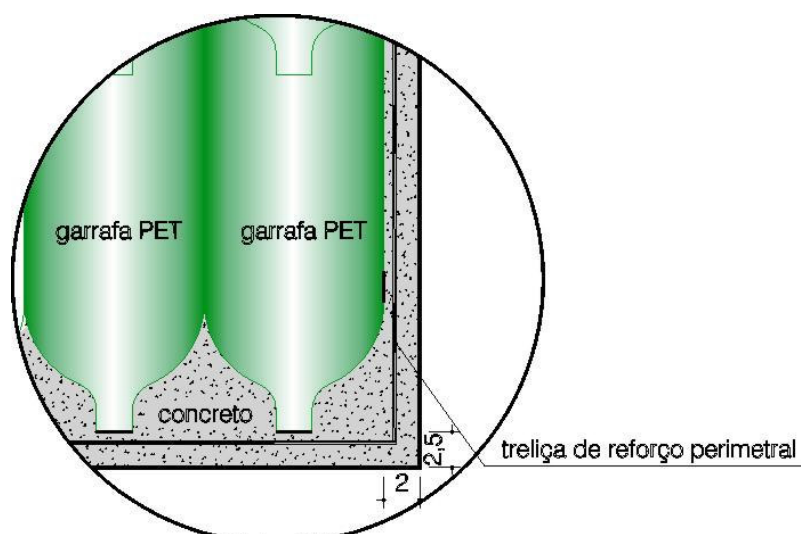


Figura 5.2 : detalhe do painel de parede.

Para a caracterização da resistência e comportamento em serviço foram fabricados 6 painéis com garrafas plásticas. Optou-se pelo número mínimo de três ensaios para cada requisito devido às dificuldades financeiras para a compra dos materiais e fabricação dos painéis. É importante salientar que, por tratar-se de uma inovação tecnológica que busca a certificação para a utilização na construção de unidades habitacionais para a população

de baixa renda, estes ensaios tem como objetivo realizar uma caracterização inicial deste sistema construtivo para verificar a viabilidade técnica e construtiva do mesmo. Entende-se que para obter a certificação definitiva é necessário realizar um maior número de ensaios, que se pretende realizar na seqüência dos trabalhos.

Os ensaios foram realizados no Laboratório de Experimentação em Estruturas LEE do Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina - USFC, sob coordenação do Professor Dr. Narbal Ataliba Marcelino, sendo eles: ensaios de impacto de corpo duro e corpo mole (paredes externas e internas); e ensaio de ruptura à compressão dos painéis em posição vertical.

Segundo a ABNT – Projeto de Norma nº02:136.01-001; 2004:

As paredes externas e internas, tanto com função estrutural como com função de vedação, devem resistir aos impactos de corpo mole e corpo duro que podem sofrer durante a vida útil do edifício. Os impactos correspondem a choques acidentais gerados pela própria utilização do edifício ou a choques provocados por tentativas de intrusões intencionais ou não. São considerados impactos gerados tanto no exterior como no interior do edifício.

A referida norma classifica as paredes como Paredes Externas ou Fachadas e Paredes Internas, exigindo critérios e níveis de desempenho diferenciados para cada uma. Como os painéis analisados neste trabalho são utilizados tanto nas fachadas quanto nas paredes internas, utilizou-se o mesmo ensaio para caracterizar os diferentes níveis de desempenho.

5.1 ENSAIOS DE IMPACTO DE CORPO DURO

O método de avaliação do ensaio de corpo duro consiste no arranjo de um suporte metálico que apóia o painel na posição vertical, e um dispositivo que possibilita o movimento pendular na esfera metálica de massa de 1kg para as alturas de 1,00m e de 2,00m por 10 vezes consecutivas, conforme indicado na Tabela 34 e Figuras 5.3 e 5.4. Após cada impacto são observados os danos causados na superfície do painel, conforme mostram as Figuras 5.5 e 5.6. Os danos foram classificados como *Falha* e *Transpassagem* ou *Ruptura*. Neste ensaio classificou-se *Falha* como a ocorrência de deslocamentos, afundamentos e fissuras na camada de reboco; e *Transpassagem* como a perfuração da camada do reboco.

Tabela 34 – Massa de corpo impactador, altura e energia de impacto.

Impactador	Massa “m” (Kg)	Altura “h” (metros)	Energia “E” (Joules)
Corpo Duro de grandes dimensões (esfera de aço) 10 impactos para cada energia	1	1,00	10
	1	2,00	20
Corpo Duro de pequenas dimensões (esfera de aço) 10 impactos para cada energia	0,5	0,50	2,5
	0,5	0,75	3,75

Fonte: ABNT - Projeto de Norma 02:136.010.004:2004. Tabela 11-Massa de corpo impactador, altura e energia de impacto.



Figura 5.3 : ensaio para impactos de corpo duro com esfera de 1kg.



Figura 5.4 : esfera de 1kg para os ensaios de impacto de corpo duro

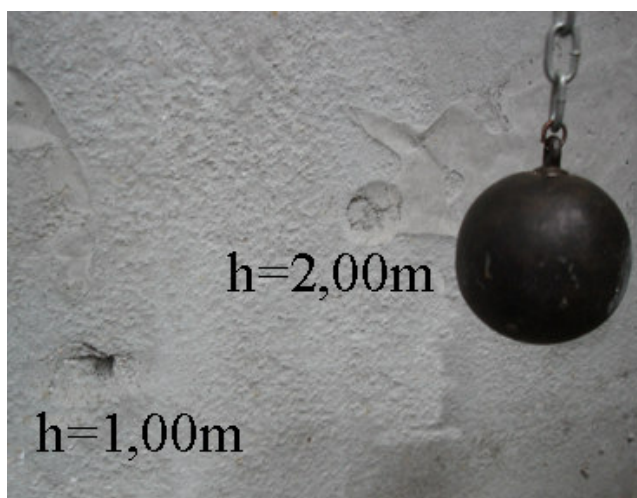


Figura 5.5 : falha no reboco ocasionada por repetição de impacto de corpo duro.

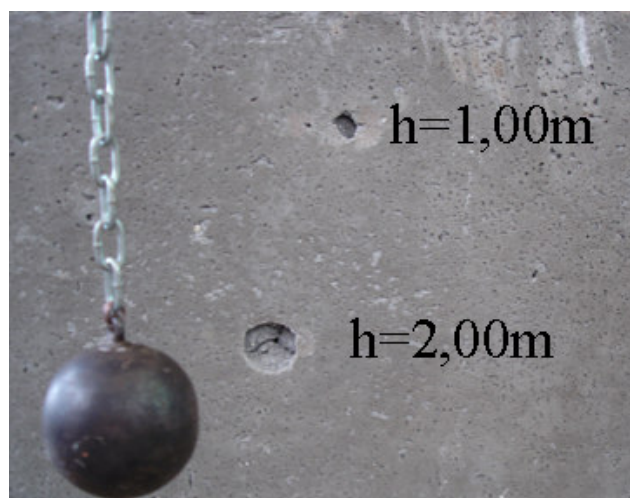


Figura 5.6 : transpassagem no reboco ocasionada por repetição de impacto de corpo duro.

5.1.1 Resultados dos ensaios de impacto de corpo duro

Os ensaios de Impacto de Corpo Duro foram realizados de acordo com os procedimentos para a verificação da resistência a impactos da NBR 11675, conforme Tabela 34; e os resultados foram comparados com os valores exigidos pela Tabela B.1, do anexo "B". Os resultados dos três ensaios estão dispostos a seguir nas Tabelas 35, 36 e 37.

Tabela 35 – Impacto de Corpo Duro - PAINEL 1.

Dimensões 14 x 65 x 265 cm com argamassa de revestimento / reboco de 2cm					
Altura (m)	Energia (Joules)	Número de Impactos	Afundamento (mm)	Ruína	Nível de Desempenho "M"
Impacto Interno					
1,00	10	7	1	-	I (Insuficiente)
1,00	10	8	3	Falha	
1,00	10	9	5	Falha	
Impacto Externo					
2,00	20	4	1	-	I (Insuficiente)
2,00	20	5	-	Transpassagem	

Tabela 36 – Impacto de Corpo Duro - PAINEL 2.

Dimensões 14 x 65 x 265 cm com argamassa de revestimento / reboco de 2cm					
Altura (m)	Energia (Joules)	Número de Impactos	Afundamento (mm)	Ruína	Nível de Desempenho "M"
Impacto Interno					
1,00	10	10	-	-	S (Superior)
Impacto Externo					
2,00	20	3	1	-	S (Superior)
2,00	20	5	2	Falha	
2,00	20	6	4	Falha	

Tabela 37 – Impacto de Corpo Duro - PAINEL 3.

Dimensões 14 x 65 x 265 cm com argamassa de revestimento / reboco de 2cm					
Altura (cm)	Energia (Joules)	Número de Impactos	Afundamento (mm)	Ruína	Nível de Desempenho "M"
Impacto Interno					
1,00	10	5	1	-	I (Insuficiente)
1,00	10	8	2	Falha	
1,00	10	10	4	Falha	
Impacto Externo					
2,00	20	4	1	-	S (Superior)
2,00	20	5	3	Falha	
2,00	20	6	5	Falha	

5.1.2 Análise dos resultados dos ensaios de impacto de corpo duro

O comportamento do painel 1 no ensaio de corpo duro apresentou resultado *Insatisfatório* pois não atingiu as exigências mínimas de desempenho tanto para impactos internos, quanto externos. O painel 2 apresentou desempenho *Superior* na classificação da Tabela B.1 do anexo “B”. O painel 3 apresentou desempenho *Insuficiente* para impactos internos e desempenho *Superior* para impactos externos. Estes dados demonstram certa irregularidade no desempenho do ensaio de corpo duro. Isto pode ser função da forma cilíndrica da garrafa, que produz um aumento da espessura da camada entre as colunas e conseqüente aumento da resistência ao impacto nesta seção. Os ensaios de corpo duro cujo impacto coincidiram com as seções de menor espessura de revestimento do painel apresentaram desempenho insuficiente. Faz-se necessário a realização de mais ensaios, com camadas de argamassa maiores ou a inclusão de uma tela nas faces do painel para satisfazer os critérios de desempenho requeridos.

5.2 ENSAIOS DE IMPACTO DE CORPO MOLE

O método de avaliação do ensaio de corpo mole consiste no arranjo de um suporte metálico que apóia o painel na posição vertical, e um dispositivo que possibilita o movimento pendular da massa de corpo mole de 40kgf para as diferentes alturas indicadas na Tabela 38 e Figura 5.7. Para cada altura é realizado somente 1 impacto. Na parte posterior do painel deve ser fixado um conjunto de medição contendo uma placa e um marcador que registra os *Deslocamentos Horizontais* (Dh) e os *Deslocamentos Horizontais Residuais* (Dhr) do painel a cada impacto, conforme mostra a Figura 5.8. Após cada impacto são observados os danos causados na superfície do painel, conforme ilustram as Figuras 5.9 e 5.10. Os danos foram classificados como *Falha* e *Ruína*. Neste ensaio classificou-se *Falha* como a ocorrência fissuras no reboco, e *Ruína* como o estado limite último, seja por ruptura, perda de estabilidade ou deformação excessiva.

