



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

JOSÉ GRACIANO DIAS JÚNIOR

**DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA CONSTRUTIVO DE CASAS TIPO
TÉRREO MAIS UM PAVIMENTO COM PAINÉIS PRÉ-FABRICADOS DE
CONCRETO E BLOCOS CERÂMICOS**

FORTALEZA

2013

JOSÉ GRACIANO DIAS JÚNIOR

DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA CONSTRUTIVO DE CASAS TIPO
TÉRREO MAIS UM PAVIMENTO COM PAINÉIS PRÉ-FABRICADOS DE
CONCRETO E BLOCOS CERÂMICOS

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do Título de Mestre em Engenharia Civil. Área de concentração: Construção Civil.

Orientador: Prof. Dr. Alexandre Araújo Bertini.

FORTALEZA

2013

JOSÉ GRACIANO DIAS JÚNIOR

DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA CONSTRUTIVO DE CASAS TIPO
TÉRREO MAIS UM PAVIMENTO COM PAINÉIS PRÉ-FABRICADOS DE
CONCRETO E BLOCOS CERÂMICOS

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do Título de Mestre em Engenharia Civil. Área de concentração: Construção Civil.

Aprovada em: ____/____/_____.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Alexandre Araújo Bertini (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Antônio Eduardo Bezerra Cabral
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Joel Araújo do Nascimento Neto
Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN)

A Deus.

À minha amada esposa, aos meus
maravilhosos pais e queridos irmãos.

RESUMO

O déficit habitacional do Brasil, segundo Ministério das Cidades, é superior a cinco milhões de unidades, ultrapassando 14% do número total de domicílios. Para o suprimento dessa demanda por habitação, buscam-se atualmente novos sistemas e técnicas construtivas que possam produzir unidades residenciais em escala industrial. O sistema construtivo denominado Olé Casas, desenvolvido no Ceará, possui elevado ritmo de produção e fabrica unidades residenciais do tipo térreo com paredes pré-fabricadas com seção transversal mista de blocos cerâmicos, concreto e argamassa. Essa tecnologia permite a construção dos subsistemas vedação e estrutura da edificação em um intervalo de dois dias com mão-de-obra menos especializada, reduzido desperdício de material e grande aceitação cultural na região. O sistema construtivo permite a construção apenas da casa térrea e não havia sido avaliado conforme as exigências dispostas na Diretriz SINAT N° 002, requisito necessário para a validação do sistema perante o Ministério das Cidades do Governo Federal. O presente trabalho realizou para o sistema Olé Casas as principais avaliações de desempenho estabelecidas nessa Diretriz por meio de ensaios de laboratório, de campo e de avaliações em protótipo, concluindo que o sistema construtivo atende às exigências requeridas. Em seguida, a partir das análises de desempenho obtidas e diretrizes de projeto, propôs-se um modelo de edificação do tipo térreo mais um pavimento utilizando a tecnologia Olé Casas, detalhando os seus subsistemas. Para esta edificação proposta, foi realizada a avaliação de desempenho estrutural e concluído que o modelo atende às exigências estruturais, dando suporte a futuros estudos com o uso da tecnologia para edificações estruturais de múltiplos pavimentos.

ABSTRACT

The housing deficit in Brazil, according to the Ministry of Cities, is more than 5 million units, exceeding 14% of the total number of households. To supply this demand for housing, is currently seeking new systems and construction techniques that may produce residential units on an industrial scale. The building system called Olé Casas, developed in Ceará Brazil, has a high rate of production and manufactures residential units with prefabricated mixed cross section of ceramic bricks, concrete and mortar walls. This technology allows the construction of gasket and structure subsystems in a two-day interval with hand labor less specialized, reduced material waste and great cultural acceptance in the region. The construction system allows the construction of only one-story house and had not been assessed in accordance with the requirements laid out in Guideline SINAT No. 002, necessary prerequisite for the validation of the system to the Ministry of Cities of the Brazilian Federal Government. This work contain the main evaluations for buildings established in this Guideline by means of laboratory tests, field tests, and assessments in prototype, concluding that the building system meets the requirements set. Then, from the analysis of performance obtained and design guidelines, we proposed a model of two floor building using technology Olé Casas detailing its subsystems. For this proposed building, we analyzed the structural performance and concluded that the model meets the structural requirements supporting future studies with the use of technology to structural buildings with multiple floors.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Pré-laje treliçada.....	52
Figura 2 – Pré-laje protendida	53
Figura 3 – Laje maciça com pré-laje treliçada e protendida respectivamente.....	53
Figura 4 – Laje nervurada com pré-laje treliçada e protendida respectivamente.....	54
Figura 5 – Distribuição de armadura negativa e eletrodutos sobre pré-laje no sistema construtivo PRECON	59
Figura 6 – Escada pré-fabricada com patamar	61
Figura 7 – Transporte de escada pré-fabricada em grandes dimensões	61
Figura 8 – Forma metálica para fabricação de escada pré-fabricada	62
Figura 9 – Laje pré-fabricada com vigotas treliçadas.....	63
Figura 10 – Escada pré-fabricada com vigotas treliçadas	64
Figura 11 – Escada com vigotas treliçadas com placas cimentíceas como espelho do degrau	65
Figura 12 – Viga dentada e degrau em “L” para escadas pré-fabricadas do tipo jacaré	66
Figura 13 – Patamar pré-fabricado empregado nas escadas tipo jacaré.....	67
Figura 14 – Estrutura metálica pré-fabricada para cobertura.....	69
Figura 15 – Estrutura metálica para cobertura pré-fabricada.....	69
Figura 16 – Perfis metálicos soldados para estrutura de cobertura pré-fabricada	71
Figura 17 – Habitações populares com cobertura pré-fabricada	71
Figura 18 – Detalhe da seção da Isotelha Colonial	72
Figura 19 – Telha Térmica Termo House	74
Figura 20 – Acessórios do sistema Telha Térmica Termo House.....	74
Figura 21 – Vista geral de uma unidade de produção de painéis em canteiro de obras do sistema JET CASA	76
Figura 22 – Vista do painel do sistema construtivo JET CASA	77
Figura 23 – Especificação das treliças metálicas utilizadas nos painéis do sistema JET CASA	78
Figura 24 – Disposição dos blocos cerâmicos em painel com abertura de vão de janela do sistema JET CASA	79
Figura 25 – Disposição das armaduras em um painel com abertura de vão de janela do sistema JET CASA.....	80

Figura 26 – Detalhe das armaduras e soldas nas ligações entre painéis do sistema JET CASA	81
Figura 27 – Preparação de forma com aplicação mecanizada do desmoldante no sistema JET CASA	83
Figura 28 – Forma preparada para o recebimento da armadura no sistema JET CASA	84
Figura 29 – Preparação das armaduras na central de armação com utilização de gabarito no sistema JET CASA	84
Figura 30 – Posicionamento das armaduras na forma do sistema JET CASA.....	85
Figura 31 – Blocos cerâmicos inseridos na forma do sistema JET CASA.....	85
Figura 32 – Aspersão de água para umedecimento dos blocos antes da concretagem no sistema JET CASA	86
Figura 33 – Lançamento de concreto nas nervuras do painel do sistema JET CASA ...	86
Figura 34 – Aplicação do chapisco rolado no painel do sistema JET CASA	87
Figura 35 – Aplicação de camada de revestimento e acabamento do painel do sistema JET CASA	87
Figura 36 – Execução do acabamento do revestimento do painel do sistema JET CASA	88
Figura 37 – Içamento do painel do sistema JET CASA	88
Figura 38 – Estocagem vertical dos painéis do sistema JET CASA	89
Figura 39 – Aplicação de chapisco na segunda face do painel do sistema JET CASA .	89
Figura 40 – Revestimento da segunda face do painel do sistema JET CASA aplicado convencionalmente	89
Figura 41 – Locação para correto posicionamentos dos painéis do sistema JET CASA sobre a fundação	90
Figura 42 – Posicionamento dos painéis sobre a fundação no sistema JET CASA	90
Figura 43 – Pontos de solda executados nas ligações entre painéis do sistema JET CASA	91
Figura 44 – Proteção anti-corrosiva aplicada com primer epóxi nas ligações entre painéis do sistema JET CASA.....	91
Figura 45 – Rebaixo existente nas ligações entre painéis do sistema JET CASA para preenchimento com argamassa.....	92
Figura 46 – Aplicação do selante acrílico nas juntas entre painéis do sistema JET CASA	92

Figura 47 – Lajes posicionadas sobre painéis em unidade sobrada em Campinas-SP do sistema JET CASA.....	93
Figura 48 – Unidades térreas construídas com o sistema JET CASA.....	93
Figura 49 – Detalhe do posicionamento das armaduras inseridas no painel executado com o sistema JET CASA	101
Figura 50 – Vista geral de unidade de produção do sistema CASA EXPRESS em Itapira-SP.....	105
Figura 51 – Vista esquemática do painel do sistema CASA EXPRESS. À esquerda vista esquemática de malha inferior e à direita vista esquemática de malha superior.	107
Figura 52 – Vista ampliada da malha inferior e superior, consecutivamente, do painel do sistema CASA EXPRESS	108
Figura 53 – Corte esquemático do painel empregado nas classes I e II do sistema CASA EXPRESS (medidas em mm).....	109
Figura 54 – Corte esquemático do painel do sistema CASA EXPRESS utilizado nas regiões de classe III de agressividade ambiental e em áreas molháveis conforme projeto (medidas em mm).....	110
Figura 55 – Corte esquemático do painel do sistema CASA EXPRESS utilizado nas regiões de classe III de agressividade ambiental e em áreas secas conforme projeto (medidas em mm).....	111
Figura 56 – Sequencia de montagem da ligação vertical entre painéis do sistema CASA EXPRESS.....	112
Figura 57 – Detalhe esquemático do acabamento da ligação entre painéis do sistema CASA EXPRESS (medidas em mm)	113
Figura 58 – Preparação das formas do sistema CASA EXPRESS e aplicação de desmoldante.....	115
Figura 59 – Adensamento do concreto da primeira camada do painel do sistema CASA EXPRESS.....	115
Figura 60 – Posicionamento de treliça de reforço nas aberturas de vão de porta e janela no painel do sistema CASA EXPRESS.....	116
Figura 61 – Posicionamento dos blocos cerâmicos no painel do sistema CASA EXPRESS.....	116
Figura 62 – Posicionamento da armadura inferior do painel do sistema CASA EXPRESS.....	117

Figura 63 – Posicionamento da armadura superior do painel do sistema CASA EXPRESS	117
Figura 64 – Lançamento e adensamento da segunda camada de concreto do painel do sistema CASA EXPRESS	118
Figura 65 – Acabamento da camada de argamassa executada sobre a segunda camada de concreto do painel do sistema CASA EXPRESS	118
Figura 66 – Posicionamento de tubulações hidráulicas em painel do sistema CASA EXPRESS	119
Figura 67 – Lançamento de concreto ($f_{ck} = 12$ MPa) sobre tubulações hidráulicas no painel do sistema CASA EXPRESS.....	119
Figura 68 – Guias provisórias para posicionamento dos painéis do sistema CASA EXPRESS sobre a fundação	120
Figura 69 – Travamento superiores nos painéis do sistema CASA EXPRESS durante a montagem	120
Figura 70 – Solda entre armaduras de ligação com dois painéis do sistema CASA EXPRESS	121
Figura 71 – Detalhe de solda de ligação entre três painéis do sistema CASA EXPRESS	121
Figura 72 – Suspensão do painel com macaco hidráulico para retirada das bases de ferro sob os painéis do sistema CASA EXPRESS	122
Figura 73 – Inserção de calços de argamassa na interface entre painéis e fundação do sistema CASA EXPRESS	122
Figura 74 – Aplicação de argamassa com impermeabilizante na base dos painéis do sistema CASA EXPRESS	123
Figura 75 – Aplicação de emulsão acrílica sobre a argmassa de regularização da base dos painéis do sistema CASA EXPRESS	123
Figura 76 – Preenchimento das juntas entre painéis do sistema CASA EXPRESS.....	124
Figura 77 – Aplicação de tela de poliéster com argamassa colante AC I nas juntas entre painéis do sistema CASA EXPRESS	124
Figura 78 – Acabamento das juntas com argamassa nos painéis do sistema CASA EXPRESS	125
Figura 79 – Aplicação de emulsão acrílica após endurecimento de argmassa das juntas entre painéis do sistema CASA EXPRESS	125