Tabela 38 – Massa de corpo impactador, altura e energia de impacto.

Impactador	Massa “m” (Kg)	Altura “h” (metros)	Energia “E” (Joules)
Corpo Mole de acordo Com a NBR 11675/90 1 impacto para cada energia	40	0,30	120
	40	0,45	180
	40	0,60	240
	40	0,90	360
	40	1,20	480
	40	1,80	720
	40	2,40	960

Fonte: ABNT - Projeto de Norma 02:136.010.004:2004. Tabela 8- Massa de corpo impactador, altura e energia de impacto.



Figura 5.7 : arranjo do ensaio para impactos de corpo mole com saco de areia de 40kg.



Figura 5.8 : dispositivo de registro de deslocamentos horizontais na face oposta do painel.



Figura 5.9 : ruína do painel devido à deformação excessiva.



Figura 5.10 : medição do deslocamento horizontal residual (Dhr) na face posterior do painel.

5.2.1 Resultados dos ensaios de impacto de corpo mole

Os ensaios de Impacto de Corpo Mole foram realizados de acordo com os procedimentos para a verificação da resistência a impactos da NBR 11675, conforme Tabela 38; e os resultados foram comparados com os valores exigidos pela Tabela B.2 e Tabela B.3 do anexo "B". Os resultados dos três ensaios estão dispostos a seguir nas Tabelas 39, 40 e 41.

Tabela 39 – Impacto de Corpo Mole - PAINEL 1.

Dimensões 14 x 65 x 265 cm com argamassa de revestimento / reboco de 2cm									
Altura (cm)	Energia (Joules)	Deslocamento Dh (mm)	Deslocamento Residual Dhr (mm)	Fissura (mm)	Abertura (mm)	Ruína	Nível de Desempenho "M"		
							Paredes Externas*		Paredes Internas**
							Impacto Interno	Impacto Externo	
30	120	0	0	-	-	-	M	S	M
45	180	5	0	-	-	-	M	S	M
60	240	6	0	-	-	-	M	S	M
90	360	8	0	-	-	-	M	S	M
120	480	10	0	sim	0,2	Falha	-	M	-
180	720	11	0	sim	0,4	Ruína	-	I	-

Nota: * Paredes Externas – Tabela B.2 – anexo "B"

** Paredes Internas – Tabela B.3 – anexo "B"

Tabela 40 – Impacto de Corpo Mole - PAINEL 2.

Dimensões 14 x 65 x 265 cm com argamassa de revestimento / reboco de 2cm									
Altura (cm)	Energia (Joules)	Deslocamento Dh (mm)	Deslocamento Residual Dhr (mm)	Fissura (mm)	Abertura (mm)	Ruína	Nível de Desempenho "M"		
							Paredes Externas		Paredes Internas
							Impacto Interno	Impacto Externo	
30	120	4	0	-	-	-	M	S	M
45	180	5	0	-	-	-	M	S	M
60	240	8	0	-	-	-	M	S	M
90	360	10	0	-	-	-	M	S	M
120	480	23	0	sim	0,2	Falha	-	M	-
180	720	26	0	sim	0,3	Falha	-	S	-

Tabela 41 – Impacto de Corpo Mole - PAINEL 3.

Dimensões 14 x 65 x 265 cm com argamassa de revestimento / reboco de 2cm									
Altura (cm)	Energia (Joules)	Deslocamento Dh (mm)	Deslocamento Residual Dhr (mm)	Fissura (mm)	Abertura (mm)	Ruína	Nível de Desempenho "M"		
							Paredes Externas		Paredes Internas
							Impacto Interno	Impacto Externo	
30	120	6	0	-	-	-	M	S	M
45	180	9	0	-	-	-	M	S	M
60	240	10	0	-	-	-	M	S	M
90	360	15	3	sim	0,2	Falha	M	M	M
120	480	17	5	sim	0,3	Falha	-	M	-
180	720	25	9	sim	0,5	Falha	-	S	-

5.2.2 Análise dos resultados dos ensaios de impacto de corpo mole

Os painéis apresentaram resultados *Satisfatórios* para os impactos de corpo mole, tanto para as fachadas quanto para as paredes internas, com exceção do painel 1 no impacto de 720J. Faz-se necessário um número maior de ensaios para a verificação deste desempenho. As demais falhas ocorridas nos painéis estão dentro dos requisitos estabelecidos pelo referido projeto de norma.

5.3 ENSAIO DE COMPRESSÃO VERTICAL ATÉ A RUPTURA

O arranjo do ensaio consiste em um pórtico que possui um dispositivo para a aplicação de carga no topo do painel, posicionado na vertical. O sistema hidráulico aplica a força a uma viga rígida que comprime uniformemente o painel. Uma célula de carga posicionada entre o cilindro hidráulico e a viga registra o valor da carga aplicada sobre o painel de parede ensaiado. Estes valores são obtidos por um sistema de aquisição de dados *Spider 8 600Hz* e pelo software *Catman* que gerencia a aquisição destes dados. Este procedimento busca avaliar o desempenho estrutural do painel de parede na posição de serviço, conforme demonstram as Figuras 5.11 até 5.16.



Figura 5.11 : painel posicionado no pórtico de ensaios e sistema de aquisição de dados.

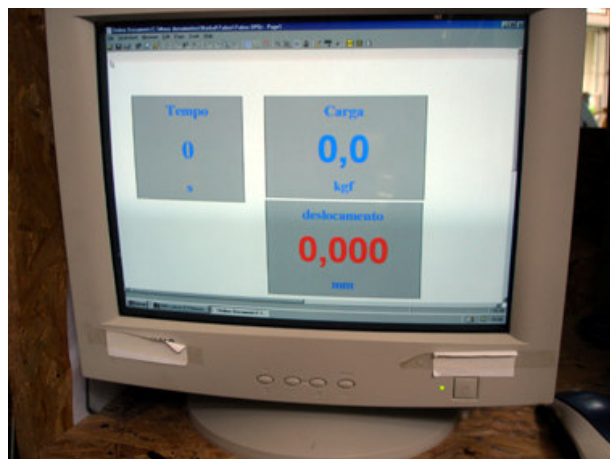


Figura 5.12 : sistema de aquisição de dados.



Figura 5.13 : início das fissuras no painel.

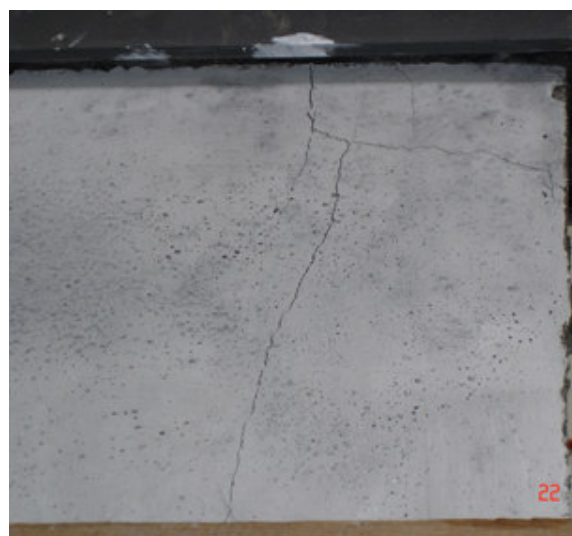


Figura 5.14 : fissuras no revestimento do painel.



Figura 5.15 : fissuras graduais no painel.



Figura 5.16 : ruptura da camada de 20mm de argamassa do painel.

5.3.1 Resultados dos ensaios de compressão dos painéis em posição vertical

Tabela 42 – Ensaio de compressão dos painéis em posição vertical até a ruptura.

Dimensões 14 x 65 x 265 cm com argamassa de revestimento / reboco de 2cm						
Painel	Moldagem	Ensaio	Idade (dias)	Carga da 1ª fissura (kN)	Carga de Ruptura (kN)	Tensão Máxima (Mpa)
4	23/11/2005	22/12/2005	29	99,572	161,035	1.77
5	23/11/2005	22/12/2005	29	91,623	103,263	1.13
6	23/11/2005	22/12/2005	29	65,000	90,640	1.00

5.3.2 Análise dos resultados dos ensaios de compressão vertical até a ruptura.

Os painéis ensaiados na posição vertical com carga aplicada no topo, mostram que a moldura de argamassa e a treliça metálica perimetral conferiram ductilidade ao conjunto, sendo possível observar uma evolução gradual da fissuração antes da ruptura. Analisando as Figuras 5.13, 5.14 e 5.15, verifica-se que as fissuras concentraram-se nas superfícies de argamassa que revestem as garrafas plásticas. A camada de revestimento de 20mm de argamassa descolou-se das garrafas, mantendo-as intactas, possibilitando a reutilização das mesmas na fabricação de um novo painel, conforme mostra a Figura 5.16. Verifica-se que a borda do painel, composta pela treliça metálica revestida com argamassa, manteve-se intacta, não apresentando deformações que comprometessem a função estrutural do painel de parede.

Este comportamento do painel permite avaliar que, numa situação extrema de sobrecarga na estrutura de uma edificação composta por este sistema construtivo, é possível verificar progressivamente a evolução das fissuras e retirar com segurança os usuários da edificação.

5.3.3 Comparação do Painel PET x Painel Dominó quanto ao ensaio de compressão até a ruptura.

Com o intuito de demonstrar a viabilidade técnica do sistema construtivo proposto, foram comparados os valores obtidos do painel Pet com o sistema construtivo Casas Industrializadas Dominó que passaram pelos mesmos ensaios de caracterização tecnológica.

O sistema construtivo Dominó consiste na utilização de painéis pré-fabricados com dimensões de 10x115x265cm, constituídos por blocos cerâmicos de 6 furos justapostos com os furos na vertical; envoltos por uma moldura de concreto em seu perímetro; e

revestidos nas duas faces com uma camada de argamassa de 1cm de cimento, cal e areia, conforme mostram as Figuras 5.17 e 5.18. Este sistema está voltado para a construção de casas térreas feitas com painéis pré-fabricados de alvenaria com blocos cerâmicos. Os painéis verticais formam as paredes da edificação e apresentam capacidade de receber as cargas da cobertura.

Os ensaios também foram realizados no Laboratório de Experimentação em Estruturas do Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina-UFSC, sob coordenação do professor Dr. Narbal Ataliba Marcellino, conforme ilustram as Figuras 5.19 e 5.20. O conjunto de ensaios e análises desenvolvidos permitiu concluir que o sistema construtivo Dominó foi tecnicamente aprovado, cumprindo as exigências normativas nacionais para todas as zonas bioclimáticas, e válido para sua construção em todas as regiões brasileiras, conforme mostra a Tabela 43.

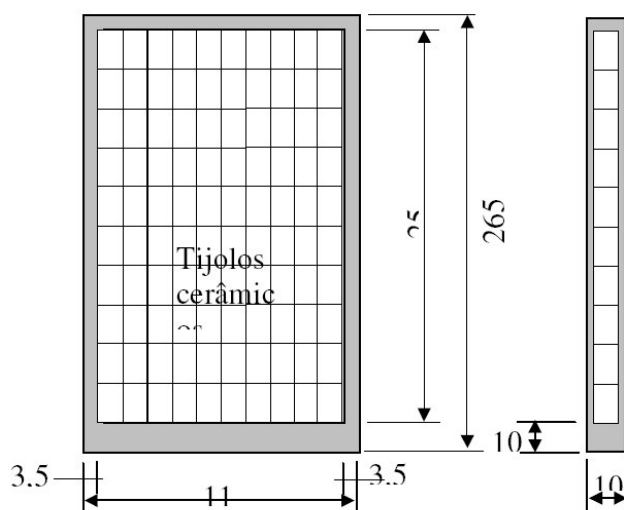


Figura 5. 17 : Elevação e corte do painel de alvenaria.

Fonte: Casas Industrializadas Dominó – Parte 2.



Figura 5. 18 : Ensaio do painel 8 na posição vertical.

Fonte: Casas Industrializadas Dominó – Parte 2.



Figura 5.19 : Desprendimento do reboco na parte superior do painel 8.
Fonte: Casas Industrializadas Dominó – Parte 2.



Figura 5.20 : Ruptura do painel 8.
Fonte: Casas Industrializadas Dominó – Parte 2.

Tabela 43 – Resultados do ensaio de compressão dos painéis Dominó.

Dimensões 10 x 115 x 265 cm com argamassa de revestimento / reboco de 0,5cm					
Painel	Moldagem	Ensaio	Idade (dias)	Carga de Ruptura (kN)	Tensão Máxima (Mpa)
4	12/05/2003	25/07/2003	73	115,4	1,00
5	12/05/2003	06/08/2003	84	135,3	1,18
8	13/05/2003	07/08/2003	84	173,5	1,58

Fonte: Casas Industrializadas Dominó - Caracterização Tecnológica do Sistema Construtivo – Parte 1 e Parte 2.

Na Tabela 44 são comparados os resultados dos ensaios de compressão até a ruptura dos sistemas construtivos Casa Pet e Casas Dominó.

Tabela 44 – Comparação dos resultados do ensaio de compressão até a ruptura dos sistemas construtivos Casa Pet e Casas Dominó.

Painel Pet				Painel Dominó			
Painel	Idade (dias)	Carga de Ruptura (kN)	Tensão Máxima (Mpa)	Painel	Idade (dias)	Carga de Ruptura (kN)	Tensão Máxima (Mpa)
4	29	161,035	1.77	4	73	115,4	1,00
5	29	103,263	1.13	5	84	135,3	1,18
6	29	90,640	1.00	8	84	173,5	1,58

Analisando a Tabela 44 é possível verificar que estes resultados podem ser considerados como indicativos de desempenho estrutural satisfatório dos painéis Pet, pois os valores mostram tensão e capacidade portante similares ao Sistema Dominó, adotado como referência.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

6.1 CONCLUSÃO GERAL

Os métodos de trabalho adotados possibilitaram o desenvolvimento de um sistema construtivo, que aplicou a coordenação dimensional em painéis pré-fabricados com garrafas plásticas como ferramenta para o projeto de uma habitação térrea. As análises de funcionalidade da unidade habitacional possibilitaram melhorias na distribuição dos compartimentos com espaços multifuncionais e adequação na inserção de equipamentos, conduzindo a uma otimização dos espaços internos e das suas condições de uso. A modulação dos painéis aplicados no projeto buscou a racionalização dos processos de produção, simplificando a fabricação dos elementos e facilitando sua montagem na obra. No desenvolvimento do projeto buscou-se uma configuração que aportasse flexibilidade compositiva, com possibilidades de modificações e ampliações da unidade de habitação.

A reutilização de garrafas plásticas como subproduto para a pré-fabricação de elementos construtivos mostrou-se adequada na substituição aos materiais convencionais de vedação, reduzindo os desperdícios e ociosidades, incentivando a coleta seletiva de resíduos, e incrementando a sustentabilidade da edificação. O uso das garrafas conduziu a uma redução de peso dos painéis e melhoria do seu desempenho térmico. O sistema construtivo possibilitou a satisfação das exigências normativas de desempenho térmico para a região de Florianópolis, apresentando flexibilidade de fabricação dos painéis de modo a adequar-se a outras regiões do país.

O desempenho estrutural dos painéis ensaiados mostrou-se tecnicamente adequado para a construção de uma habitação térrea, exigindo no entanto, uma melhoria no revestimento externo do painel para satisfazer aos requisitos e critérios de impacto de corpo duro.

Os resultados deste trabalho demonstraram a viabilidade técnica do sistema construtivo proposto; a flexibilidade dos processos projetuais e de produção; e sua adequação ambiental para a construção de habitações de interesse social na região em estudo.

6.2 CONCLUSÕES ESPECÍFICAS

As conclusões a seguir são decorrentes da análise dos resultados com relação aos objetivos específicos propostos no desenvolvimento deste trabalho.

6.2.1 Quanto ao conceito aplicado no projeto

A concepção do projeto *Casa Pet* buscou colaborar para a solução de dois problemas: o déficit habitacional brasileiro e a reciclagem de resíduos sólidos urbanos através do reaproveitamento das garrafas plásticas. Como primeira solução, adotou-se um processo de pré-fabricação de painéis que podem ser desenvolvidos na indústria ou no próprio canteiro de obras através de um projeto racionalizado, com flexibilidade compositiva suficiente para atender as demandas atuais e futuras dos usuários. A leveza e a rigidez dos painéis pré-fabricados facilitam a fabricação, o transporte e a montagem das habitações. A incorporação das garrafas plásticas no seu interior, melhora o desempenho térmico, diminui o peso, e confere maior espessura da parede e rigidez ao conjunto. As técnicas de pré-fabricação são utilizadas de modo a aumentar a produtividade na fábrica ou até mesmo no canteiro de obra, gerando mão-de-obra treinada e reduzindo custos e desperdícios na construção.

O projeto embrião proposto buscou satisfazer as necessidades iniciais dos usuários e prever, de forma racionalizada, as possíveis ampliações que atendam as necessidades básicas e acompanhem o crescimento e desenvolvimento social dos usuários.

6.2.2 Quanto à funcionalidade da habitação proposta

O método de análise adotado possibilitou demonstrar a adequação da funcionalidade do projeto proposto, servindo inclusive como ferramenta para a inserção de melhorias no desenvolvimento do projeto, tais como, adição de equipamentos, compartimentação e otimização dos espaços. Esta análise fornece ao projetista informações relevantes para o desenvolvimento de projetos, reduzindo as possíveis falhas que na maioria das vezes são verificadas somente em análises pós-ocupacionais. Além disso, é possível realizar análises comparativas entre projetos e destacar as vantagens e desvantagens de cada proposta, facilitando as opções e definições para cada compartimento da habitação. A aplicação deste método em projetos habitacionais é de suma importância uma vez que estas edificações necessitam otimizar o uso do espaço devido às suas dimensões reduzidas, facilitando a aceitação e uma maior satisfação por parte dos usuários.

6.2.3 Quanto à modulação

A partir dos conceitos estudados são destacados os seguintes benefícios que podem ser obtidos pelo uso da coordenação dimensional e modular no projeto de habitação de interesse social:

- É possível padronizar as dimensões dos painéis de parede ainda que as garrafas plásticas não possuam as dimensões modulares;
- Permite padronizar esquadrias e gerar flexibilidade na colocação das mesmas em diferentes pontos;
- Facilita a ampliação dos espaços seguindo a evolução das necessidades e condições financeiras dos usuários;
- Permite utilizar linhas de montagem facilitando o planejamento e evitando re-trabalhos;
- Torna mais rápida a construção, reduzindo o tempo de mão-de-obra e conseqüentemente os custos finais.

6.2.4 Quanto ao desempenho higrotérmico

Após a realização dos cálculos de desempenho térmico baseado nas normas brasileiras foi possível verificar que o sistema construtivo com painéis pré-fabricados com garrafas plásticas recicladas atende as exigências normativas.

Quanto ao painel de parede, é possível concluir que o único parâmetro que não alcançou as exigências mínimas da norma foi o fator de calor solar. A coloração natural da argamassa do elemento que compõe o sistema construtivo fez com que o coeficiente do fator solar fosse superior aos valores estabelecidos pela norma. Deste modo pode-se recomendar que as vedações recebam um revestimento externo ou uma pintura com tonalidades claras, conduzindo também a uma redução das temperaturas superficiais e redução na transferência de calor através da parede.

Quanto ao painel de cobertura, verificou-se necessária a utilização de barreira radiante no interior do painel para que este atinja os critérios exigidos. É importante salientar que nesta análise do desempenho térmico do painel de cobertura não foi considerada a existência de cobertura com madeiramento e telhas cerâmicas. Estes cálculos foram mostrados na seqüência onde foi possível verificar que a combinação da laje plana com garrafas plásticas e o telhamento cerâmico proporcionaram um desempenho térmico satisfatório uma vez que atende a todas as exigências normativas brasileiras.

Quanto ao desempenho global da edificação verificou-se que a habitação proposta

não satisfaz a norma espanhola uma vez que o valor da transmitância térmica global da edificação U_G encontrado ultrapassou o valor máximo permitido para a zona climática da Espanha correspondente à região similar à cidade de Florianópolis. Para que este critério também seja atendido pela norma espanhola faz-se necessário diminuir a transmitância térmica das partes que formam a envolvente, seja dos painéis como das esquadrias. Outro ponto importante é salientar que a norma brasileira NBR 15220, recém aprovada, não apresenta qualquer indicação de cálculos e exigências para o desempenho global da edificação, considerando somente as vedações como elementos separados que não agem em conjunto com o todo da edificação.

Quanto ao desempenho higro-térmico verificou-se que o painel de vedação vertical não apresenta risco de condensação superficial e intersticial uma vez que as temperaturas dentro das camadas da vedação não foram iguais ou inferiores às temperaturas de condensação estabelecidas pela norma espanhola.

6.2.5 Quanto à fabricação, transporte e montagem dos painéis

As soluções de projeto propostas para a fabricação do painel pré-fabricado com garrafas plásticas foram aplicadas durante a execução do mesmo sem sofrer quaisquer alterações. Os moldes de madeira utilizados apresentaram desempenho satisfatório pela manutenção de suas dimensões e formas durante a fabricação e desmolde dos painéis. Para a produção em escala destes painéis sugere-se que sejam utilizados moldes metálicos uma vez que se sabe que a madeira tem a tendência de sofrer deformações permanentes com seu uso prolongado.