Figura 80 – Instalação da porta conforme rebaixos existentes no painel do sistema CASA EXPRESS	126
Figura 81 – Chumbamento das esquadrias com argamassa no painel do sistema CASA EXPRESS	126
Figura 82 – Aplicação de emulsão acrílica no perímetro das esquadrias no painel do sistema CASA EXPRESS	127
Figura 83 – Unidade habitacional finalizada e construída com o sistema construtivo CASA EXPRESS	127
Figura 84 – Vista geral de pista de concreto para fabricação de painéis do sistema DHARMA	137
Figura 85 – Vista da moldagem dos painéis do sistema DHARMA	138
Figura 86 – Detalhe do cobrimento das armaduras empregadas nos painéis do sistema DHARMA	139
Figura 87 – Posicionamento das treliças nas nervuras de concreto dos painéis do sistema DHARMA	140
Figura 88 – Solda de barras de espera entre painéis do sistema DHARMA	141
Figura 89 – Detalhe de solda entre barras de esperas e proteção contra corrosão nas ligações entre painéis do sistema DHARMA	141
Figura 90 – Detalhe das tubulações hidráulicas no painel do sistema DHARMA	142
Figura 91 – Detalhe da aplicação da primeira camada de argamassa com espessura de 10 mm do painel do sistema DHARMA	143
Figura 92 – Posicionamento das armaduras e blocos cerâmicos no painel do sistema DHARMA	144
Figura 93 – Posicionamento das instalações elétricas na forma dos painéis do sistema DHARMA	144
Figura 94 – Nervuras concretadas no painel do sistema DHARMA	145
Figura 95 – Acabamento da camada superior do painel do sistema DHARMA	145
Figura 96 – Base dos painéis do sistema DHARMA com emulsão asfáltica aplicada	146
Figura 97 – Carregamento e transporte dos painéis do sistema DHARMA	147
Figura 98 – Gabarito metálico para a demarcação do posicionamento das paredes do sistema DHARMA sobre a fundação	147
Figura 99 – Fixação das escoras metálicas para apoio dos painéis do sistema DHARMA	148

Figura 100 – Posicionamento de espaçadores plásticos para apoio do painel do sistema DHARMA durante a montagem.....	148
Figura 101 – Descarregamento e posicionamento do painel do sistema DHARMA durante a montagem.....	149
Figura 102 – Detalhe da ligação entre painéis do sistema DHARMA	150
Figura 103 – Fábrica de produção do sistema construtivo PRECON	157
Figura 104 – Detalhe do painel do sistema construtivo PRECON.....	158
Figura 105 – Seção do painel, com 13,5 cm de espessura, destinado a vedação externa no sistema construtivo PRECON	159
Figura 106 - Seção do painel, com 14,0 cm de espessura, destinado a divisórias internas no sistema construtivo PRECON	159
Figura 107 – Vista de uma unidade de fabricação dos painéis do sistema PRECON..	161
Figura 108 – Aplicação de desmoldante em forma metálica do sistema PRECON.....	161
Figura 109 – Posicionamento das armaduras nas nervuras de concreto na forma do painel do sistema PRECON.....	162
Figura 110 – Distribuição de blocos cerâmicos na forma do sistema PRECON	162
Figura 111 – Instalação de eletrodutos nos furos dos blocos cerâmicos na forma dos painéis do sistema PRECON	163
Figura 112 – Aplicação de argamassa na junta entre os blocos do painel do sistema PRECON	163
Figura 113 – Concretagem das nervuras dos painéis do sistema PRECON.....	164
Figura 114 – Aplicação de argamassa e acabamento na face superior do painel do sistema PRECON	165
Figura 115 – Desenforma e transporte do painel do sistema construtivo PRECON....	165
Figura 116 – Transporte dos painéis do sistema PRECON.....	166
Figura 117 – Montagem dos pilares do sistema PRECON	167
Figura 118 – Montagem dos painéis do sistema PRECON.....	167
Figura 119 – Tratamento das juntas no sistema PRECON.....	168
Figura 120 – Edifício habitacional finalizado com o uso do sistema construtivo PRECON	169
Figura 121 – Seção do pilar do sistema constutivo PRECON detalhando os dispositivos de ligação entre pilar e painel	170
Figura 122 – Detalhe em planta das abas dos pilares para encaixe dos painéis do sistema PRECON	170

Figura 123 – Nichos dos painéis para ligação do painel com o pilar por meio de solda elétrica no sistema construtivo PRECON.....	171
Figura 124 – Posicionamento da viga sobre o painel pré-fabricado do sistema PRECON	172
Figura 125 – Vão existente entre o painel e a viga no sistema PRECON.....	172
Figura 126 – Detalhe da montagem da viga, placas em EPS e armadura complementar de ligação entre pilar e vigas no sistema construtivo PRECON.....	173
Figura 127 – Impermeabilização de laje e rodapé do painel em 30 cm nas áreas molhadas do sistema PRECON	175
Figura 128 – Impermeabilização de rufos na cobertura do sistema construtivo PRECON	176
Figura 129 – Seção do painel do sistema construtivo Olé Casas	184
Figura 130 – Forma metálica sobre pista de produção no sistema construtivo Olé Casas	184
Figura 131 – Detalhe de encaixe do pilar com painéis no sistema Olé Casas.....	185
Figura 132 – Detalhe dos quatro tipos de ligações entre painéis do sistema Olé.....	187
Figura 133 – Montagem das formas metálicas e aplicação de desmoldante no sistema Olé	188
Figura 134 – Lançamento e adensamento do concreto da primeira camada do painel do sistema Olé	189
Figura 135 – Distribuição de blocos cerâmicos sobre primeira camada de concreto do painel do sistema Olé.....	189
Figura 136 – Posicionamento de instalações hidráulicas sobre blocos cerâmicos	190
Figura 137 – Lançamento e adensamento de argamassa com régua vibratória da última camada do painel Olé	190
Figura 138 – Acabamento e cura do painel com lona plástica no sistema Olé	191
Figura 139 – Transporte do painel da pista de produção até local final de montagem no sistema Olé	191
Figura 140 – Montagem do painel Olé no local final da edificação.....	192
Figura 141 – Execução de solda de ligação entre painéis do sistema Olé	192
Figura 142 – Preenchimento e acabamento das juntas entre painéis do sistema Olé...	193
Figura 143 – Unidade habitacional executada com o sistema Olé finalizada	193
Figura 144 – Moldagem do painel da unidade protótipo montada no NUTEC	197
Figura 145 – Acabamento dos painéis utilizados no protótipo	198

Figura 146 – Montagem dos painéis do protótipo.....	198
Figura 147 – Unidade protótipo do sistema Olé Casas para avaliação de desempenho	199
Figura 148 – Locais de realização dos ensaios de desempenho no protótipo do sistema Olé Casas	200
Figura 149 – Esquema de montagem na parte superior do painel Olé para o ensaio de compressão excêntrica (medidas em cm)	210
Figura 150 – Esquema de montagem do painel sob o pórtico de reação.....	211
Figura 151 – Leitura de células de carga pelo software Catman.....	212
Figura 152 – Instrumentos de medição de encurtamentos laterais e deslocamentos e seus dispositivos de suporte	213
Figura 153 – Ocorrência de fissura na carga de primeiro dano do corpo de prova 01 pelo lado da argamassa do painel (comprimento de fissura = 30 cm)	224
Figura 154 – Ocorrência de fissura na carga de primeiro dano do corpo de prova 02 pelo lado da argamassa do painel (comprimento de fissura = 15 cm)	224
Figura 155 – Ocorrência de fissura na carga de primeiro dano do corpo de prova 03 na interface concreto-bloco cerâmico do painel (comprimento de fissura = 20 cm)	225
Figura 156 – Modo de ruptura do corpo de prova 01 durante o estado último de resistência (região central superior do painel).....	225
Figura 157 – Modo de ruptura do corpo de prova 02 durante o estado último de resistência (interface concreto-blocos cerâmicos).....	226
Figura 158 – Modo de ruptura do corpo de prova 03 durante o estado último de resistência (interface concreto-blocos cerâmicos).....	226
Figura 159 – Esquema de ensaio de corpo mole pelo lado do painel que recebe o impacto	229
Figura 160 – Esquema de ensaio de corpo mole pelo lado do painel oposto ao do impacto	229
Figura 161 – Fissura ocorrida na ligação do painel com o pilar pré-moldado após a energia de 960 J com impacto pelo lado do concreto.....	232
Figura 162 – Fissura ocorrida na ligação do painel com painel adjacente após a energia de 960 J com impacto pelo lado da argamassa.....	233
Figura 163 – Esquema de ensaio de impacto de corpo duro	234
Figura 164 – Pontos de impacto do corpo duro.....	234
Figura 165 – Esquema de fixação da mão-francesa no painel Olé.....	236
Figura 166 – Mão-francesa padronizada	236

Figura 167 – Relógios para medição dos deslocamentos durante o ensaio de peças suspensas	237
Figura 168 – Posicionamento dos relógios comparadores de deslocamento.....	238
Figura 169 – Ensaio de mão francesa com pesos metálicos para aplicação da carga ..	238
Figura 170 – Esquema de ensaio de verificação das ações transmitidas por impacto de portas	239
Figura 171 – Detalhe esquemático do ensaio de rede de dormir.....	241
Figura 172 – Ensaio de rede de dormir em execução.....	241
Figura 173 – Esquema de ensaio de estanqueidade à água	243
Figura 174 – Esquema de ensaio de estanqueidade para avaliação da interface painel-esquadria.....	246
Figura 175 – Esquema de ensaio de ação de calor e choque térmico.....	248
Figura 176 – Esquema de ensaio de ação de calor e choque térmico na ligação pilar-painel	250
Figura 177 – Ensaio de arrancamento do revestimento em região do protótipo sem envelhecimento acelerado.....	252
Figura 178 – Ensaio de arrancamento do revestimento em região do protótipo com envelhecimento acelerado.....	252
Figura 179 – Pórtico para posicionamento do corpo de prova do ensaio de resistência ao fogo no IPT.....	257
Figura 180 – Posicionamento do primeiro painel do pilar pré-moldado no pórtico.....	257
Figura 181 – Corpo de prova montado aguardando cura para a realização do teste de resistência ao fogo	258
Figura 182 – Planta baixa do pavimento térreo da edificação proposta.....	260
Figura 183 – Planta baixa do pavimento superior da edificação proposta	261
Figura 184 – Planta de cobertura da edificação proposta	262
Figura 185 – Planta baixa do pavimento térreo da edificação proposta com adaptação ao sistema Olé Casas	263
Figura 186 – Planta baixa do pavimento superior da edificação proposta com adaptação ao sistema Olé Casas	264
Figura 187 – Detalhe da interface painel-laje proposta.....	267
Figura 188 – Direcionamento das lajes no pavimento térreo da edificação proposta ..	268
Figura 189 – Direcionamento das lajes no pavimento superior da edificação proposta para posicionamento da caixa d'água	269

Figura 190 – Escada pré-fabricada do tipo jacaré para a edificação proposta	271
Figura 191 – Componentes da escada pré-fabricada proposta para a edificação	272
Figura 192 – Planilha eletrônica para o cálculo da massa dos painéis do sistema construtivo Olé Casas	276

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Carga x Encurtamento do estágio 1 no corpo de prova 01.....	214
Gráfico 2 – Carga x Encurtamento do estágio 1 no corpo de prova 02.....	215
Gráfico 3 – Carga x Encurtamento do estágio 1 no corpo de prova 03.....	215
Gráfico 4 – Carga x Encurtamento do estágio 2 no corpo de prova 01.....	216
Gráfico 5 – Carga x Encurtamento do estágio 2 no corpo de prova 02.....	216
Gráfico 6 – Carga x Encurtamento do estágio 2 no corpo de prova 03.....	217
Gráfico 7 – Carga x Encurtamento do estágio 3 no corpo de prova 01 com indicação da carga de primeira fissura e carga última.....	218
Gráfico 8 – Carga x Encurtamento do estágio 3 no corpo de prova 02 com indicação da carga de primeira fissura e carga última.....	219
Gráfico 9 – Carga x Encurtamento do estágio 3 no corpo de prova 03 com indicação da carga de primeira fissura e carga última.....	220
Gráfico 10 – Carga x Flecha no estágio 3 do corpo de prova 01	221
Gráfico 11 – Carga x Flecha no estágio 3 do corpo de prova 02	222
Gráfico 12 – Carga x Flecha no estágio 03 do corpo de prova 03	223

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Déficit habitacional e percentual em relação aos domicílios particulares permanentes	43
Tabela 2 – Altura total de laje com pré-laje treliçada e protendida.....	55
Tabela 3 – Aço para utilização em pré-lajes.....	57
Tabela 4 – Resultados de ensaio de isolamento acústica em painéis do sistema JET CASA com espessura de 11 cm e 14 cm.....	100
Tabela 5 - Resultados do ensaio de compressão excêntrica nos painéis do sistema CASA EXPRESS	129
Tabela 6 - Valores de isolamento sonora para painéis do sistema CASA EXPRESS	133
Tabela 7 – Traço do concreto em massa.....	201
Tabela 8 – Características do agregado miúdo do concreto	202
Tabela 9 – Caracterização do agregado graúdo do concreto	202
Tabela 10 – Caracterização do concreto empregado nos painéis dos ensaios.....	203
Tabela 11 – Traço em massa da argamassa	203
Tabela 12 – Caracterização da argamassa dos painéis ensaiados.....	204
Tabela 13 – Resistência a compressão simples dos blocos cerâmicos dos painéis de ensaio	205
Tabela 14 – Resistência a compressão dos prismas dos painéis ensaiados	206
Tabela 15 – Valores de carga de primeiro dano e última dos painéis ensaiados à compressão excêntrica.....	227
Tabela 17 – Resultados do ensaio de impacto de corpo mole pelo lado do concreto do painel	230
Tabela 18 – Resultados obtidos para o ensaio de impacto de corpo mole pelo lado da argamassa do painel.....	231
Tabela 19 – Resultados obtidos do ensaio de impacto de corpo duro.....	235
Tabela 20 – Resultados do teste de arrancamento na região sem envelhecimento	253
Tabela 21 – Tipos de ruptura no teste de arrancamento sem envelhecimento	253
Tabela 22 – Resultados do teste de arrancamento na região com envelhecimento.....	254
Tabela 23 – Tipos de ruptura no teste de arrancamento com envelhecimento.....	254
Tabela 24 – Resultados obtidos para avaliação de desempenho acústico do sistema Olé Casas.....	256