A limpeza, corte e encaixe das garrafas exige um tempo maior de trabalho uma vez que as garrafas são cortadas e encaixadas individualmente. Sugere-se que para a fabricação em escala destes painéis seja utilizado o sistema de trabalho seqüencial, onde cada grupo de pessoas executa um único tipo de ação. A inserção de algum equipamento que corte a base das garrafas e mantenha o padrão das dimensões das mesmas é de fundamental importância uma vez que torna o trabalho ágil e preciso. A inclusão de formas que mantenham o padrão dimensional durante o encaixe e amarração das colunas de garrafas também padroniza e evita diferenças que possam prejudicar e atrasar a fabricação final dos painéis.

As treliças metálicas podem ser fabricadas na obra ou industrializadas, sendo que se sugere a utilização desta última pois o padrão dimensional, a facilidade e a rapidez de montagem são fatores que otimizam e mantêm o padrão industrial que se pretende dar a este sistema construtivo que aparenta ser simples mas que utiliza conceitos de alta

tecnologia, como pré-fabricação, linhas de montagem, coordenação modular e dimensional.

A fabricação do painel demonstrou-se rápida e fácil, uma vez que a seqüência de montagem inicia com a fixação das armaduras no molde e seus devidos espaçadores; preenchimento do fundo do molde com 20mm de argamassa; encaixe das colunas de garrafas devidamente amarradas e com as dimensões projetadas; e finalmente o preenchimento das laterais e parte superior do painel com argamassa. Após a cura de 48 horas o desmolde é feito de forma fácil e rápida uma vez que foi aplicado um produto desmoldante que evita o contato direto da argamassa com a madeira da fôrma.

Concluiu-se que, substituindo a alvenaria convencional pelo painel PET, é possível reduzir em aproximadamente 25% o peso total das vedações verticais na edificação. O transporte do painel pode ser feito manualmente por quatro ou seis pessoas, dependendo do peso do painel, ou, preferencialmente, com um caminhão com guindaste móvel. O painel pode ser armazenado tanto na posição vertical ou na lateral com ângulo de inclinação de aproximadamente 75 °. Os painéis devem permanecer armazenados por quatorze dias para adquirir uma resistência mecânica mais elevada, antes de iniciar-se o processo de montagem da edificação.

O posicionamento e fixação dos painéis exigem controle de qualidade uma vez que cada painel tem o seu exato lugar na habitação. Depois de posicionados, colocados no prumo e devidamente escorados, os painéis recebem no topo uma tela metálica que é aparafusada e unifica a estrutura, garantindo a rigidez estrutural final ao conjunto.

6.2.6 Quanto ao desempenho estrutural

Os resultados da análise estrutural demonstraram uma adequação do sistema construtivo para a construção de uma edificação térrea em função da sua capacidade portante e da resistência satisfatória do impacto de corpo mole. Os ensaios de impacto de corpo duro indicam a necessidade de melhorar o desempenho dos revestimentos do painel. Os resultados destes ensaios são ilustrativos em função do número reduzido de painéis ensaiados, sendo necessária a correção das imprecisões verificadas e um número maior de amostras ensaiadas com um posterior tratamento estatístico.

A partir dos resultados superiores das resistências estruturais do painel auto-portante analisado é possível sugerir que sejam realizados novos ensaios e pesquisas para verificar a possibilidade de construção de habitações com dois ou três pavimentos utilizando o mesmo sistema construtivo, apresentando devidamente todo o detalhamento necessário para o desenvolvimento de tal pesquisa.

6.3 SUGESTÕES E RECOMENDAÇÕES

Sugestões para a melhoria dos processos e produtos:

- Melhorar o revestimento externo do painel de vedação com relação aos requisitos de desempenho no ensaio de impacto de corpo duro;
- Detalhar o projeto dos painéis de esquadrias, desenvolver protótipos e realizar ensaios.
- Realizar ensaios de Estanqueidade e Arrancamento, conforme o Projeto de Norma Brasileira de Desempenho de Edifícios Habitacionais de até 5 pavimentos;
- Realizar ensaios de Tempo Requerido de Resistência ao Fogo – TRRF – segundo normas específicas;
- Detalhar o projeto de fabricação de lajes utilizando o sistema construtivo com argamassa e garrafas plásticas;
- Construir Protótipo de Habitação para a verificação da adequação dos processos de fabricação e montagem dos elementos construtivos, e avaliação do desempenho térmico da edificação;
- Elaboração de material bibliográfico na forma de cartilhas a fim de caracterizar os processos construtivos e facilitar o treinamento de mão-de-obra, visando geração de trabalho qualificado, e autonomia na geração de renda;
- Realizar análise comparativa dos custos do Painel PET e da alvenaria convencional;
- Realizar análise da viabilidade econômica do sistema construtivo proposto.

REFERÊNCIAS

ABIKO, Alex Kenya. O papel do Estado na habitação. **Revista Habitare** - Ano 1, Agosto, 2001. Disponível em: < <http://www.habitare.org.br> >. Acesso em: 25 junho 2004.

ABIPET - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DO PET. **Classificação do PET**. Disponível em: < <http://www.abipet.com.br> >. Acesso em: 01 abril 2006.

AGENDA HABITAT. Original em: United Nations. Habitat Agenda and Istanbul Declaration. 1996. Disponível em: < http://www.unhabitat.org/declarations/habitat_agenda.htm >. Acesso em: 25 junho 2004.

ANDRADE, Max; ROMERO, Marta Adriana Bustos. **Coordenação dimensional como ferramenta para a qualidade em projetos de habitação popular**. In: Seminário Internacional NUTAU : Tecnologia e Desenvolvimento. São Paulo, 2000. Artigo técnico

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 10.004** : - Resíduos sólidos - Classificação. Rio de Janeiro. Revisada em Maio 2004.

____ABNT. **NBR 10.006** : Procedimento para obtenção de extrato solubilizado de resíduos sólidos. Rio de Janeiro. Revisada em Maio 2004.

____ABNT. **NBR 10.007** : Amostragem de resíduos sólidos. Rio de Janeiro. Revisada em Maio 2004.

____ABNT. **NBR 13230** : Simbologia indicativa de reciclabilidade e identificação de materiais plásticos. Rio de Janeiro, Novembro 1994.

____ABNT. **NBR 5706** : Coordenação Modular da construção: procedimento. Rio de Janeiro, Dezembro 1977.

____ABNT. **NBR 11675** : Divisórias leves internas moduladas – Verificação da resistência a impactos. Rio de Janeiro, Setembro 1990.

____ABNT. **NBR15220** : Desempenho Térmico de Edificações - Parte 1: Definições, símbolos e unidades. Rio de Janeiro, Abril 2005.

____ABNT. **NBR15220** : Desempenho Térmico de Edificações - Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações. Rio de Janeiro, Abril 2005.

____ABNT. **NBR15220** : Desempenho Térmico de Edificações - Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro, Abril 2005.

____ABNT. **Projeto 02:136.01.001** : Desempenho de Edifícios Habitacionais de até 5 pavimentos – Parte 1: Requisitos gerais. Rio de Janeiro, Julho 2004.

____ABNT. **Projeto 02:136.01.002** : Desempenho de Edifícios Habitacionais de até 5 pavimentos – Parte 2: Estrutura. Rio de Janeiro, Julho 2004.

____ABNT. **Projeto 02:136.01.004** : Desempenho de Edifícios Habitacionais de até 5 pavimentos – Parte 4: Fachadas e paredes internas. Rio de Janeiro, Julho 2004.

BALDAUF, Alexandra S.F. **Contribuição à implementação da coordenação modular na construção no Brasil**. 2004. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul-UFRGS, Porto Alegre, 2004.

BARROS, Mércia Maria Bottura de. **O desafio da implantação de inovações tecnológicas no sistema produtivo das empresas construtoras**. In: Seminário Tecnologia e Gestão na Produção de Edifícios: vedações verticais. São Paulo, 1998. p. 249-286. Artigo técnico.

BARTH, Fernando. & SILVEIRA, Wilson J.C. **Arquitetura + Indústria**. Disciplina Optativa Tecnologia V. Exposição de trabalhos no Laboratório de Documentação e Acervo, n.p. – Departamento de Arquitetura e Urbanismo – UFSC. 2002 .

BARTH, F.,SILVEIRA, W. **Industrialização da construção – Apostila Tecnologia V**. n.p. Departamento de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Santa Catarina-USFC, Florianópolis, 2003.

BAXTER, Mike. **Projeto de produto**. Guia Prático para o design de novos produtos. 2 ed. São Paulo: Edgard Blücher Ltda, 2000.

BONDUKI, Nabil Georges. **Origens da habitação social no Brasil**. Arquitetura moderna, Lei do Inquilinato e difusão da casa própria. São Paulo: Estação Liberdade: FAPESP, 1998.

BRASILTEC 2005 - 4o Salão de Inovação Tecnológica. **Painéis pré-fabricados de argamassa e garrafas plásticas para habitação de interesse social**. Dr. Fernando Barth / Arq. Thaís Lohmann Provenzano. São Paulo, 2005. Participação em evento.

BRUNA, Paulo. J.V. **Arquitetura, industrialização e desenvolvimento**. São Paulo: Perspectiva/EDUSP, 1976.

CAIXA - Caderno De Orientações De Empreendimento - Orientação de Engenharia Para Apresentação de Empreendimentos Habitacionais. Caixa Econômica Federal, 2000.

CANO, Wilson. **Raízes da Concentração Industrial em São Paulo**. São Paulo: Difel, 1979.

CASAS INDUSTRIALIZADAS DOMINÓ : Caracterização Tecnológica do Sistema Construtivo – Parte 1 - Relatório Técnico LSC 008/2003 – Dr. Fernando Barth / Reginaldo Martins. Departamento de Arquitetura e Urbanismo – Centro Tecnológico – Universidade Federal de Santa Catarina-UFSC. Florianópolis, 2003.

CASAS INDUSTRIALIZADAS DOMINÓ : Análise do Comportamento Estrutural de Componentes – Parte 2 - Relatório Técnico LEE 001/2003 – Dr. Narbal Ataliba Marcelino / Dr. Fernando Barth. Departamento de Engenharia Civil – Centro Tecnológico – Universidade Federal de Santa Catarina-UFSC. Florianópolis, 2003.

CEMPRE - Compromisso Empresarial para Reciclagem. **Reciclagem de PET**. Disponível em: < <http://www.cempre.org.br> >. Acesso em: 20 dezembro 2005.

CESAR, C.G.; PARIZOTTO FILHO, S.; CARDOSO, A.P.; ROMAN, H.R.; BARTH, F. **Desenvolvimento de um processo construtivo em painéis pré-fabricados com blocos cerâmicos**. In: Conferência latino-americana de construção sustentável e encontro nacional de tecnologia do ambiente construído. São Paulo: USP, 2004.

CHEHEBE, José Ribamar B. **Análise do ciclo de vida de produtos. Ferramenta gerencial da ISO 14000**. Rio de Janeiro: Qualitymark CNI, 1997. 1ª Reimpressão 2002. Rio de Janeiro, 2002.

CIB – *Conseil International du Bâtiment*. **Performance concept and its terminology**. Rotterdam, 1975. (Report nº 32).

_____. **Agenda 21 para a construção sustentável**. Tradução de I. Gonçalves, T. Whitaker. Ed. de G. Weinstock, D.M. Weinstock. – São Paulo: s.n.,2000.

COMPAM - Comércio de Papéis e Aparas Mooca Ltda. Disponível em: < <http://www.compam.com.br> >. Acesso em: 25 maio 2006.

CORDEIRO, Adriana S. **Concepção e linguagem projetual de habitações autoconstruídas em Florianópolis/SC - Um estudo na Barra do Sambaqui**. 2005. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo-PósARQ, Universidade Federal de Santa Catarina-UFSC, Florianópolis, 2005.

COSTA FILHO, A.; BONIN, L.C; SATTLER, M.A. **Tecnologias sustentáveis em habitações destinadas à população de baixa renda**. Salvador, BA. 2000. v.1 p.196-203 il.. In: VIII ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO - ENTAC, Salvador, 2000. Artigo técnico.

DEL PRETTE, Lucas; ZANIN, Maria **Aplicação de princípios de sustentabilidade na pesquisa sobre reciclagem de materiais**. In: III ENCONTRO NACIONAL SOBRE EDIFICAÇÕES E COMUNIDADES SUSTENTÁVEIS - ENECS, São Carlos, 2003.

DE OLIVEIRA, Maria Carolina G. **Os Fatores Determinantes da Satisfação Pós-Ocupacional de Usuários de Ambientes Residenciais**. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina / PPGE, 1998.

DUEÑAS PEÑA, Monserrat. **Método para elaboração de projeto para produção de vedações verticais em alvenaria** / Monserrat Dueñas Peña, Luiz Sérgio Franco. -- São Paulo: EPUSP, 2004. 16 p. – (Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, Departamento de Engenharia de Construção Civil ; BT/PCC/363)

ELLIOTT, Kim S. **Multi-storey precast concrete framed structures**. Blackwell Science: Oxford, UK, 1997.

- FARAH, Marta F. S. **Formas de racionalização no processo de produção na indústria da construção.** Construção, Rio de Janeiro, n. 307, p. 27-30, março. 1992.
- FARAH, M.F.S. **Processo de trabalho na construção habitacional.** São Paulo: Annablume, 1996. p.1-308.
- FERNANDES, Marlene. **Agenda Habitat para Municípios.** Rio de Janeiro: IBAM, 2003.
- FERREIRA, C. Frederico. **Conjunto Residencial operário em Realengo** – Instituto dos Industriários. In: Revista Municipal de Engenharia, 2 vol. VII, março. 1940.
- FOLZ, Rosana Rita. **Mobiliário na habitação popular – discussões de alternativas para melhoria da habitabilidade.** São Carlos: RiMa, 2003.
- FRANCO, Luiz Sérgio. **Aplicação de diretrizes de racionalização construtiva para a evolução tecnológica dos processos construtivos em alvenaria estrutural não armada.** Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia de Construção Civil, São Paulo, 1992.
- FRANCO, L.S. **O projeto de vedações verticais: características e a importância para a racionalização do processo de produção.** In: I SEMINÁRIO TECNOLOGIA E GESTÃO NA PRODUÇÃO DE EDIFÍCIOS: Vedações Verticais, São Paulo, 1998. Anais. EPEUSP/PCC, 1998. p221-236.
- FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO. **Centro de Estatística e Informações. Déficit habitacional no Brasil.** 2. ed. - Belo Horizonte, 2005.
- GHAB. **Recomendações e alternativas para novos projetos de habitação popular a partir da avaliação das interações entre usuários e moradia.** Florianópolis: UFSC/FINEP, 1999.
- GONZALEZ, Josep M. **Arquitectura e Industria. Vivienda: Nuevas ideas urbanas. Quaderns d'arquitectura i urbanisme.** Barcelona: Editora Font i Prat Associats, 1996.
- GUEDES, Milber Fernandes. **Caderno de Encargos.** 4 ed. São Paulo: PINI, 2004.
- HALFED, Frederico B.; ROSSI, Angela M.G. **A Sustentabilidade aplicada a projetos de moradias através do conceito de habitabilidade.** In: NÚCLEO DE PESQUISA EM TECNOLOGIA DA ARQUITETURA E URBANISMO – NUTAU 2002, São Paulo, 2002.
- HANDLER, A. B. **Systems Approach to Architecture.** New York: American Elsevier Pub Comp Inc, 1970.
- HOLTHAUSEN, Carlos. **Desenvolvimento sustentável.** Florianópolis: Cuca Fresca, 2002.
- JOHN, V. M. **Novas tecnologias para a construção habitacional.** In: II SIMPÓSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO DA UNESP. Bauru, 1995. Anais. Bauru, 1995. p.108-113
- JOHN, V. M.; SATO, N. M. N.; AGOPYAN, V.; SJÖSTEN, Jerry. **Durabilidade e sustentabilidade: desafios para a construção civil brasileira.** In: WORKSHOP ELETRÔNICO SOBRE DURABILIDADE DAS CONSTRUÇÕES e 1 WORKSHOP SOBRE DURABILIDADE DAS CONSTRUÇÕES, 2, São José dos Campos, 2001. 10p.

- KRÜGER, Eduardo. **Tecnologias apropriadas e habitação social no Brasil**. Projeções, v. 19/20, p. 17-22, Dez./Jan. 2001/2002.
- LEITE, Luis Carlos Rifrano. **Habitação de Interesse Social: Metodologia para análise da funcionalidade. Estudo de Caso do Projeto Chico Mendes – Florianópolis/SC**. 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção – PPGEP, Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC, Florianópolis, 2003.
- LEMOS, C.A.C. **Alvenaria burguesa: breve história da arquitetura residencial de tijolos em São Paulo a partir do ciclo econômico liderado pelo café**. 2 ed. São Paulo: Nobel, 1989-a.
- LEMOS, Carlos A. C. **História da Casa brasileira**. São Paulo: Contexto, 1989-b.
- LORENZETTI, Maria Sílvia Barros. **A Questão Habitacional no Brasil**. Consultora Legislativa da Área XIII Desenvolvimento Urbano, Trânsito e Transportes, Julho/2001. Disponível em: < www2.camara.gov.br/publicações.pdf > Acesso em: 30 abril 2004.
- LUCINI, Hugo C. **Manual técnico de modulação de esquadrias**. 1ª edição. São Paulo: PINI, 2001.
- MARTUCCI, Ricardo. **Projeto Tecnológico para Edificações Habitacionais: Utopia ou Desafio?**. 1990. Tese (Doutorado em Arquitetura) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo-FAU, Universidade de São Paulo-USP, São Paulo, 1990.
- MASCARÓ, L.E.R. de. **Coordinación modular? Qué es?**. Buenos Aires: Summa, n.103, p.20-21, ago. 1976.
- MELHADO, S.B. **Qualidade do projeto na construção de edifícios: aplicação ao caso das empresas de incorporação e construção**. 1994. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo-USP, São Paulo, 1994.
- MELHADO, Silvio Burrattino; FABRICIO, Márcio Minto. **Recomendações para a formação de profissionais de arquitetura e engenharia para a atuação no projeto de edifícios**. In: CONFERÊNCIA LATINO-AMERICANA DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL: X ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO-ENTAC, 10. São Paulo, 2004. 11 p.
- MORETTI, Ricardo de Sousa. Professor dos Programas de Mestrado em Urbanismo da PUC Campinas e de Habitação do IPT - **Téchne 95** - fevereiro de 2005.
- MUÇOUÇA, Paulo Sérgio de. **Coleta Seletiva de Lixo**. Publicação Instituto Polis. 1993.
- NBE-CT-79 – Norma básica de la edificación: Condiciones térmicas en los edificios**. 1ª ed. Madrid. ES. Ministerio de Obras Publicas Y Urbanismo. 1979.
- OLIVEIRA, Luciana Alves; BOTTURA, Mercia Maria S.; SABBATINI, Fernando Henrique. **Vedações verticais em painéis pré-fabricados arquitetônicos de concreto (ppac)**. In: IX ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA NO AMBIENTE CONSTRUÍDO-ENTAC. Foz de Iguaçu, 2002. p. 2144-2144. Artigo Técnico.
- ORDÓÑES, J.A.F. **Prefabricación: Teoría e práctica**. Barcelona, ES. Tomo 1. Editores Técnicos Asociados, S.A. 1974.

ORLANDI, S.A.F.A. **Industrialização da Construção e o Problema Habitacional Brasileiro. Conceituação e Experiência do Projeto Modelar.** Anais EPUSP, Sér.A. Pt. 5, 1988.

ORNSTEIN, Sheila W. **Avaliação Pós-Ocupação do ambiente construído.** São Paulo: Studio Nobel, EDUSP, 1992.

ORNSTEIN, Sheila W. ROMERO, Marcelo de A. **Avaliação Pós-Ocupação: métodos e técnicas aplicados à habitação de interesse social.** Porto Alegre: ANTAC, 2003. (Habitare).

PICCHI, F.A.; AGOPYAN, V. **Sistemas da qualidade na construção de edifícios.** São Paulo: EPUSP, 1993. (Boletim Técnico do Departamento de Engenharia de Construção Civil da USP, BT/PCC/104)

REZENDE, Marco Antônio Penido de; BARROS, Mercia Maria Semensato Bottura de; ABIKO, Alex Kenya. **Barreiras e facilitadores da inovação tecnológica na produção de habitações populares.** In: IX ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA NO AMBIENTE CONSTRUÍDO. Foz de Iguaçu, 2002. p.895-904. Artigo Técnico.

REZENDE, Marco Antônio Penido de; ABIKO, Alex Kenya. **Fatores da inovação tecnológica nas edificações.** In: CONFERÊNCIA LATINO-AMERICANA DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO-ENTAC, 10. São Paulo, 2004. 15 p.

ROBALINHO, Veronica C. **Loteamentos proletários e autoconstrução: um estudo de caso no Rio de Janeiro.** 1980. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa em Engenharia-COPPE, PUR, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1980.

ROCHA, Janaíde Cavalcante; JOHN, Vanderley Moacyr. **Utilização de resíduos na construção habitacional.** Brasil - Porto Alegre, RS. ANTAC. 2003. 272 p. (Coleção Habitare v. 4).

RODRIGUES, Arlete M. **Moradia nas cidades brasileiras.** 7ª ed. – São Paulo: Contexto, 1997.

ROMAN, H.R. **Pesquisa e desenvolvimento de processos construtivos industrializados em cerâmica estrutural.** Projeto FINEP.UFSC, 2000.

ROSSO, T. **Teoria e prática da coordenação modular.** Faculdade de Arquitetura e Urbanismo. USP, São Paulo, 1976.

SABBATINI, F.H. **Desenvolvimento de métodos, processos e sistemas construtivos.** 1989. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 1989.