Tabela 25 – Memorial de cálculo das cargas atuantes sobre edificação proposta.....	277
Tabela 26 – Memorial de cálculo das cargas atuantes sobre os painéis por metro linear	279
Tabela 27 – Resumo de verificações obtidas para o modelo térreo mais um pavimento proposto	280

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Estágios de desenvolvimento da Construção Civil.....	38
Quadro 2 – Componentes do déficit habitacional e detalhamento	41
Quadro 3 – Especificações necessárias para que sobrados e casas térreas do sistema JET CASA atendam às exigências da Diretriz SINAT N° 002 quanto ao desempenho térmico (laje de piso e forro maciça em concreto e espessura de 11 cm).....	98
Quadro 4 – Especificações necessárias para que sobrados e casas térreas do sistema JET CASA atendam às exigências da Diretriz SINAT N° 002 quanto ao desempenho térmico (laje de piso maciça em concreto e espessura de 10 cm e laje de forro nervurada de concreto e espessura de 5 cm)	98
Quadro 5 - Condições para que casas térreas do sistema CASA EXPRESS atendam às exigências mínimas de desempenho térmico.....	132
Quadro 6 - Condições para que sobrados do sistema CASA EXPRESS atendam às exigências mínimas de desempenho térmico.....	132
Quadro 7 – Condições necessárias para nível de desempenho térmico mínimo dos painéis do sistema DHARMA	153
Quadro 8 – Condições necessárias para nível de desempenho térmico mínimo dos painéis do sistema PRECON	177
Quadro 9 – Resumo dos resultados obtidos para a avaliação do desempenho acústico do sistema construtivo PRECON	177
Quadro 10 – Comparativo de avaliações de desempenho entre sistemas construtivos	196
Quadro 11 – Resultados do 1º ciclo de estanqueidade à água antes do choque térmico	243
Quadro 12 – Resultados do 2º ciclo de estanqueidade à água antes do choque térmico	244
Quadro 13 – Resultados do 1º ciclo de estanqueidade à água após choque térmico....	244
Quadro 14 – Resultados do 2º ciclo de estanqueidade à água após choque térmico....	245
Quadro 15 – Resultados do 1º ciclo do ensaio de estanqueidade na interface painel-esquadria.....	246
Quadro 16 – Resultados do 2º ciclo do ensaio de estanqueidade na interface painel-esquadria.....	247

Quadro 17 – Resultados obtidos após a realização do ensaio de ação de calor e choque térmico	249
Quadro 18 – Resultados obtidos do ensaio de ação de calor e choque térmico na ligação pilar-painel.....	250

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AC	Argamassa Colante
CEF	Caixa Econômica Federal
CFC	Clorofluorcarboneto
CP	Corpo de Prova ou Cimento Portland
CT-SINAT	Comitê Técnico do SINAT
DATEc	Documento de Avaliação Técnica
DIMAT	Divisão de Materiais
EPS	Poliestireno Expandido
FJP	Fundação João Pinheiro
GE-SINAT	Grupo Especializado do SINAT
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IFBQ	Instituto Falcão Bauer da Qualidade
IPEA	Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada
IPT	Instituto de Pesquisas Tecnológicas
ITA	Instituição Técnica Avaliadora
MCMV	Minha Casa Minha Vida
NBR	Norma Brasileira Registrada
NUTEC	Fundação Núcleo de Tecnologia Industrial do Ceará
PBQPH	Programa Brasileiro da Qualidade e Produtividade do Habitat
PNAD	Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios
PVA	Poliacetato de Vinila
PVC	Policloreto de Vinila
RTA	Relatório Técnico de Avaliação
SiAC	Sistema da Avaliação da Conformidade de Serviços e Obras

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	30
1.1.	Contextualização	30
1.2.	Justificativa	32
1.3.	Problema de pesquisa	32
1.4.	Objetivos	32
<i>1.4.1.</i>	<i>Objetivo geral.....</i>	<i>32</i>
<i>1.4.2.</i>	<i>Objetivos específicos</i>	<i>32</i>
1.5.	Estrutura do trabalho	33
2.	CONCEITOS GERAIS	36
2.1.	Industrialização e pré-fabricação	36
2.2.	Habitação social e verticalização das edificações	39
2.3.	Sistema construtivo e processo construtivo	46
2.4.	Desempenho das edificações executadas com sistemas inovadores	46
3.	TECNOLOGIAS CONSTRUTIVAS	50
3.1.	Introdução.....	50
3.2.	Pré-lajes.....	52
<i>3.2.1.</i>	<i>Descrição geral</i>	<i>52</i>
<i>3.2.2.</i>	<i>Altura total da laje</i>	<i>55</i>
<i>3.2.3.</i>	<i>Concreto para pré-lajes</i>	<i>56</i>
<i>3.2.4.</i>	<i>Aço para pré-lajes</i>	<i>56</i>
<i>3.2.5.</i>	<i>Elementos de enchimento para pré-lajes</i>	<i>57</i>
<i>3.2.6.</i>	<i>Montagem da pré-laje</i>	<i>58</i>
<i>3.2.7.</i>	<i>Controle tecnológico da pré-laje</i>	<i>58</i>
<i>3.2.8.</i>	<i>Vantagens e ramo de utilização das pré-lajes</i>	<i>58</i>
3.3.	Escadas Pré-fabricadas.....	60
<i>3.3.1.</i>	<i>Escadas completas com patamar</i>	<i>60</i>
<i>3.3.2.</i>	<i>Escadas com vigotas treliçada.....</i>	<i>63</i>
<i>3.3.3.</i>	<i>Escadas tipo jacaré</i>	<i>65</i>
3.4.	Cobertas Pré-fabricadas.....	68
<i>3.4.1.</i>	<i>Estruturas Pré-fabricadas.....</i>	<i>68</i>

3.4.2.	<i>Telhas Pré-fabricadas</i>	72
4.	SISTEMAS CONSTRUTIVOS INOVADORES	75
4.1.	Sistema Construtivo JET CASA	75
4.1.1.	<i>Introdução</i>	75
4.1.2.	<i>Descrição do sistema</i>	75
4.1.3.	<i>Informações e dados técnicos sobre o sistema</i>	77
4.1.3.1.	Especificações e detalhes construtivos.....	77
4.1.3.1.1.	Painel de parede	77
4.1.3.1.2.	Ligações entre painéis de parede.....	80
4.1.3.1.3.	Ligações entre painéis de parede e laje e entre laje e painéis de geminção	81
4.1.3.1.4.	Interface entre painéis e instalações	82
4.1.3.1.5.	Interface entre painéis e janelas e portas externas	82
4.1.3.1.6.	Revestimento e acabamento dos painéis	82
4.1.3.2.	Procedimento de execução	83
4.1.4.	<i>Avaliação técnica sobre o sistema</i>	94
4.1.4.1.	Desempenho estrutural.....	94
4.1.4.2.	Estanqueidade à água	96
4.1.4.3.	Desempenho térmico.....	97
4.1.4.4.	Desempenho acústico.....	99
4.1.4.5.	Durabilidade e manutenibilidade	100
4.1.4.6.	Segurança ao fogo	102
4.1.4.7.	Controle da qualidade do sistema	103
4.2.	Sistema Construtivo CASA EXPRESS	104
4.2.1.	<i>Introdução</i>	104
4.2.2.	<i>Descrição do sistema</i>	104
4.2.3.	<i>Informações e dados técnicos do sistema</i>	106
4.2.3.1.	Especificações e detalhes construtivos.....	106
4.2.3.1.1.	Painel de parede	106
4.2.3.1.2.	Ligações entre painéis de parede.....	111
4.2.3.1.3.	Ligações entre painéis de parede e lajes	113
4.2.3.1.4.	Interface entre painéis e instalações	114
4.2.3.1.5.	Interface entre painéis e esquadrias.....	114
4.2.3.1.6.	Revestimento e acabamento dos painéis	114

4.2.3.2.	Procedimento de execução	114
4.2.4.	<i>Avaliação técnica sobre o sistema</i>	128
4.2.4.1.	Desempenho estrutural	128
4.2.4.2.	Estanqueidade à água	130
4.2.4.3.	Desempenho térmico	131
4.2.4.4.	Desempenho acústico	133
4.2.4.5.	Durabilidade e manutenibilidade	133
4.2.4.6.	Segurança ao fogo	134
4.2.4.7.	Controle da qualidade do sistema	135
4.3.	Sistema Construtivo DHARMA.....	136
4.3.1.	<i>Introdução</i>	136
4.3.2.	<i>Descrição do sistema</i>	136
4.3.3.	<i>Informações e dados técnicos do sistema</i>	138
4.3.3.1.	Especificações e detalhes construtivos.....	138
4.3.3.1.1.	Formas	138
4.3.3.1.2.	Painel de parede	138
4.3.3.1.3.	Equipamentos	140
4.3.3.1.4.	Ligações entre painéis de parede.....	140
4.3.3.1.5.	Ligações entre painéis e instalações.....	141
4.3.3.1.6.	Interface entre painéis e esquadrias.....	142
4.3.3.1.7.	Revestimentos e acabamentos	142
4.3.3.2.	Procedimento de execução	143
4.3.4.	<i>Avaliação técnica sobre o sistema</i>	150
4.3.4.1.	Desempenho estrutural	150
4.3.4.2.	Estanqueidade à água	151
4.3.4.3.	Desempenho térmico	152
4.3.4.4.	Desempenho acústico	153
4.3.4.5.	Durabilidade e manutenibilidade	154
4.3.4.6.	Segurança ao fogo	154
4.3.4.7.	Controle da qualidade do sistema	154
4.4.	Sistema Construtivo PRECON	156
4.4.1.	<i>Introdução</i>	156
4.4.2.	<i>Descrição do sistema</i>	156
4.4.3.	<i>Informações e dados técnicos do sistema</i>	157

4.4.3.1.	Especificações e detalhes construtivos.....	157
4.4.3.2.	Procedimentos de execução dos painéis	161
4.4.3.3.	Procedimentos de montagem do sistema	166
4.4.3.4.	Interfaces dos painéis com a estrutura	169
4.4.4.	<i>Avaliação técnica sobre o sistema</i>	173
4.4.4.1.	Desempenho estrutural.....	173
4.4.4.2.	Estanqueidade à água	174
4.4.4.3.	Desempenho térmico.....	176
4.4.4.4.	Desempenho acústico.....	177
4.4.4.5.	Durabilidade e manutenibilidade	178
4.4.4.6.	Segurança ao fogo	179
4.4.4.7.	Controle de qualidade do sistema	179
4.5.	Sistema Construtivo OLÉ CASAS	181
4.5.1.	<i>Histórico sobre o sistema construtivo</i>	181
4.5.2.	<i>Descrição do sistema</i>	183
4.5.3.	<i>Informações e dados técnicos do sistema</i>	186
4.5.3.1.	Materiais, especificações e equipamentos.....	186
4.5.3.2.	Detalhes construtivos	186
4.5.3.3.	Procedimento de moldagem e montagem dos painéis	188
5.	METODOLOGIA	194
6.	AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DO SISTEMA OLÉ CASAS	
	196	
6.1.	Comparativo entre sistemas construtivos inovadores semelhantes	
	196	
6.2.	Protótipo para avaliações de desempenho	197
6.3.	Caracterização dos materiais e componentes	201
6.3.1.	<i>Caracterização do concreto</i>	201
6.3.2.	<i>Caracterização da argamassa</i>	203
6.3.3.	<i>Caracterização do bloco cerâmico</i>	205
6.3.4.	<i>Caracterização do aço</i>	206
6.3.5.	<i>Caracterização dos demais componentes do sistema</i>	206
6.4.	Desempenho estrutural.....	208
6.4.1.	<i>Ensaio de compressão excêntrica</i>	208
6.4.1.1.	Características do ensaio	208

6.4.1.2.	Resultados	214
6.4.2.	<i>Resistência ao impacto de corpo mole</i>	228
6.4.2.1.	Características do ensaio	228
6.4.2.2.	Resultados	230
6.4.3.	<i>Resistência ao impacto de corpo duro</i>	233
6.4.3.1.	Características do ensaio	233
6.4.3.2.	Resultados	234
6.4.4.	<i>Cargas verticais concentradas</i>	236
6.4.4.1.	Características do ensaio	236
6.4.4.2.	Resultados	239
6.4.5.	<i>Ações transmitidas por impactos nas portas</i>	239
6.4.5.1.	Características do ensaio	239
6.4.5.2.	Resultados	240
6.4.6.	<i>Verificação da resistência a cargas de rede de dormir</i>	240
6.4.6.1.	Características do ensaio	240
6.4.6.2.	Resultados	241
6.5.	Estanqueidade à água	242
6.5.1.	<i>Estanqueidade à água nas ligações entre painéis</i>	242
6.5.1.1.	Características do ensaio	242
6.5.1.2.	Resultados	243
6.5.2.	<i>Estanqueidade à água na interface painel-esquadria</i>	245
6.5.2.1.	Características do ensaio	245
6.5.2.2.	Resultados	246
6.6.	Durabilidade	248
6.6.1.	<i>Ação do calor e choque térmico na junta entre painéis</i>	248
6.6.1.1.	Características do ensaio	248
6.6.1.2.	Resultados	249
6.6.2.	<i>Ação do calor e choque térmico na junta entre painéis e pilar pré-moldado</i> 250	
6.6.2.1.	Características do ensaio	250
6.6.2.2.	Resultados	250
6.6.3.	<i>Arrancamento de revestimento</i>	251
6.6.3.1.	Características do ensaio	251
6.6.3.2.	Resultados	253

6.7.	Desempenho térmico	255
6.8.	Desempenho acústico	256
6.9.	Resistência ao fogo	256
7.	PROPOSIÇÃO DE SISTEMA PARA EDIFICAÇÃO TÉRREA MAIS UM PAVIMENTO	259
7.1.	Introdução.....	259
7.2.	Planta Baixa e Painéis.....	259
7.3.	Lajes	266
7.4.	Escada.....	270
7.5.	Coberta.....	273
7.6.	Demais subsistemas	273
8.	VERIFICAÇÃO DE CAPACIDADE ESTRUTURAL DO SISTEMA OLÉ PARA EDIFICAÇÃO TÉRREO MAIS UM PAVIMENTO	274
9.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	281
	REFERÊNCIAS	283

1. INTRODUÇÃO

1.1. Contextualização

O Brasil atualmente enfrenta um grande avanço na construção de habitações motivado pelo grande déficit habitacional existente e promovido e incentivado pelo Governo Federal com programas sociais, tais como o Minha Casa Minha Vida.