SÃO PAULO (Estado de São Paulo). **Guia pedagógico do lixo.** Secretaria de Meio Ambiente, Coordenadoria de Educação Ambiental. São Paulo, 1998.

SATTLER, M. A.; FILHO, A. C.; BONIN, L. C. **A low cost sustainable house.** In: PLEA 2000 - The 16th International Conference on Passive and Low Energy Architecture. Cambridge, UK, 2000. pp. 187-191.

SILVA, Elvan. **Geometria funcional dos espaços da habitação**. Porto Alegre: Editora da Universidade, 1982.

SILVA, Jayme Ayres da. **Análise da qualidade da coleta e disposição final dos resíduos sólidos domiciliares da cidade de Ivaiporã – Estado do Paraná**. 2000. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção- PPGE, Universidade Federal de Santa Catarina-UFSC, Florianópolis 2000.

SILVEIRA, Wilson Jesus da C. **Geração de renda através de obras sociais para viabilização econômica das comunidades**. 2000. Tese (Doutorado em Engenharia) - Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção- PPGE, Universidade Federal de Santa Catarina-UFSC, Florianópolis 2000.

SOUZA, Roberto de. **Normalização e controle de qualidade na construção civil**. Florianópolis, SC. 1988. p. 13-25. In: SIMPÓSIO DE DESEMPENHO DE MATERIAIS E COMPONENTES DE CONSTRUÇÃO CIVIL, 1º, Florianópolis, 1988. Artigo técnico.

SZÜCS, Carolina P. **Apropriação e modificação dos espaços da casa: inventário de soluções populares**. 1997. Relatório de Pesquisa. Florianópolis: FUNPESQUISA / GHab / ARQ / UFSC, 1997.

TESTA, C. **The industrialization of building**. s.l., Van Nostrand, 1972.

WINCH, G. **Zephyrs of creative destruction: understanding the management of innovation in construction**. Building Research & Information, v.26, n.5, 1998.

BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTAR

AGOPYAN, Vahan. **Elementos de vedação vertical para a habitação observações sobre características que afetam o desempenho**. 1978. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 1978.

AGUIAR, E. C. C. **Painel de concreto leve com materiais recicláveis** . 1999. pp. 1 -14. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIMENTO, 5. 1999.

ANDRADE, Max; ROMERO, Marta A.B. **Coordenação dimensional como ferramenta para a qualidade em projetos de habitação popular**. São Paulo, SP. 2000. 1 arq.htm. Seminário Internacional NUTAU: tecnologia e desenvolvimento. São Paulo, 2000.

ARCHI CAD. (1998), **Manual de Referência**. Versão licenciada 6.5. Graphsoft. Budapeste, Hungria.

BANCO NACIONAL DA HABITAÇÃO. **Pré-fabricação predial**. s.l., BNH/APQ Assessoria de Pesquisa, 1978.

BARON, Cristina M. Perissinotto; MARTUCCI, Ricardo. **História de tecnologias para conjuntos habitacionais**. Rio de Janeiro, RJ. 1995. 5p. ENTAC 95, Rio de Janeiro, 1995. Artigo técnico.

CASTRO, C. P. **Papel da Tecnologia na Produção de Habitação Popular Estudo de Caso: C.H. José Bonifácio**. São Carlos, 1986. 391p. Dissertação (Mestrado) Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

CIRIA - CONSTRUCTION INDUSTRY RESEARCH AND INFORMATION ASSOCIATION – **Wall technology. Volume A: Performance Requirements**. Special publication 87. London, UK. CIRIA. 1992.

_____ **Wall technology. Volume B: Loadbearing small units**. Special publication 87. London, UK. CIRIA. 1992.

CONSTRUÇÃO Industrializada: ataque ao déficit. **Habitação Popular: Racionalização e Industrialização**, São Paulo, p.8-12, s.d. Suplemento especial das revistas Projeto e Obra: Planejamento & Construção.

DAVIS, M. L. et al. **Introduction to Environmental Engineering**. 2. ed. New York: McGraw Hill, 1991. 822 p.

FABRÍCIO, Márcio M. **Processos Construtivos Flexíveis: Projeto da Produção**. Programa de Pós- Graduação em Arquitetura e Urbanismo da Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 1996. (Mestrado em Arquitetura).

FOLLMANN, Alexandra Staudt; GREVEN, Hélio Adão. **Estudo exploratório sobre a coordenação modular no Brasil no sub-setor edificações: entraves e procedimentos a serem adotados para sua implantação, sob os aspectos de normalização, suporte legal e formação técnica profissional.** Foz de Iguaçu, PR. 2002. p. 2150-2150. In: IX Encontro Nacional de Tecnologia no Ambiente Construído. Artigo Técnico.

FOLZ, Rosana Rita; MARTUCCI, Ricardo. **Mobiliário na habitação social.** Foz de Iguaçu, PR. 2002. p. 941-950. In: IX Encontro Nacional de Tecnologia no Ambiente Construído. Artigo Técnico

FREITAS, Antonio Carlos Lima Pedreira de. **Sistemas de painéis portantes.** São Paulo, SP. 1993. v.1, p. 331-337. In: Encontro Nacional de Tecnologia Do Ambiente Construído, 1993, São Paulo.

FREITAS, C.G.L.; BRAGA, T.O.; BITAR, O.Y. & FARAH, F. **Habitação e meio ambiente – Abordagem integrada em empreendimentos de interesse social.** São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo – IPT, 2001. (Publicação IPT 2768 – Coleção Habitare.

FROTA, Anésia Barros. **Manual de conforto térmico: arquitetura, urbanismo.** 4^o edição. São Paulo: Studio Nobel, 2000.

JOHN, Vanderley M.; ÂNGULO, Sérgio C. **Metodologia para o desenvolvimento de reciclagem de resíduos.** Porto Alegre, RS. Coletânea Habitare. Vol 4. 2003.

KLEIN, Alexander. **Vivienda mínima 1906-1957.** Barcelona: Gustavo Gilli, 1980.

LOSSO, Iseu Reichmann; ARAÚJO, Hércules Nunes de. **A utilização de plástico reciclado como material de construção civil.** João Pessoa, PB. 1994. v.2, p. 921. In: Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 14^o, João Pessoa, 1994. Artigo técnico.

MELHADO, S.B.; VIOLANI, M.A. **A qualidade na construção civil e o projeto de edifícios.** São Paulo, EPUSP, 1992. (TT/PCC/02).

NUTAU'2002. **Sustentabilidade arquitetura desenho urbano: seminário internacional.** São Paulo: Universidade de São Paulo / Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, 2002.

OLIVEIRA, Luciana Alves de; SOUZA, Ubiraci E. L.; SABBATINI, Fernando Henrique. **Produtividade da mão-de-obra na execução de vedação de fachadas com painéis pré-fabricados arquitetônicos de concreto.** Foz de Iguaçu, PR. 2002. p. 1741-1750. In: IX Encontro Nacional de Tecnologia no Ambiente Construído. Artigo Técnico

OLIVEIRA, Luciana Alves; BOTTURA, Mercia Maria S.; SABBATINI, Fernando Henrique. **Vedações verticais em painéis pré-fabricados arquitetônicos de concreto (ppac).** Foz de Iguaçu, PR. 2002. p. 2144-2144. In: IX Encontro Nacional de Tecnologia no Ambiente Construído. Artigo Técnico.

PEREIRA, F.; PEREIRA, A.T.C.; SZÜCS, C.P.; PERES, L.F.B. & SILVEIRA, L.R.M. **Características da habitação de interesse social na região de Florianópolis: desenvolvimento de indicadores para melhoria do setor.** In Inserção Urbana e Avaliação Pós-ocupação da Habitação de Interesse Social. São Paulo: FAUUSP, 2002. (Coletânea Habitare/FINEP, 1).

PROVENZANO, T. L.; BARTH, F.; CONTI, L.H.L.; VEFAGO, L. H.M.; LUCA, V.G. **Análise da Modulação em Projetos de Habitação Popular com Vedações Industrializadas**. In: CTHAB-BRASIL 1º Congresso Brasileiro sobre Habitação Social Ciência e Tecnologia. Florianópolis: CTHAB, 2003. v. 1, p. 77-77.

PROVENZANO, T. L.; BARTH, F.; CONTI, L.H.L.; VEFAGO, L. H.M.; LUCA, V.G. **Análise do Desempenho Térmico das Vedações Industrializadas em Projeto de Habitação Popular**. In: CTHAB-BRASIL 1º Congresso Brasileiro sobre Habitação Social Ciência e Tecnologia. Florianópolis: CTHAB, 2003. v. 1, p. 78-78.

ROSSO, T. **Racionalização da construção**. São Paulo: FAUUSP, 1980.

SABBATINI, F.H. **A industrialização e o processo de produção de vedações: utopia ou elemento de competitividade empresarial?** In: I SEMINÁRIO TECNOLOGIA E GESTÃO NA PRODUÇÃO DE EDIFÍCIOS: Vedações Verticais – São Paulo, 1998. Anais. EPEUSP/PCC, 1998.

SILVA, Margarete Maria de Araújo; BARROS, Mercia Maria Semensato Bottura de; SABBATINI, Fernando Henrique. **Banco de tecnologia construtiva para a produção de alvenarias de vedação racionalizadas**. Foz de Iguaçu, PR. 2002. p. 1753-1762. In: IX Encontro Nacional de Tecnologia no Ambiente Construído. Artigo Técnico.

SOUZA, Roberto de. **A avaliação de desempenho aplicada a novos componentes e sistemas construtivos para habitação**. São Paulo, SP. 1981. p. 247-256. Simpósio Latino-Americano de Racionalização da Construção e sua Aplicação às Habitações de Interesse Social, São Paulo, 1981. Artigo técnico.

UNESCO. **Our Diversity**. Report of the World commission on Culture and Development. France: Egoprism, 1995.

Sites pesquisados:

<http://enertia.com/envirarc.htm>

http://www.cidades.gov.br/pbqp-h/doc_tecnicos.htm

<http://www.cpgec.ufrgs.br/norie/indicadores/>

<http://www.homeless-international.org/>

<http://www.iied.org/>

<http://www.infohab.org.br/>

http://www.habitare.org.br/prototipos_proposta.aspx

<http://www.sdnbd.org/>

<http://www.sustainable-city.org/>

<http://www.reciclagem.pcc.usp.br/>

<http://www.undp.org/>

<http://portal.unesco.org/shs/en/ev.php>

<http://www.un-habitat.org/>

ANEXOS

ANEXO A

Desempenho Higro-térmico

Tabela A. 1 - Resistência térmica de câmaras de ar não ventiladas, com largura muito maior que a espessura.