O déficit habitacional brasileiro é de 7.934.719 residências, representando 14,5% do total de domicílios existentes. Segundo Nardin et al. (2009), existe uma falta de articulação entre a oferta de moradia, infraestrutura e equipamentos, sendo responsabilidade do Estado, direta ou indiretamente, prover moradia a toda a população.

Para Freitas (1988) a industrialização é a solução para resolver o problema do déficit habitacional brasileiro, podendo essa industrialização ocorrer em três setores: componentes, subprodutos e módulos.

A criação de módulos pré-fabricados permite a obtenção de aspectos positivos que favorecem o processo construtivo, podendo se elencar como proposto por Barth et al. (2003) os seguintes itens:

- a) padronização de componentes utilizados para a construção dos módulos;
- b) facilita a ampliação de espaços seguindo a evolução das necessidades e condições financeiras dos usuários;
- c) permite utilizar linhas de montagem facilitando o planejamento e evitando retrabalhos; e
- d) torna mais rápida a construção, reduzindo o tempo de mão-de-obra e consequentemente os custos finais de produção.

Alguns sistemas construtivos foram desenvolvidos como, por exemplo, o de fabricação de casas pré-moldadas em concreto. Esse sistema permite a construção de casas com uma velocidade de execução maior quando comparado com sistemas de alvenaria comum, porém possui a desvantagem de não ser o tipo de estrutura adequada para regiões como o nordeste brasileiro devido ao calor associado da região. Entende-se, portanto que o sistema construtivo além de apresentar as vantagens elencadas por

Barth et al. (2003), precisa também atender as necessidade de conforto dos seus usuários. Outra desvantagem do sistema de casas pré-fabricadas em concreto é a dificuldade de realização de futuras modificações estruturais para atender aos desejos dos seus futuros moradores.

Outro sistema de casas pré-fabricadas são as casas fabricadas com painéis de plástico. Esse sistema possui a vantagem de ser de fácil execução, rápida montagem, possibilidade de modificações por parte do cliente, porém não atende ao aspecto cultural da população, a qual está acostumada a viver em habitações com outros materiais mais comuns utilizados na construção, tais como: bloco cerâmico e concreto.

Desta maneira, o sistema construtivo além de ser inovador e industrializado deve atender a essas solicitações dos seus futuros usuários citadas tais como: conforto, cultura e possibilidade de modificações.

O sistema a ser empregado deve também atender a solicitações exigidas por órgãos financiadores, tais como Caixa Econômica Federal (CEF). Como apresentado por Mello (2004), a CEF tem aceitado sistemas construtivos denominados não convencionais desde que homologados quanto ao seu desempenho técnico o qual deve ser avaliado através das diretrizes estabelecidas pelo Sistema Nacional de Avaliações Técnicas (SINAT). A CEF tem como intuito promover alternativas tecnologias que possam ser empregadas na construção de habitações e promover o financiamento.

O sistema construtivo Olé Casas constituído por painéis pré-fabricados de concreto, blocos cerâmicos e argamassa, atende, sob uma avaliação prévia, aos requisitos até aqui citados, possuindo um processo industrializado de produção, com custos reduzidos, padronizados, com rápida execução, com mão de obra com qualificação reduzida, com atendimento a cultura e possibilidade de futuras modificações. Todos os elementos utilizados na fabricação deste tipo de habitação possuem ampla aceitação no mercado local, tais como bloco cerâmico comum, argamassa, revestimentos argamassados e cobertura em madeira com telha colonial.

Esse sistema construtivo com vários aspectos positivos e que atende as solicitações iniciais dos clientes existe apenas na tipologia de residência com um pavimento térreo e ainda não foi avaliado e aprovado pela Diretriz SINAT N° 002.

1.2. Justificativa

A caracterização do sistema construtivo Olé Casas quanto ao seu desempenho técnico possibilitaria a utilização do mesmo para a produção de unidades do tipo térreo mais um pavimento.

Esse tipo de habitação do tipo térreo mais um pavimento associada ao processo de produção de forma industrializada, por sua vez, permitiria um aumento na oferta de moradia com fabricação em massa de unidades habitacionais suprimindo a grande demanda habitacional atualmente existente.

1.3. Problema de pesquisa

Diante do apresentado, tem-se como problema de pesquisa inicial a falta de conhecimento técnico do sistema construtivo Olé Casas quanto às exigências estabelecidas na Diretriz SINAT N° 002. Essas informações serviriam de embasamento para o desenvolvimento e avaliação do modelo do tipo térreo mais um pavimento.

A ausência de um modelo de habitação do tipo térreo mais um pavimento com a utilização do sistema construtivo Olé Casas torna-se o problema de pesquisa e objeto de estudo desse trabalho.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo geral

O objetivo geral do presente trabalho consiste em desenvolver um modelo de edificação do tipo térrea mais um pavimento que atenda as exigências estabelecidas na Diretriz SINAT N° 002, satisfazendo primordialmente o desempenho estrutural da edificação.

1.4.2. Objetivos específicos

Os objetivos específicos desse trabalho contemplam as análises de desempenho realizadas conforme a Diretriz SINAT N° 002 para o sistema Olé Casas e

os itens relativos à proposição e avaliação de desempenho estrutural do modelo térreo mais um pavimento proposto, sendo propostos os seguintes objetivos:

- a) Verificar resistência à compressão excêntrica;
- b) Verificar resistência ao impacto de corpo mole;
- c) Verificar resistência ao impacto de corpo duro;
- d) Verificar resistência às cargas verticais concentradas ou cargas suspensas;
- e) Verificar resistência às ações transmitidas pelo impacto de portas;
- f) Verificar resistência a cargas de rede de dormir;
- g) Verificar estanqueidade à água na ligação entre painéis antes e após o choque térmico;
- h) Verificar estanqueidade à água na interface painel-esquadria;
- i) Verificar resistência à ação do calor e choque térmico na ligação entre painéis;
- j) Verificar resistência à ação do calor e choque térmico na ligação entre painéis e pilar pré-moldado;
- k) Realizar estudo comparativo entre aderência do revestimento em regiões com e sem envelhecimento acelerado;
- l) Avaliar estudos realizados para o desempenho térmico do sistema;
- m) Avaliar estudos realizados para o desempenho acústico do sistema;
- n) Avaliar ensaio realizado para a resistência ao fogo do painel;
- o) Propor modelo de edificação do tipo térreo mais um pavimento detalhando os seus subsistemas escolhidos;
- p) Avaliar o desempenho estrutural da edificação proposta.

1.5. Estrutura do trabalho

O presente capítulo aborda os aspectos introdutórios desta pesquisa destacando a importância do tema em questão inserindo nos contextos atuais da habitação a nível nacional. Os objetivos propostos por esta pesquisa são aqui também apresentados e detalhados conhecendo-se o direcionamento do estudo realizado.

O Capítulo 2 aborda conceitos gerais relativos à industrialização, pré-fabricação, habitação social, verticalização das edificações, sistema construtivo e

processo construtivo. A abordagem desses assuntos dão subsídios à pesquisa desenvolvida caracterizando os principais termos e aspectos relacionados com o escopo do trabalho. O capítulo em questão também aborda o desempenho das edificações executadas com sistemas construtivos inovadores, sendo detalhado o assunto e explicada a importância da Diretriz SINAT N° 002.

O Capítulo 3 contempla a descrição de tecnologias construtivas empregadas atualmente no cenário brasileiro, destacando o uso de pré-lajes, escadas pré-fabricadas e cobertas pré-fabricadas. Nesse capítulo foram citadas algumas tecnologias como exemplo que serviram de subsídios para a elaboração do modelo de edificação do tipo térreo mais um pavimento proposta no Capítulo 7.

O Capítulo 4 detalha o sistema construtivo Olé Casas, bem como sistemas construtivos inovadores semelhantes que obtiveram o Documento de Avaliação Técnica (DATec) através do atendimento das exigências estabelecidas na Diretriz SINAT N° 002. Esse detalhamento dos sistemas é realizado apresentando as características dos materiais empregados, detalhes construtivos, processos de fabricação e montagem e avaliações técnicas, contemplando desempenho estrutural, acústico, térmico, estanqueidade à água, durabilidade, segurança ao fogo, manutenibilidade e controle de qualidade.

O Capítulo 5 apresenta a metodologia de pesquisa utilizada para o desenvolvimento do trabalho. Sendo definidos os modos de obtenção e tratamento dos dados.

O Capítulo 6 contempla as avaliações de desempenho conforme Diretriz SINAT N° 002 realizadas para o sistema construtivo Olé Casas, sendo os resultados obtidos por meio da realização de ensaios de campo, laboratório e estudos de projetos.

O Capítulo 7 apresenta um modelo de edificação do tipo térreo mais um pavimento proposto pelo autor. Os subsistemas da unidade são detalhados nesse capítulo e dão subsídios a avaliação desenvolvida no capítulo seguinte.

O Capítulo 8 realiza uma avaliação do desempenho estrutural do sistema construtivo Olé Casas utilizando-se de informações obtidas durante a realização do trabalho e apresentados no Capítulo 6 para o modelo proposto de edificação térreo mais um pavimento apresentada no Capítulo 7. A validação do sistema construtivo Olé Casas

para fabricação de unidades térrea com pavimento superior também é apresentada no Capítulo 8.

O Capítulo 9 apresenta as considerações finais da pesquisa, bem como sugestões para a realização de trabalhos futuros seguindo o tema aqui abordado.

2. CONCEITOS GERAIS

2.1. Industrialização e pré-fabricação

Anteriormente à revolução industrial os produtos eram fabricados em escala para atender uma demanda de menor consumo. Os bens de consumo eram produzidos artesanalmente e não possuíam uniformidade no seu processo de fabricação e nas suas características finais. As atividades de fabricação dos produtos eram centralizadas em artesãos e estes comandavam toda a cadeia produtiva.

Segundo Chiavenatto (2003), durante a revolução industrial, os artesãos e suas pequenas oficinas foram substituídos pelas fábricas dando lugar aos operários que possuíam suas atividades baseadas na divisão do trabalho. O crescente aumento da indústria pela ciência fez com que as habilidades do artesão fossem transferidas para o funcionamento de uma máquina, dando origem assim a mecanização dos processos. Para Chiavenatto (2003), esse avanço trouxe maior rapidez, em maior quantidade e com melhor qualidade para o produto final, possibilitando desta maneira uma redução nos custos de produção. Outra vantagem apontada por Chiavenatto (2003) é a substituição da força animal pela potência da máquina (primeiramente a vapor e em seguida à combustão) permitindo maior produção, economia de custos e conseqüente constância de tempo e qualidade na fabricação.

Para Duarte (1982), a indústria da construção civil sofreu evolução semelhante com mecanização dos processos construtivos, porém longe do patamar já atingido por indústrias como a automobilística.

Segundo Ordóñez (1974), a industrialização da construção “[...] é o emprego, de forma racional e mecanizada, de materiais, meios de transporte e técnicas construtivas, para se conseguir uma maior produtividade”.

Para Sabbatini (1989), a industrialização da construção:

“é um processo construtivo que, através de ações organizacionais e da implementação de inovações tecnológicas, métodos de trabalho e técnicas de planejamento e controle, objetiva incrementar a produtividade e o nível de produção e aprimorar o desempenho da atividade construtiva.”

De acordo com Sabbatini (1989), a industrialização na construção civil deve ter como objetivo a produção em maior quantidade de edificações pelo mesmo custo e melhor qualidade ou mesma quantidade, com mesma qualidade, porém com menor custo. Observa-se, portanto que a industrialização está sempre enviesada com um melhoramento do desempenho financeiro e atrelada a qualidade.

Conforme Franco (1992), a industrialização na construção é um “processo evolutivo que, através de ações organizacionais, e da implementação de inovações tecnológicas, de métodos de trabalho e de técnicas de planejamento e controle, tem como objetivo incrementar a produtividade e o nível de produção e aprimorar o desempenho da atividade construtiva.” A industrialização neste contexto indica que é um processo evolutivo subsidiado principalmente pela inovação tecnológica e a partir desta é possível à obtenção de resultados capazes de superar o estágio inicial de partida.

Para Duarte (1982), o conceito que melhor defini industrialização é “[...] a fabricação de produtos em grandes quantidades, os quais eram feitos tradicionalmente de uma maneira individual e artesanal, através de um procedimento que normalmente envolve [...]” quatro variáveis principais. A primeira variável, segundo Duarte (1982), é a sistematização dos produtos. Esta sistematização traduz-se primordialmente em padronização dos elementos. A padronização e a produção em larga escala possibilitou um nível mais avançado durante a Revolução Industrial que Brown et al. (2006) apresentou como era da produção em massa.

A segunda variável para Duarte (1982) é a especialização da mão de obra, significando uma divisão do trabalho em atividades mais simples, objetivando uma maior precisão e eficiência na realização das tarefas. Para a realização destas subatividades mais simples seria necessário um treinamento prévio da mão de obra o que, segundo Duarte (1982) não requer grande investimento inicial ou risco. Para Sebben (2007), a alta rotatividade do setor da construção civil, apresenta-se como um obstáculo para que investimentos em treinamentos ocorram por parte dos empregadores e desta maneira ocorra o que a autora chama de círculo vicioso. Sebben (2007) infere a partir de estudos realizados em campo que o treinamento e investimento na mão de obra poderiam vir a gerar um aumento da produtividade e qualidade superior no produto final.

A terceira variável para Duarte (1982) denomina-se concentração da produção e é entendida como a união da produção, organização, gerenciamento, compras e vendas, conquistando vantagem sobre a economia de escala, controle de qualidade e maior eficiência de inclusão no mercado existente.

A quarta e última variável é a mecanização e é entendida como a troca do trabalho animal ou humano pela operação de uma máquina, incluindo tanto operações de natureza física como intelectual. Thomaz (2001) descreve que em grande número vem sendo desenvolvidos ferramentas e equipamentos para a construção civil, com utilização direta nos processos ou como instrumentos de apoio à construção. Duarte (1982) atenta para o fato de que a mecanização é apenas um dos elementos da industrialização na construção civil e não a plenitude do fenômeno. Desta maneira, pode-se inferir que mesmo que a construção civil possua uma grande quantidade e variedade de máquinas e ferramentas não é possível caracterizá-la como industrializada.

A industrialização na Construção Civil apresenta três estágios de desenvolvimento os quais podem ser resumidos conforme o quadro a seguir proposto por Mounir (2000). O quadro mostra que o nível de industrialização apresenta processos elaborados e com pouca interferência da característica humana.

Quadro 1 – Estágios de desenvolvimento da Construção Civil

	Manufatura	Mecanização	Industrialização
Planejamento	Improvisação	Projeto	Planificação
Unidade produtiva	Individual	Empresa	Fábrica
Produção	Unitária	Unitária com máquinas	Massiva
Recursos /investimentos	Ferramentas manuais	Investimento em equipamentos	Investimento em máquinas

Fonte: Mounir (2000).

A pré-moldagem, conforme Mounir (2000), caracteriza-se como um processo de construção que está frequentemente relacionado com as definições de industrialização da construção e pré-fabricação. Segundo Koncz (1975), consiste em empregar um regime de produção industrial em elementos fabricados em grandes séries

e através do uso de métodos de produção em massa com montagem dos elementos em obra com o uso de equipamentos e sistemas de elevação.

Segundo Mounir (2000), a “[...] pré-moldagem aplicada à produção em grande escala resulta na pré-fabricação, que, por sua vez, é uma forma de buscar a industrialização na construção”. Entende-se portanto que a pré-fabricação segue um controle mais rigoroso de processo do que a simples pré-moldagem dos elementos.

A ABNT NBR 9062:2006 caracteriza o elemento pré-moldado como aquele que é moldado previamente e fora do local final de utilização na estrutura, enquanto que o elemento pré-fabricado possui essa mesma definição com o acréscimo de que é executado industrialmente, em instalações fixas de empresas específicas para a produção destes elementos.

Segundo Mounir (2000), a pré-moldagem possui duas diretrizes, sendo a primeira delas que o emprego dessa é utilizado para buscar a industrialização da construção por meio da pré-fabricação e a segunda que a racionalização é alcançada para a construção de estruturas de concreto.

2.2. Habitação social e verticalização das edificações

Segundo a Fundação João Pinheiro (2011), o déficit habitacional é um termo que está ligado diretamente às deficiências do estoque de habitações e se refere à necessidade de construção de novas moradias de maneira que essa oferta possa atender a essa demanda detectada por habitação. A deficiência de habitação pode ser classificada como a completa ausência de moradia ou também como uma das seguintes situações:

- a) unidades habitacionais em precárias condições para a habitação;
- b) grande densidade de famílias em um mesmo imóvel;
- c) habitantes com impossibilidade de pagamento de aluguel;
- d) adensamento excessivo de moradores em domicílios alugados; e
- e) ocupação de edificações que não possuem fins residenciais.

O déficit habitacional é constituído por dois tipos de déficits, de acordo com a Fundação João Pinheiro (2011), os quais são: déficit por reposição de estoque e déficit por incremento de estoque. O primeiro refere-se a imóveis que não possuem paredes de

alvenaria ou madeira e apresenta risco à saúde dos seus moradores, sendo também denominados de domicílios rústicos. Imóveis antigos que necessitam de uma reforma e também apresentam riscos de vida a seus habitantes também são incluídos nessa categoria. O segundo termo contempla os domicílios executados de maneira improvisada, a coabitação familiar e dois tipos de domicílios alugados. Os domicílios improvisados, segundo Azevedo et al. (2007), engloba todos os domicílios sem fins residenciais que, porém são utilizados como moradia indicando assim a carência por novas unidades domiciliares.

A coabitação familiar, segundo a Fundação João Pinheiro (2011), é compreendida da soma das famílias conviventes secundárias que vivem junto a outra família no mesmo domicílio. Este componente é um dos mais expressivos do déficit habitacional.

Os tipos de habitações alugadas são constituídos de duas situações encontradas na sociedade brasileira: domicílios alugados com forte adensamento populacional e aqueles em que famílias com condições financeiras baixas (até três salários mínimos) empregam 30% ou mais da sua renda para o locador. O caso de domicílios alugados com forte adensamento populacional era anteriormente considerado nos estudos do IBGE como uma forma de inadequação de domicílios, porém como as residências não podem ser modificadas, pois os moradores não são proprietários, incluiu-se essa categoria como déficit habitacional, ou seja, necessitam de um novo imóvel para habitação. O segundo tipo de habitações alugadas necessitam de uma avaliação com cautela, pois existem situações em que as famílias despendem mais de 30% da sua renda não por necessidade, mas para atender um determinado nível e padrão social desejado.

O Centro de Estatística e Informações da Fundação João Pinheiro é o núcleo responsável por fazer o levantamento do déficit habitacional brasileiro. O centro conta com o incentivo do Banco Mundial no âmbito do contrato de empréstimo para Assistência Técnica ao Setor Habitacional. A Secretaria Nacional de Habitação do Ministério das Cidades é a responsável por publicar esses estudos desenvolvidos relacionados como déficit habitacional.

Quadro 2 – Componentes do déficit habitacional e detalhamento

Especificação	Componentes	Detalhamento
Déficit Habitacional	a) Habitações precárias - Domicílios rústicos - Domicílios improvisados	Cálculo para áreas: Urbana: - total
	b) Coabitação familiar - Cômodos alugados, cedidos e próprios - Famílias conviventes secundárias com intenção de constituir domicílio exclusivo	- aglomerado rural de extensão urbana b) Rural (à exceção do componente c) c) Aglomerados subnormais
	c) Ônus excessivo com aluguel	Cálculo por faixas de renda familiar em salários
	d) Adensamento excessivo de moradores em domicílios alugados	mínimos para áreas urbanas

Fonte: Fundação João Pinheiro (2011).

Os últimos dados publicados pelo Ministério das Cidades pertencem ao ano de 2008 e estão presente no relatório com o título Déficit Habitacional no Brasil 2008 (2011). O intuito da secretaria segundo o relatório publicado é preencher a lacuna existente de estudos relacionados ao tema e produzir uma série histórica do déficit habitacional brasileiro. Os anos anteriores em que o estudo foi publicado são 1991, 2000, 2005, 2006 e 2007.

Para Azevedo et al. (2007) a metodologia utilizada pela Fundação João Pinheiro, iniciada no ano de 1995, teve uma contribuição importante para a rediscussão do chamado “déficit habitacional” por possuir uma abordagem sólida, amplitude e divulgação dos resultados. Essa metodologia vem sendo empregada e aprimorada por mais de uma década e seu principal aporte foi rearticular inúmeras contribuições realizadas anteriormente de forma inovadora.

A metodologia empregada pela Fundação João Pinheiro se utiliza dos dados coletados através do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) por meio do levantamento denominado de Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios (PNAD). Os resultados dessa pesquisa produzem informações com relação às características gerais da população, migração, educação, trabalho, famílias, domicílios e rendimento (IBGE, 2012). A PNAD do ano de 2008 foi a utilizada como fonte de dados para o cálculo do déficit habitacional de mesmo ano pela Fundação João Pinheiro (FJP).

O relatório elaboração pela FPJ tem periodicidade anual e validade para o todo o Brasil, Unidades da Federação e regiões metropolitanas selecionadas. Como a coleta dos dados é feita por amostragem e apresenta algumas especificidades adicionam-se algumas limitações à metodologia aplicada pela Fundação:

- a) o estudo é restrito às bases territoriais pesquisadas. Para estudos mais específicos de município seria necessário a utilização de dados coletados através dos censos demográficos;
- b) o déficit habitacional estimado abrange nove regiões metropolitanas que são historicamente pesquisadas pela PNAD, as quais são: Belém, Fortaleza, Recife, Salvador, Belo Horizonte, Rio de Janeiro, São Paulo, Curitiba e Porto Alegre;
- c) são apresentadas informações para os aglomerados subnormais (favelas) que não condizem com a realidade, sendo apresentada uma quantidade de pessoas inferior a aquela que realmente residem em tais áreas;
- d) não se tem informações irrefutáveis com relação a depreciação dos imóveis.

Melhorias na metodologia empregada pela Fundação foram empregadas ao longo dos anos de estudo e publicação dos resultados. Essas melhorias buscaram aprimorar e aproximar os números estimados a realidade de maneira a se obter déficits habitacionais representativos. Segundo o relatório Déficit Habitacional no Brasil 2008, houve aprimoramentos na forma de avaliação dos seguintes componentes: domicílios improvisados, coabitação familiar e famílias conviventes, adensamento excessivo e cobertura inadequada.

O déficit habitacional estimado, ou seja, aquele que engloba as nove regiões metropolitanas citadas anteriormente, corresponde a 5,546 milhões de domicílios, sendo

83,5% localizados em áreas urbanas. Em relação aos domicílios particulares permanentes do país, essa quantidade representa 9,6% do total.

A Tabela 1 apresenta o déficit habitacional e o percentual em relação aos domicílios particulares permanentes por situação do domicílio, segundo regiões geográficas do país.

Tabela 1 – Déficit habitacional e percentual em relação aos domicílios particulares permanentes

Região	Déficit Habitacional				Percentual em relação aos domicílios particulares permanentes			
	Total	Urbano		Rural	Total	Urbano		Rural
		Total	Rural de extensão urbana			Total	Rural de extensão urbana	
Norte	555.130	448.072	2.510	107.058	13,8	14,2	10,4	12,4
Nordeste	1.946.735	1.305.628	11.085	641.107	13,0	11,7	13,4	16,8
Sudeste	2.046.312	1.969.424	10.612	76.888	8,1	8,3	6,5	4,5
Sul	580.893	519.080	1.668	61.813	6,5	6,9	23,5	4,2
Centro-Oeste	417.240	387.628	2.024	29.612	9,8	10,4	32,1	5,6
Brasil	5.546.310	4.629.832	27.899	916.478	9,6	9,4	9,8	11,0

Fonte: Fundação João Pinheiro (2011).

Por meio dos valores apresentados é possível se inferir que 36,9% do déficit habitacional se localizam na região Sudeste, correspondendo a um valor de 2,046 milhões de unidades. A região Nordeste é a segunda com maior déficit representando 35,1% do total o que corresponde a 1,946 milhões de moradias. Os valores absolutos dessas duas regiões são semelhantes, porém são diferenciados pela sua estratificação, pois no Nordeste existe uma maior carência de unidades habitacionais em áreas rurais do que no Sudeste. Na região Sudeste o déficit habitacional concentra-se principalmente nas regiões urbanas, sendo observada apenas uma carência de 76.888 unidades em zonas rurais.

Os percentuais em relação aos domicílios particulares permanente mostra que no Brasil o déficit habitacional representa 9,4% dos domicílios em zonas urbanas e 11% dos domicílios em zonas rurais. Com relação ao Sudeste e Nordeste existe uma diferença na proporção com os domicílios particulares permanentes. No Nordeste o déficit habitacional representa 13% dos domicílios particulares permanentes, sendo 11,7% dos situados em áreas urbanas e 16,8% em áreas rurais. Na região Sudeste, porém o déficit habitacional representa 8,1% dos domicílios particulares permanentes, sendo 8,3% dos situados em áreas urbanas e 4,5% dos situados em áreas rurais. Essa diferença demonstra que a região Nordeste possui uma proporção maior no seu déficit habitacional em relação aos domicílios particulares permanentes, ou seja, necessita de mais moradias novas, por possuir menos domicílios particulares permanentes, em relação a região Sudeste que apresenta um déficit habitacional absoluto superior.