Natureza da superfície da câmara de ar	Espessura "e" da câmara de ar cm	Resistência térmica R_{ar} $m^2.K/W$		
		Direção do fluxo de calor		
		Horizontal	Ascendente	Descendente
		⇔	↑	↓
Superfície de alta emissividade $\epsilon > 0,8$	$1,0 \leq e \leq 2,0$	0,14	0,13	0,15
	$2,0 < e \leq 5,0$	0,16	0,14	0,18
	$e > 5,0$	0,17	0,14	0,21
Superfície de baixa emissividade $\epsilon < 0,2$	$1,0 \leq e \leq 2,0$	0,29	0,23	0,29
	$2,0 < e \leq 5,0$	0,37	0,25	0,43
	$e > 5,0$	0,34	0,27	0,61

Notas:
1 ϵ é a emissividade hemisférica total.
2 Os valores para câmaras de ar com uma superfície refletora só podem ser usados se a emissividade da superfície for controlada e previsto que a superfície continue limpa, sem pó, gordura ou água de condensação.
3 Para coberturas, recomenda-se a colocação da superfície refletora paralelamente ao plano das telhas (exemplo C.6 do anexo C); desta forma, garante-se que pelo menos uma das superfícies - a inferior - continuará limpa, sem poeira.
4 Caso, no processo de cálculo, existam câmaras de ar com espessura inferior a 1,0 cm, pode-se utilizar o valor mínimo fornecido por esta tabela.

Fonte: NBR 15220-Parte 2, p.2 – Tabela B.1.

Tabela A. 2 – Coeficiente de transmissão térmica para janelas em (W/m² °C).

Tipo de acristalamiento	Espesor nominal de la cámara de aire, en mm	Tipo de carpintería	Inclinación del hueco con respecto a la horizontal	
			≥ 60°	< 60°
Sencillo		Madera	4,3 (5,0)	4,7 (5,5)
		Metálica	5,0 (5,8)	5,6 (6,5)
Doble	6	Madera	2,8 (3,3)	3,0 (3,5)
		Metálica	3,4 (4,0)	3,7 (4,3)
	9	Madera	2,7 (3,1)	2,8 (3,3)
		Metálica	3,4 (3,9)	3,6 (4,2)
	12	Madera	2,5 (2,9)	2,7 (3,1)
		Metálica	3,2 (3,7)	3,4 (4,0)
Doble ventana	≥ 30	Madera	2,2 (2,6)	2,3 (2,7)
		Metálica	2,6 (3,0)	2,8 (3,2)
Hormigón traslúcido	—	—	3,0 (3,5)	3,2 (3,7)

Fonte: NBE-CT-79 / Tabela 2.12, p.36.

Tabela A. 3 – Coeficiente de transmissão térmica para portas em (W/m² °C).

Tipo de puerta		Separación con:	
		Exterior	Local no calefactado
Madera	Opaca	3,0 (3,5)	1,7 (2,0)
	Acrilamiento simple en < 30%	3,4 (4,0)	
	Acrilamiento simple en 30 a 60%	3,9 (4,5)	
	Acrilamiento doble	2,8 (3,3)	
Metálica	Opaca	5,0 (5,8)	3,9 (4,5)
	Acrilamiento simple	5,0 (5,8)	
	Acrilamiento doble con cámara de 6 mm en < 30%	4,7 (5,5)	
	Acrilamiento doble con cámara de 6 mm en 30 a 70%	4,1 (4,8)	
Vidrio sin carpintería		5,0 (5,8)	3,9 (4,5)

Fonte: NBE-CT-79 / Tabela 2.13, p.37.

Tabela A. 4 - Resistência Temperaturas mínimas médias do mês de Janeiro (inverno no hemisfério norte) segundo às 5 zonas demarcadas no Mapa 2.

Zona Climática – Mapa 2 (art.13º)	V	W	X	Y	Z
Temperatura exterior para cálculo de condensaciones en °C	10	5	3	0	-2

Fonte: NBE-CT-79 / Mapa 2 (art.13º), p.10.

Tabela A. 5 – Resistividade ao vapor d'água.

Material	Resistividad al vapor r_v (1)	
	MN s/g m	mmHg m ² día/g cm
Aire en reposo (cámaras)	5,5	0,004
Aire en movimiento (cámaras ventiladas)	0	0
Fábrica de ladrillo macizo	55	0,048
Fábrica de ladrillo perforado	36	0,031
Fábrica de ladrillo hueco	30	0,026
Fábrica de piedra natural	150-450	0,13-0,39
Enfoscados y revocos	100	0,087
Enlucidos de yeso	60	0,052
Placas de amianto-cemento	1,6-3,5	0,001-0,003
Hormigón con áridos normales o ligeros	30-100	0,026-0,086
Hormigón aireado con espumantes	20	0,017
Hormigón celular curado al vapor	77	0,06
Madera	45-75	0,039-0,065
Tablero aglomerado de partículas	15-60	0,013-0,052
Contrachapado de madera	1.500-6.000	1,30-5,20
Hormigón con fibra de madera	15-40	0,013-0,035
Cartón-yeso, en placas	45-60	0,039-0,052
 AISLANTES TÉRMICOS 		
Aglomerado de corcho UNE 56.904	92	0,08
Espuma elastomérica	48.000	41,6
Lana de vidrio (2)	9	0,007
Lana mineral: Tipos I y II	9,6	0,008
Tipos III, IV y V	10,5	0,009
Perlita expandida	0	0
Poliestireno expandido UNE 53.310:		
Tipo I	138	0,12
Tipo II	161	0,14
Tipo III	173	0,15
Tipo IV	207	0,18
Tipo V	253	0,22
Poliestireno extrusionado	523-1.047	0,45-0,90
Poliétileno reticulado	9.600	8,33
Polisocianurato, espuma de	77	0,06
Poliuretano aplicado in situ, espuma de:		
Tipo I	96	0,083
Tipo II	127	0,111
Tipo III	161	0,142
Tipo IV	184	0,166
Poliuretano aplicado in situ, espuma de:		
Tipo I	76	0,066
Tipo II	82	0,071
Urea formaldehído, espuma de	20-30	0,017-0,026

(1) Es el inverso de la permeabilidad al vapor d_v .

(2) Cualquier tipo sin incluir protecciones adicionales que pudieran constituir barrera de vapor.

Fonte: NBE-CT-79 / Tabela 4.2, p.49.

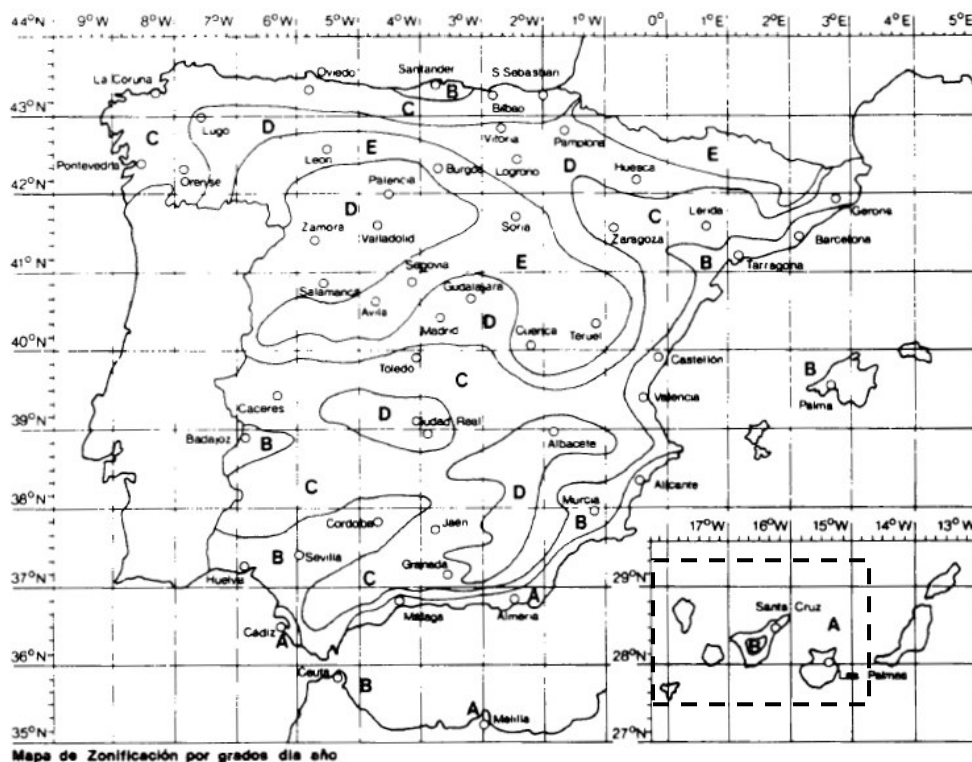


Figura A. 1 : Mapa do zoneamento climático espanhol.
 Fonte: NBE-CT-79 / Mapa 1(art.13º), p.10.



Figura A. 2 : software Analysis Bio.
 Fonte: UFSC – EVC – LabEEE - NPC

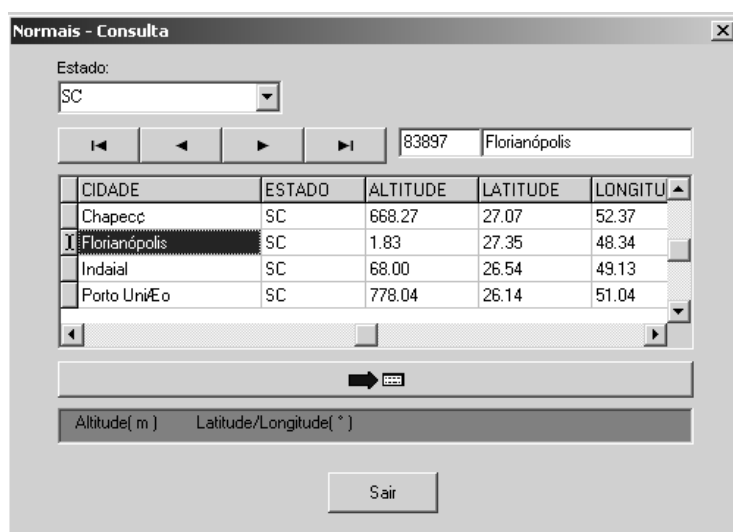


Figura A. 3 : Localização da cidade de Florianópolis – software Analysis Bio.
 Fonte: UFSC – EVC – LabEEE – NPC

Normal

Cidade:
Florianópolis

	VAR	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SETT	OUT	NOV	DEZ
1		28	28.4	27.5	25.4	23	20.9	20.4	20.7	21.2	22.9	24.8	26.6
2		21.4	21.8	20.7	18.3	15.6	13.4	13.3	14	15.1	16.9	18.6	20.3
3		24.3	24.7	23.7	21.4	18.5	16.7	16.3	16.9	17.5	19.6	21.5	22.5
4		81	82	82	82	83	83	84	83	83	81	80	80
5		1010.5	1011.1	1012.4	1014.5	1015.7	1017	1018.1	1017.3	1016.7	1014.6	1012.1	1010.9

Variáveis:
 1. Temperaturas Médias Máximas[°C]
 2. Temperaturas Médias Mínimas[°C]
 3. Temperaturas Médias[°C]
 4. Umidades Relativas Médias[%]
 5. Pressões Barométricas[hPa]

Figura A. 4 : Dados da cidade de Florianópolis - software Analysis Bio.
 Fonte: UFSC – EVC – LabEEE - NPC