A habitação social entra nesse contexto com o intuito de atender a essa demanda existente por habitação no Brasil. Segundo Abiko (2006) o regime de multirão, também conhecido como sistema de ajuda mútua, foi uma alternativa para a construção habitacional baseada no esforço coletivo e organizado de uma determinada população para a construção de suas próprias habitações. Esse regime, porém não obteve muito sucesso, segundo o mesmo autor, pois não era executada por mão de obra capacitada, possuía prazos de conclusão de empreendimentos com duração superiores a 24 meses e menor produtividade da mão de obra predominantemente não qualificada.

Segundo Formoso (2012), o ramo da construção civil para habitação social atualmente no Brasil é dominado por empresas construtoras que estão elevando a qualidade dos seus produtos e serviços associando em paralelo a diminuição de prazos e custos de construção. Segundo esse mesmo autor, as empresas necessitam desse nível de melhoria para garantir a própria subsistência no mercado, pois esses empreendimentos possuem margens de lucro limitadas e que são em sua maior parte controlados pela Caixa Econômica Federal (CEF) que atua como agente de políticas habitacionais do Governo Federal Brasileiro.

O programa do Governo Federal denominado Minha Casa Minha Vida (MCMV) é instrumento que tem como objetivo atender às necessidades de habitação da população de baixa renda em áreas urbanas, garantindo o acesso à moradia digna com padrões mínimos de sustentabilidade, segurança e habitabilidade, como descrito pelo

Ministério das Cidades. O programa opera através da concessão de financiamentos a beneficiários organizados de forma associativa por uma Entidade Organizadora (EO) com recursos oriundos do Orçamento Geral da União, que são aportados ao Fundo de Desenvolvimento Social. Este programa é executado pela Caixa Econômica Federal em parceria com estados, municípios e iniciativa privada e visa construir um milhão de habitações em todo o país, para famílias com renda entre zero e dez salários mínimos.

O programa MCMV passou por um corte de 5,1 bilhões durante o ano de exercício 2011 e provém do corte de 50 bilhões de reais anunciado pela presidente Dilma Rousseff. Essa medida teve como intuito segundo representantes do Governo a garantia do crescimento sustentável de maneira que possa ser combatido o aumento exagerado da inflação.

No estado do Ceará foram contratados apenas 37,6% das unidades habitacionais que estavam previstas, sendo a nível nacional a meta atingida por apenas 9 estados das 27 unidades da Federação. Uma das justificativas dada pela Caixa para o baixo desempenho no estado do Ceará é a falta de terrenos com infraestrutura adequada em preços compatíveis ao programa. O segundo pior desempenho do programa a nível nacional foi o observado no Estado do Ceará nos últimos anos.

Ao nível municipal, através de convênio firmado entre a Prefeitura de Fortaleza e a Caixa Econômica Federal, foi estabelecida uma parceria para realização do cadastramento e contribuições com as análises e acompanhamentos dos projetos habitacionais para a faixa de renda de até três salários mínimos do programa. Através desse programa a Prefeitura espera atender 15.000 famílias.

Conforme percebido durante o emprego do programa MCMV no estado do Ceará, a falta de terrenos foi um dos fatores determinantes para a continuidade e crescimento do número de unidades entregues para a população. A verticalização das edificações insere-se nesse contexto contribuindo de maneira positiva para uma maior taxa de ocupação populacional em uma área reduzida, aumentando desta maneira a oferta de unidades habitacionais e contribuindo para o combate ao déficit habitacional.

Conforme Ramires (2000), a verticalização das cidades ocorre devido à atuação de diferentes atores sociais e interesses econômicos que envolvem a estruturação interna das cidades e não associada a uma consequência natural da

urbanização. Segundo este mesmo autor, a verticalização apresenta características específicas para as cidades brasileiras podendo se citar entre elas:

- a) consiste num fato típico dos tempos modernos, sendo esta forma de morar bastante aceita pela sociedade brasileira, apesar de décadas anteriores serem habitações próprias para a classe operária;
- b) demonstra uma revolução na forma de construir representando a significância do domínio da tecnologia e técnicas de produção no espaço urbano;
- c) mudança nos espaços municipais sendo sob esses aspectos observadas alterações na estrutura social, valor e uso do solo;
- d) atuação do Poder Público com o intuito de disciplinar através de zoneamentos, definição de dimensões das edificações, determinação de taxas de ocupação e índices de aproveitamento de lotes.

2.3. Sistema construtivo e processo construtivo

Segundo Sabbatini (1989) processo construtivo é “[...] um organizado e bem definido modo de se construir um edifício. Um específico processo construtivo caracteriza-se pelo seu particular conjunto de métodos utilizado na construção da estrutura e das vedações do edifício”.

Sistema construtivo para este mesmo autor é definido como “[...] processo construtivo de elevados níveis de industrialização e de organização, constituído por um conjunto de elementos e componente inter-relacionados e completamente integrados pelo processo”. Desta maneira, sistema construtivo caracteriza-se como um processo construtivo mais complexo, com emprego de recursos tecnológicos e atividades bem definidas.

A norma ABNT NBR 15575 define sistema como a maior parte funcional do edifício com um conjunto de elementos e componentes que atendem uma macrofunção durante a vida útil de projeto da edificação.

2.4. Desempenho das edificações executadas com sistemas construtivos inovadores

Sistemas construtivos inovadores como o abordado no presente trabalho, não possuem referências normativas principais que os avalie por completo se atendo aos

detalhes do sistema. Esses sistemas enquadram-se nos novos produtos para a construção e são avaliados quanto ao desempenho através de diretrizes elaboradas pelo Sistema Nacional de Avaliações Técnicas (SINAT). O projeto SINAT é integrante do Programa Brasileiro da Qualidade e Produtividade do Habitat (PBQP-H) e vinculado a Secretaria Nacional da Habitação do Ministério das Cidades, tendo como objetivo principal mobilizar a comunidade técnica nacional para dar suporte a operacionalização de procedimentos regularizados perante toda a cadeia produtiva da construção civil para os produtos inovadores desenvolvidos com utilização nos processos de construção.

O regimento do SINAT caracteriza produto inovador como sistema ou subsistema que não seja avaliado por norma brasileira e não tenha histórico de uso no território nacional, sendo incluídos também processos reinventados quando comparados com os processos convencionais da construção civil brasileira.

O SINAT, conforme apresentado no seu endereço eletrônico, possui algumas atribuições sendo a seguir listadas algumas delas:

- a) promover estímulo à inovação tecnológica;
- b) aumentar a quantidade de alternativas tecnológicas disponíveis para a produção habitacional;
- c) aumentar a competitividade do setor produtivo;
- d) preencher lacunas de normalização técnica prescritiva; e
- e) harmonizar procedimentos para a avaliação de novos produtos.

O SINAT é composto por uma comissão nacional, um comitê técnico e um grupo especializado. A Comissão Nacional do SINAT (CN-SINAT) é a instância superior do SINAT, sendo constituída por representantes do Governo, sociedade civil e da cadeia produtiva da construção civil. Essa comissão nacional é responsável pela manutenção do funcionamento do SINAT, autorização para a participação das Instituições Técnicas Avaliadoras (ITA) e a concessão de documentos de avaliação técnica (DATec).

As Instituições Técnicas Avaliadoras são responsáveis pela condução da avaliação técnica, elaboração de relatórios técnicos de avaliação de produtos inovadores da construção civil e a proposição de diretrizes para avaliação técnica de produtos e documentos de avaliação técnica. O DATec consiste no documento que contém uma

síntese dos resultados da avaliação do produto e é elaborado pela ITA, tendo caráter de divulgação a nível nacional. Os resultados detalhados da avaliação do produto inovador constam no Relatório Técnico de Avaliação (RTA) elaborado também pela ITA, sendo o seu acesso restrito.

O Comitê Técnico do SINAT (CT-SINAT) é a instância de avaliação técnica do SINAT e tem como principal função harmonizar diretrizes para avaliação de produtos inovadores a serem utilizados na construção civil, bem como harmonizar documentos de avaliação técnica concedidos no âmbito do SINAT.

O Grupo Especializado do SINAT (GE-SINAT) é responsável por fornecer instruções e conhecimentos de apoio ao SINAT, sendo composto por especialistas da construção civil, com conhecimento e capacitação técnica para determinado assunto avaliado. Esse grupo tem como função principal de analisar e elaborar documentos técnicos para determinado setor produtivo conforme as demandas do Sistema.

O SINAT elabora com o uso da sua estrutura Diretriz para avaliação técnica de produtos (Diretriz SINAT) que são documentos contendo diretrizes para avaliação técnica de produtos, incluindo requisitos e critérios de desempenho, contando também métodos de avaliação a serem empregados durante a avaliação técnica.

Sob essas condições, o SINAT elaborou a Diretriz SINAT N° 002, atualmente em sua segunda revisão (Revisão 01), que tem como objetos de avaliação sistemas construtivos compostos por painéis estruturais e não estruturais pré-moldados, com seções transversais compostas por concreto, concreto com alvéolos e vazios e nervuras de concreto com materiais de enchimento e revestimento.

A Diretriz SINAT N°002 baseia as suas avaliações nas normas brasileiras, padrões americanos e europeus. A norma brasileira ABNT NBR 15575 é a mais utilizada para as avaliações realizadas nessa Diretriz. Esta norma estabelece requisitos e critérios de desempenho que se aplicam às edificações habitacionais atendendo a todos os seus subsistemas inseridos nas habitações. A norma apresenta ressalvas necessárias para o caso de exigências aplicáveis somente para as edificações com até cinco pavimentos, não sendo esta norma aplicada para obras concluídas, obras de reforma ou retrofit e edificações provisórias, conforme o Guia Orientativo para Atendimento à Norma ABNT NBR 15575/2013. A norma apresenta requisitos de desempenho,

critérios de desempenho e respectivos métodos de avaliação para cada um dos aspectos relacionados com: aspectos gerais das edificações, sistemas estruturais, sistemas de pisos, sistemas de vedações verticais internas e externas, sistemas de coberturas e hidrossanitários. A descrição detalhada desta norma não é objetivo específico desse trabalho e, portanto não será aqui realizada, porém o conteúdo da norma servirá como referência normativa para todas as avaliações desenvolvidas nessa pesquisa.

3. TECNOLOGIAS CONSTRUTIVAS

3.1. Introdução

O mercado brasileiro atual ainda é muito restrito quanto ao uso de tecnologias construtivas perdendo em competitividade para o mercado internacional. Segundo Thomaz (2001), o mercado da construção civil é um dos setores que menos agrega tecnologia aos seus processos quando comparado com outras indústrias e somente agora nos últimos dez anos começa a investir em recursos tecnológicos mais modernos.

Para Schwark (2006), existem algumas razões quanto a esta acomodação do setor da construção civil no que diz respeito quanto ao uso de tecnologias construtivas inovadoras. Estas explicações podem ser relacionadas em três subconjuntos de fatores sendo o primeiro agrupado em assuntos relacionados à organização do setor, o segundo à conjuntura do país e o último, à cultura da construção civil.

O setor da construção civil é pulverizado e dominado por um grande número de pequenas empresas que não possuem capacidades estruturais para se dedicar a inovação, sendo este ramo da inovação predominantemente explorado pelas grandes empresas. O setor da construção civil por sua vez, mesmo que de maneira reduzida, promoveu iniciativas de agrupamentos para fortalecimento do setor, porém sem contemplar um objetivo essencial denominado inovação.

A conjuntura atual do país limita o incentivo a inovação por meio de pensamento errôneo de que a introdução de novas tecnologias e processos construtivos melhorados reduz o emprego de mão de obra aumentando assim o desemprego populacional. Pesquisas realizadas pelo Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA) apontam que empresas mais inovadoras apresentaram números de empregos formais superiores ao da economia nacional no período de 2000 a 2004, sendo o valor nacional de 19% superado em dez pontos percentuais. As próprias leis trabalhistas existentes no Brasil também favorecem a não desenvolvimento e empenho dos colaboradores nas empresas que trabalham uma vez que estas leis não estabelecem vínculos com a empresa e não existem incentivos ou estímulos ao crescimento do profissional por parte do empregador. A utilização de trabalhadores no quadro de

funcionários da empresa sem o mínimo de instrução ou qualificação profissional devido a necessidade de atendimento de políticas sociais interfere no rendimento produtivo bem como impede o emprego de estratégias de inovação. As altas taxas de juros e tributação do Brasil impedem de maneira significativa a destinação de recursos para a inovação por parte das empresas tonando esta área de desenvolvimento necessário à empresa limitado ou muitas vezes inexistente.

A cultura da indústria da construção civil brasileira, por sua vez, é marcada pelo emprego da prática e experiência dos profissionais ao invés do estudo racional das tecnologias e desenvolvimento científico. Desta maneira, empregam-se muitas vezes sistemas e métodos antigos sem economia de recursos, enquanto que poderiam estar sendo empregados meios mais econômicos, sustentáveis e produtivos ao processo de construção.

A racionalidade, economia de insumos, redução da quantidade de esforço físico e mecanização dos processos tornam-se cada vez mais atuantes e presentes nos avanços tecnológicos da construção civil devido às necessidades sociais e mutação acelerada do mercado como um todo, como aponta Schwark (2006).

Segundo Schwark (2006), na atual conjuntura do setor da construção civil não há nada que indique a inovação não se torne cada vez mais necessária para atender as demandas atuais principalmente para a construção de habitações devido ao grande déficit habitacional brasileiro.

Com esta abordagem, o capítulo atual se propõe a apresentar tecnologias construtivas que foram desenvolvidas e estão sendo empregadas parcialmente na indústria da construção civil no cenário atual. Estas tecnologias servirão de subsídio para o desenvolvimento do modelo proposto por este trabalho para um sistema construtivo com paredes pré-fabricadas com blocos cerâmicos e concreto armado para unidades térreas mais um pavimento superior.

3.2. Pré-lajes

3.2.1. Descrição geral

As pré-lajes foram desenvolvidas para suportarem o processo de fabricação da laje sem a necessidade de montagem de tablado de madeira para execução da concretagem. O sistema de formas para estas lajes é reduzido apenas ao posicionamento de escoras metálicas para suporte dos vãos das placas pré-moldadas de concreto, portanto reduz-se consideravelmente o emprego de mão de obra e recursos para a fabricação de lajes no local definitivo e aumenta o nível de industrialização da obra.

As pré-lajes unidirecionais são definidas pela ABNT NBR 14860-1:2002 através dos seguintes itens a seguir:

- a) constituídas por nervuras principais longitudinais dispostas em uma única direção;
- b) placas de espessura de 3,0 cm a 5,0 cm e larguras padronizadas;
- c) constituídas por concreto estrutural;
- d) produzidas industrialmente fora do local de utilização definitivo da estrutura, ou mesmo em canteiro de obra;
- e) executadas sob rigorosas condições de controle de qualidade.

As pré-lajes segundo a ANBT NBR 14860-1:2002 podem englobar a armadura inferior de tração total ou parcialmente integrando-a a seção de concreto da nervura. O cobrimento desta armadura deve obedecer ao que está estabelecido na ABNT NBR 9062:2006.

As pré-lajes de concreto armado podem ser pré-laje treliçada ou protendida. As treliçadas, como o próprio nome indica, são constituídas por treliças eletrossoldadas, treliças estas constituídas por banzos superiores e inferiores conectados por fios de aço denominados diagonais. A figura a seguir mostra uma seção das pré-lajes treliçadas.

Figura 1 – Pré-laje treliçada



Fonte: ABNT NBR 14860-1:2002.

A pré-laje protendida por sua vez não possui treliças e apenas a armadura inferior aplicação da protensão durante o processo de fabricação. A figura a seguir mostra uma seção das pré-lajes protendidas.

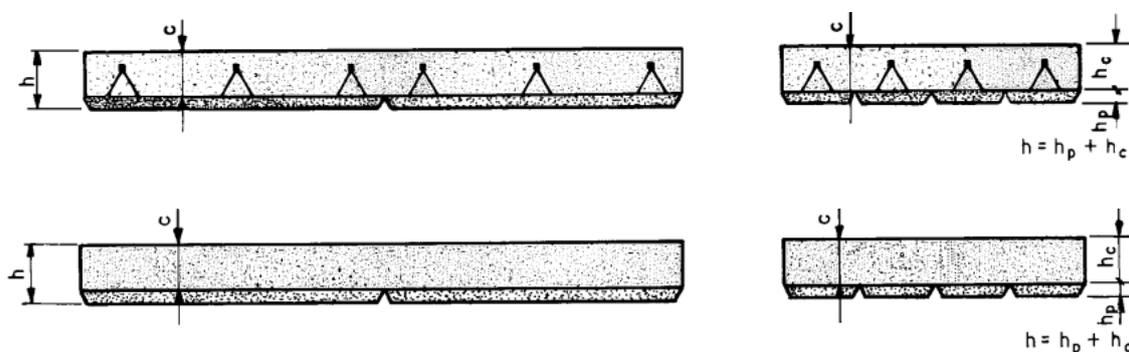
Figura 2 – Pré-laje protendida



Fonte: ABNT NBR 14860-1:2002.

A altura h_p indicada nas figuras anteriores indica a espessura das pré-lajes podendo estas variar entre 3,0 cm a 5,0 cm de espessura, como indicado anteriormente. A pré-laje recebe sobre si uma placa superior formada por concreto complementar denominada de capa (c). As lajes maciças com pré-laje possuem altura total final (h) após a execução da capa, possuindo esta uma espessura indicada por h_c na figura a seguir.

Figura 3 – Laje maciça com pré-laje treliçada e protendida respectivamente



Fonte: ABNT NBR 14860-1:2002.

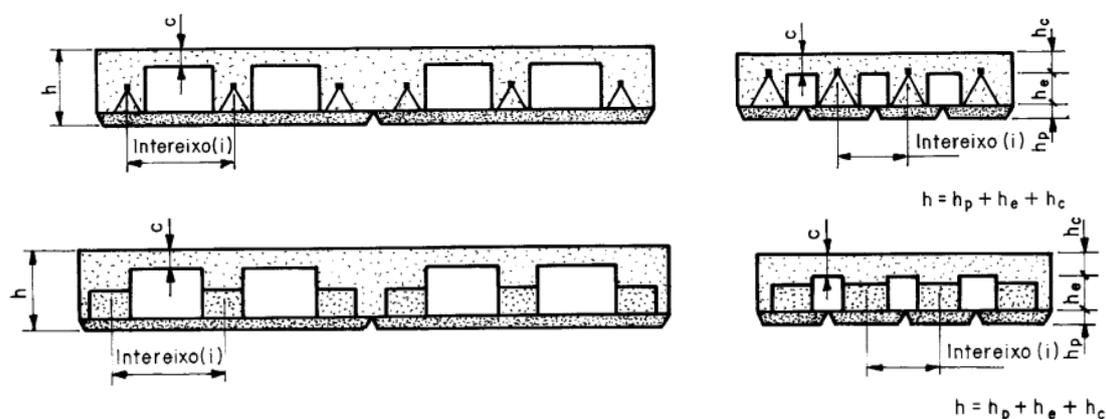
O concreto complementar deve ser preparado conforme estabelecido na ABNT NBR 12655:2006, sendo adicionado na obra com a resistência, trabalhabilidade e espessuras especificadas conforme o projeto específico da laje e o detalhamento da execução.

A camada superior das lajes fabricadas com pré-lajes recebem uma armadura complementar adicionada durante a montagem da mesma na obra. Essas armaduras complementares podem ser dos seguintes tipos conforme indicado pela ABNT NBR 14860-1:2002:

- a) longitudinal (s_{ct}): armadura utilizada quando é impossível incluir na pré-laje toda a armadura passiva inferior de tração (f_{at}) necessária;
- b) transversal (s_T): armadura que integra a armadura inferior das nervuras transversais de travamento, quando houver necessidade;
- c) superior de tração (s_{st}): armadura disposta sobre os apoios nas extremidades das pré-lajes, sob mesmo alinhamento das nervuras longitudinais e posicionadas na capa. Estas armaduras combatem o momento fletor negativo conforme projeto da laje;
- d) outras: estas armaduras são especificadas de acordo com o projeto havendo necessidade do emprego de armaduras particulares.

As lajes fabricadas com pré-lajes podem possuir também elementos de enchimento tornando a laje final com característica de laje nervurada. As lajes nervuradas podem ser com pré-lajes treliçadas ou pré-lajes protendidas. Os elementos de enchimento são formados por componentes pré-fabricados de materiais inertes diversos. Estes elementos podem ser maciços ou vazados, intercalados entre as nervuras das pré-lajes, possuindo a função principal de reduzir o volume de concreto e o conseqüente peso próprio da laje. A figura a seguir apresenta duas lajes nervuradas fabricadas com pré-lajes sendo a primeira com pré-laje treliçada e a segunda com pré-laje protendida. A medida (i) indicada nas figuras a seguir refere-se a distância entre eixos das pré-lajes.

Figura 4 – Laje nervurada com pré-laje treliçada e protendida respectivamente



Fonte: ABNT NBR 14860-1:2002.

O dimensionamento das pré-lajes deve ser elaborado conforme as referências normativas constantes na ABNT NBR 6118:2007 e ABNR NBR 9062:2006,

bem como o uso dos projetos da obra em questão conforme estabelece a ABNT NBR 14860-1:2002.

3.2.2. *Altura total da laje*

A altura total da laje fabricada com pré-laje é definida segundo a ABNT NBR 14860-1:2002 em função da altura que o enchimento a ser utilizado deve possuir e da capa mínima do cobrimento complementar com concreto. A tabela a seguir mostra os valores determinado por norma para estas dimensões tanto para painéis de pré-laje treliçados como protendidos.

Tabela 2 – Altura total de laje com pré-laje treliçada e protendida

Altura total da laje	Altura total de enchimento	Capa mínima
Até 12,0	Maciço	-
13,0 ; 14,0	7,0	3,0 ; 4,0
15,0 ; 16,0	8,0	4,0 ; 5,0
17,0 ; 18,0	10,0	4,0 ; 5,0
19,0 ; 20,0	12,0	4,0 ; 5,0
23,0 ; 24,0	16,0	4,0 ; 5,0
27,0 ; 28,0	20,0	4,0 ; 5,0
32,0 ; 33,0	24,0	5,0 ; 6,0
37,0 ; 38,0	29,0	5,0 ; 6,0

Fonte: ABNT NBR 14860-1:2002.

As pré-lajes devem possuir designação conforme recomenda a ABNT NBR 14860-1:2002, sendo composto inicialmente pela sigla “PT” para painel treliçado e “PP” para painel protendido. Após essa indicação, especifica-se a característica estrutural da laje com “N” para laje nervurada e “M” para laje maciça. Em seguida, apresenta-se através de algarismos arábicos a altura total da laje, em seguida, entre parênteses, expressa-se a espessura da pré-laje, a altura do elemento de enchimento e da capa de cobrimento complementar todos separados pelo símbolo “+”. Desta maneira, tomemos como exemplo a seguinte indicação: PT - N 16 (3+8+5). Esta referência indica

uma pré-laje composta por painel treliçado do tipo nervurada com altura total de dezesseis centímetros, sendo três centímetros de espessura da pré-laje, oito centímetros da altura do elemento de enchimento e cinco centímetro da espessura da capa de cobertura complementar.

3.2.3. Concreto para pré-lajes

O concreto a ser empregado na fabricação da pré-laje e na capa complementar deve atender às especificações da ABNT NBR 6118:2007 (Projeto de estruturas de concreto – Procedimento), ABNT NBR 8953:2009 (Concreto para fins estruturais – Classificação pela massa específica, por grupos de resistência e consistência), ABNT NBR 12654:2000 (Controle tecnológico de materiais e componentes do concreto – Procedimento) e ABNT NBR 12655:2006 (Concreto de cimento Portland – Preparo, controle e recebimento – Procedimento). A resistência mínima exigida por norma para este concreto é a classe C20, ou seja, o correspondente a resistência característica à compressão aos 28 dias de 20 MPa.

Verifica-se, portanto que o concreto a ser utilizado na fabricação da pré-laje é convencional e amplamente estudado e normatizado conforme apresentado anteriormente, não carecendo de emprego de processos diferenciados para a sua fabricação.

3.2.4. Aço para pré-lajes

O aço a ser empregado na fabricação das pré-lajes deve apresentar característica conforme mostrado na tabela a seguir. Esta tabela indica as barras de aço, telas eletrossoldadas, fios de aço e cordoalhas para protensão e armadura treliçada eletrossoldada que devem ser utilizadas conforme estabelecido pelas normas brasileiras em vigência. A tabela também apresenta o diâmetro nominal mínimo para cada um desses produtos a serem empregados na armadura das pré-lajes, bem como o diâmetro nominal máximo permitido.

Tabela 3 – Aço para utilização em pré-lajes

Produto	Norma	Diâmetro nominal mínimo (mm)	Diâmetro nominal máximo (mm)
Barras ou fios de aço CA-50 ou CA-60	NBR 7480:2007	6,3 (CA-50) 4,2 (CA-60)	20,0 (CA-50) 10,0 (CA-60)
Tela de aço eletrossoldada	NBR 7481:1990	3,4	-
Fios de aço para protensão	NBR 7482:2008	3,0	-
Cordoalhas de aço para protensão	NBR 7483:2008	3 x 3,0	-
Armadura treliçada eletrossoldada	NBR 14862:2002	Diagonal: 7,0 Banzo superior: 6,0 Banzo inferior: 4,2	Diagonal: 7,0 Banzo superior: 12,5 Banzo inferior: 12,5

Fonte: ABNT NBR 14860-1:2002.

3.2.5. Elementos de enchimento para pré-lajes

Os elementos de enchimento para as pré-lajes devem possuir características que atendam aos requisitos propostos pela ABNT NBR 14860-1:2002. Dentre esses requisitos pode-se citar para elementos vazadas ou maciços as seguintes características:

- a) Compostos por materiais leves;
- b) Suficientemente rígidos;
- c) Não proporcionem danos ao concreto e às armaduras;
- d) Apresentar resistência suficiente para suportar à carga de trabalho durante a montagem da laje;
- e) Fixação possibilitada por intertravamento para evitar movimentação durante a concretagem.