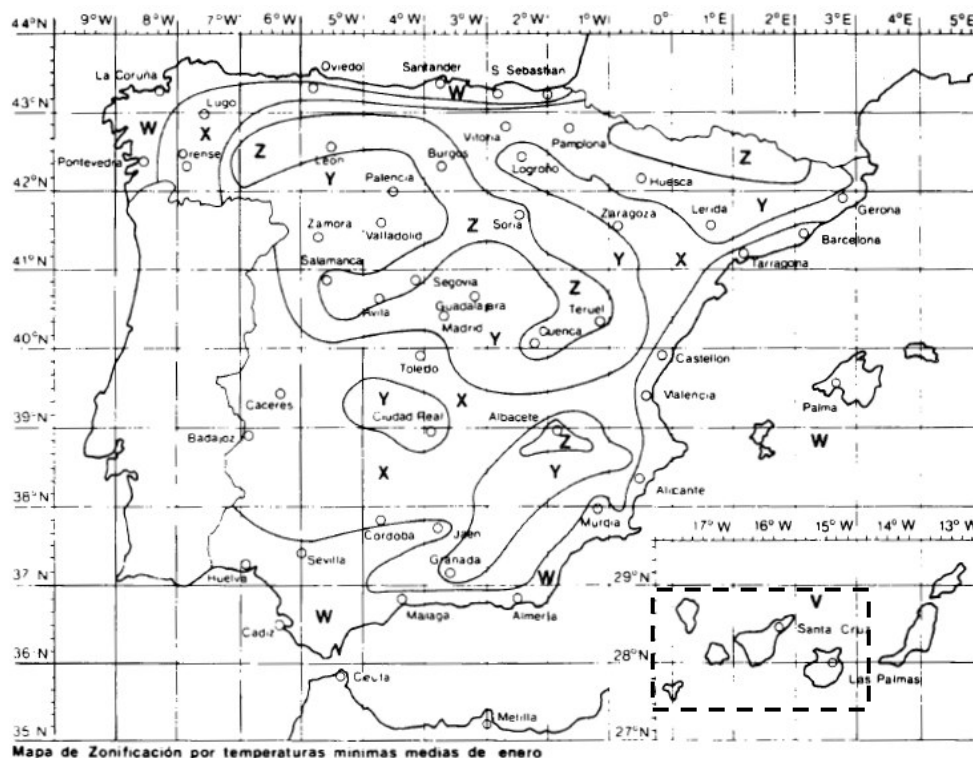


Figura A. 5 : Mapa do zoneamento climático espanhol por temperaturas médias mínimas.
 Fonte: NBE-CT-79 / Mapa 2 (art.13º), p.10.

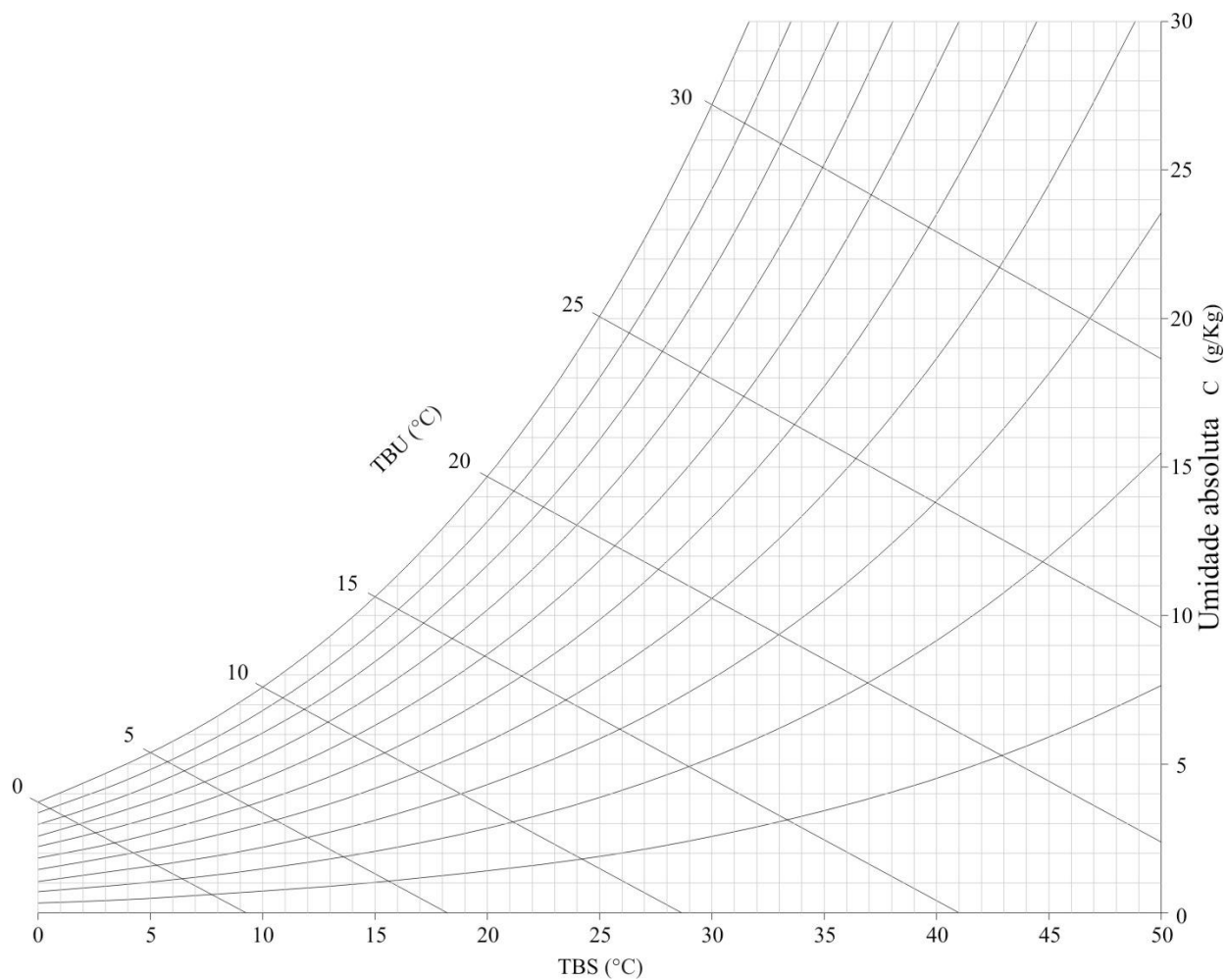


Figura A. 6 : Carta psicrométrica para a determinação das temperaturas de condensação e do conteúdo de umidade contido no ar.

ANEXO B

Desempenho Estrutural

Tabela B. 1 – Impactos de Corpo Duro para paredes externas (fachadas).

Componente	Impacto	Energia de impacto de corpo duro (J)	Critério de desempenho	Nível de desempenho	
Paredes com ou sem função estrutural; parapeitos ou guarda-corpos ⁽¹⁾	Impactos externos (acesso ext. ao público)	3,75	Não ocorrência de falhas	M	
		20	Não ocorrência de ruptura e traspassamento		
		3,75	Não ocorrência de falhas Profundidade da mocha $p \leq 2,0$ mm	I	
		20	Não ocorrência de ruptura e traspassamento		
	Impactos internos (todos os pavimentos)	Impactos internos	2,5	Não ocorrência de falhas	M
			10	Não ocorrência de ruptura e traspassamento	
		(todos os pavimentos)	2,5	Não ocorrência de falhas; Profundidade da mocha $p \leq 2,0$ mm	I
			10	Não ocorrência de ruptura e traspassamento	

⁽¹⁾ Para parapeitos ou guarda-corpos recomenda-se somente os impactos de corpo duro de grandes dimensões (E = 20 J - externo e E = 10 J - interno).

Fonte: Projeto de Norma da ABNT 02:136.010.004:2004 - Parte 4 – Tabela 9, p.15.

Tabela B. 2 – Impactos de Corpo Mole para paredes externas (fachadas) de casas térreas, com função estrutural.

Componente	Impactos	Energia de impacto de corpo mole (J)	CrITÉrios de desempenho	NÍvel de desempenho	
Paredes com função estrutural (paredes de casas térreas)	Impactos externos (acesso ext. ao público)	960	Não ocorrência de ruína	I	
		720			
		480	Não ocorrência de falhas		
		360			
		240	Não ocorrência de falhas; Limitação dos deslocamentos horizontais: . $d_h \leq h/250$. $d_{tr} \leq h/1250$		
		180	Não ocorrência de falhas		
		120			
		720	Não ocorrência de ruína		M
		480			
		360			
	240	Não ocorrência de falhas; Limitação dos deslocamentos horizontais: . $d_h \leq h/250$. $d_{tr} \leq h/1250$			
	180	Não ocorrência de falhas			
	120				
	Impactos internos	480	Não ocorrência de ruína e traspasse da parede pelo corpo impactador	M	
		240			
		180	Não ocorrência de falhas		
120		Não ocorrência de falhas; Limitação dos deslocamentos horizontais: . $d_h \leq h/250$. $d_{tr} \leq h/1250$			
<p>Nota:</p> <p>☐ Quando o revestimento interno da parede de fachada multicamada não for integrante da estrutura da parede, nem considerado como componente de contraventamento, poderão ser adotados, somente para os impactos internos e para o revestimento interno, os critérios previstos na norma NBR 11681, considerando $E = 60J$ para não ocorrência de falhas e $E = 120J$ para não ocorrência de rupturas localizadas, desde que não haja comprometimento à segurança e à estanqueidade, e os materiais de revestimento empregados sejam de fácil reposição pelo usuário, ou seja, sejam disponíveis no mercado.</p>					

Fonte: Projeto de Norma da ABNT 02:136.010.004:2004 - Parte 4 – Tabela 5, p.12.

Tabela B. 3 – Impactos de Corpo Mole para paredes internas.

Componente	Energia de impacto de corpo mole (J)	Critério de desempenho	Nível de desempenho
Paredes com função estrutural	360	Não ocorrência de ruína	M
	240	São admitidas falhas localizadas	
	180	Não ocorrência de falhas	
	120	Não ocorrência de falhas; Limitação dos deslocamentos horizontais: . $d_h \leq h/250$; . $d_{hr} \leq h/1250$	
	60	Não ocorrência de falhas	
Paredes com função de vedação	240	Não ocorrência de ruína São admitidas falhas localizadas	I
	180		
	120	Não ocorrência de falhas; Limitação da ocorrência de deslocamento: . $d_h \leq h/125$; . $d_{hr} \leq h/625$	
	60	Não ocorrência de falhas	
	120	Não ocorrência de ruína São admitidas falhas localizadas	
60	Não ocorrência de falhas; Limitação da ocorrência de deslocamento: . $d_h \leq h/125$; . $d_{hr} \leq h/625$	M	

Fonte: Projeto de Norma da ABNT 02:136.010.004:2004 - Parte 4 – Tabela 7, p.13-14.