As características desses elementos de enchimento também devem ser avaliadas quanto à aparência, cor, rebarbas, textura, ausência de agentes desmoldantes na superfície e o produtor deve apresentar garantias de qualidade do seu produto. As dimensões desses elementos devem possuir valores conforme apresentado anteriormente e deve manter as suas características durante a sua utilização com ausência de trincas e falhas, as quais possibilitam a fuga do concreto durante a concretagem da laje.

3.2.6. Montagem da pré-laje

Segundo a referência normativa em questão que aborda sobre as pré-lajes unidirecionais ABNT NBR 14860-1:2002, a montagem da pré-laje deve ser executada observando os seguintes aspectos básicos:

- a) Nivelamento dos apoios, obedecendo as tolerâncias de montagem especificadas;
- b) Colocação das armaduras previstas no projeto;
- c) Instalação de passadiços para o trânsito de pessoal durante a concretagem da laje;
- d) Lançamento, adensamento e cura do concreto complementar conforme referências normativas.

3.2.7. Controle tecnológico da pré-laje

O controle de fabricação das pré-lajes deve atender ao que determina a ABNT NBR 14860-1:2002 com verificação de todos os materiais empregados quando a obra apresentar as seguintes características:

- a) Área de laje superior a 200 m²;
- b) Vão superior a 6,0m;
- c) Carga acidental superior a 5,0 kN/m².

Desta maneira, após a verificação desses componentes conforme as respectivas normas realizam-se a aceitação ou rejeição dos lotes fabricados. O lote pode ainda ser submetido à contraprova caso não seja aprovado na primeira avaliação. Se após uma segunda avaliação o mesmo não for aprovado, esse deve ser rejeitado e substituído.

3.2.8. Vantagens e ramo de utilização das pré-lajes

As pré-lajes apresentam algumas vantagens de utilização que podem ser consideradas como um avanço tecnológico e industrial em relação à maneira convencional de execução de lajes. Dentre algumas vantagens pode-se elencar:

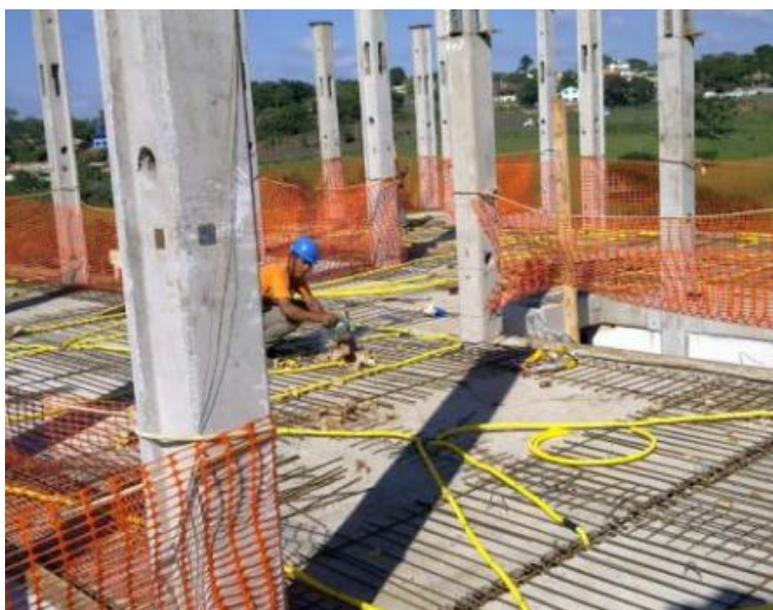
- a) Redução ou eliminação de linhas de escoras;

- b) Redução do tempo de execução da laje;
- c) Facilidade de montagem e concretagem;
- d) Liberação do andar inferior para a continuidade de atividades;
- e) O acabamento da face inferior da laje dispensa o uso de revestimentos convencionais tais como chapisco, emboço e reboco; e
- f) Facilidade no transporte dos painéis.

Empresas brasileiras atuantes da área de pré-moldados de concreto visualizaram a demanda atual no setor da construção civil e estão disponibilizando os painéis de laje treliçada. Dentre essas empresas pode-se citar: Eco Verde Pré-moldados, Lajes América, Lajes Itaim, Lajes Paulista, M3 SP, Mediterrânea, Premold RM e Sistrel Pré-moldados.

O sistema construtivo PRECON constituído de painéis de vedação pré-fabricados mistos detentor do DATec N° 012 do ano de 2012, utiliza pré-lajes na estrutura das suas edificações. As pré-lajes do sistema são montadas sobre escoramentos metálicos e em seguida são distribuídas as armaduras negativas da laje e os eletrodutos pertencentes à instalação elétrica da edificação, ou seja, as instalações ficam embutidas na capa complementar de concreto sobre a pré-laje. A figura a seguir ilustra a montagem da pré-laje no sistema em questão.

Figura 5 – Distribuição de armadura negativa e eletrodutos sobre pré-laje no sistema construtivo PRECON



Fonte: DATec N° 012.

3.3. Escadas Pré-fabricadas

Escadas pré-fabricadas possibilitaram o uso de estruturas de rápida execução e montagem em contra partida com as escadas convencionais moldadas no local que geram transtornos durante a sua execução e ao andamento de outras etapas da obra como sugere Mamede (2001).

As escadas pré-fabricadas podem ser divididas em dois grandes grupos sendo o primeiro constituído por escadas pré-fabricadas em grandes dimensões e o segundo com escadas constituídas por elementos de pequenas dimensões sendo estes elementos montáveis no seu local definitivo de aplicação. Essas escadas com grandes dimensões ou escadas com grande quantidade de degraus serão abordadas no tópico a seguir denominado de escadas completas com patamar.

3.3.1. Escadas completas com patamar

As escadas de grandes dimensões, como o próprio nome sugere, possuem como característica principal de que depois de fabricadas, devido ao seu peso, necessitam de um equipamento mecânico para o seu transporte e aplicação no local final de utilização. Desta maneira, não podem ser transportadas por meios manuais e dependem da logística de utilização de maquinário que muitas vezes é empregado para a montagem de elementos estruturais tais como vigas, pilares e painéis pré-moldados.

Essas escadas pré-fabricadas muitas vezes integralizam também aos degraus necessários o patamar de descanso, quando este é solicitado no projeto. As figuras a seguir ilustram um exemplo de escada pré-fabricada com patamar incluso com apenas quatro degraus e outra com todos os degraus de projeto e um patamar sendo movimentada por guindaste para o seu local de aplicação.

Figura 6 – Escada pré-fabricada com patamar



Fonte: www.construcaomercado.com.br.

Figura 7 – Transporte de escada pré-fabricada em grandes dimensões



Fonte: Brumatti (2008).

O dimensionamento de tais escadas segue o mesmo procedimento para as escadas moldadas no local, porém com a consideração de solicitações existentes entre a sua etapa de produção e de montagem final, ou seja, consideração principalmente das ações empregadas durante o içamento e transporte da peça.

Essas escadas são fabricadas por meio de formas metálicas ou de madeira devidamente projetadas conforme as dimensões e tolerâncias de projeto. O processo de projeto dessas formas deve seguir as referências normativas estabelecidas na ABNT

NBR 15696:2009 (Fôrmas e escoramentos para estrutura de concreto – Projeto, dimensionamento e procedimentos executivos). A figura a seguir mostra um exemplo de forma metálica para fabricação de escada pré-fabricada de concreto em grandes dimensões do sistema construtivo de origem alemã Ebawe.

Figura 8 – Forma metálica para fabricação de escada pré-fabricada



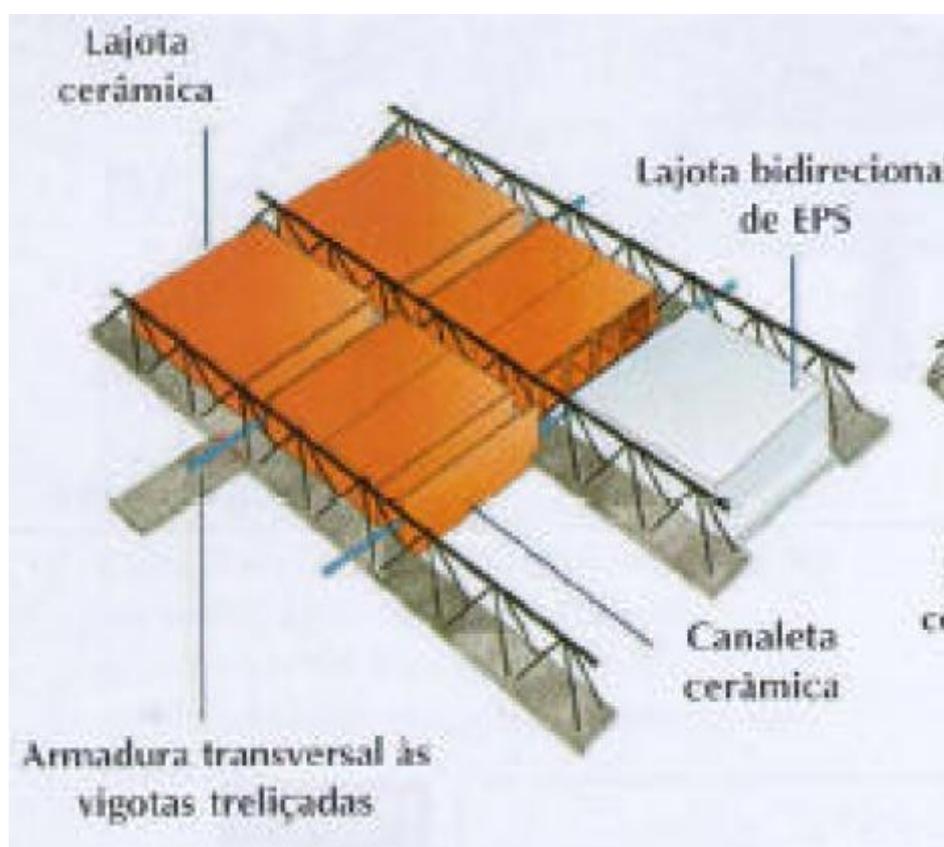
Fonte: www.ebawe.de.

Algumas empresas brasileiras também fornecem esse tipo de escada pré-fabricada podendo ser citada a Rockenbach Soluções em Pré-fabricados. Segundo esta empresa, as suas escadas pré-fabricadas produzidas além de possui todas as características anteriormente citadas, tais como estruturação autoportante, degraus, patamar integralizado e dentre outras características comuns a esse tipo de escada, elas possuem também uma textura superficial acabada em ambas as faces (superior e inferior) que dispensam o uso de revestimento caso se opte por este nível de acabamento.

3.3.2. Escadas com vigotas treliçada

Esse tipo de escada possui características idênticas as das lajes pré-fabricadas com vigotas treliçadas. As lajes com vigotas treliçadas possuem seção semelhante ao mostrado na figura a seguir, com vigotas de treliças pré-fabricadas em concreto com uma espessura que recobrem os banzos inferiores da treliça, um elemento de enchimento entre as vigotas (blocos cerâmicos ou poliestireno expandido) e uma capa de concreto completar na parte superior adicionada de armadura negativa de auxílio ao combate do momento fletor negativo.

Figura 9 – Laje pré-fabricada com vigotas treliçadas

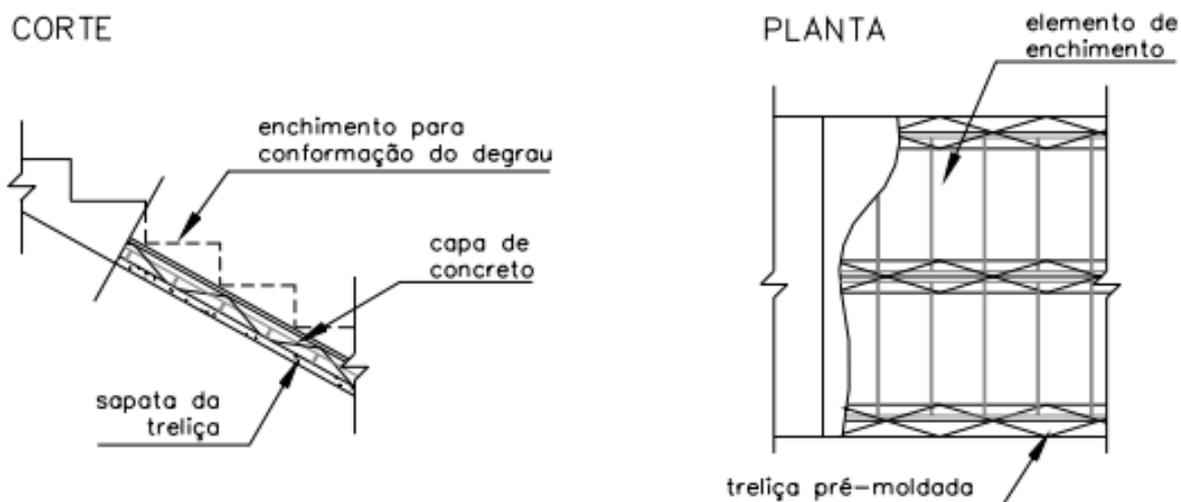


Fonte: Parsekian (2005).

O uso dessas vigotas treliçadas em escadas por sua vez apresenta o aspecto como indicado na figura a seguir com inclusão dos degraus por meio de enchimentos com blocos cerâmicos para a conformação do degrau. Este processo de moldagem dos degraus torna o processo de fabricação da escada artesanal e não industrializado, apesar dos demais componentes serem industrializados e de fácil transporte não sendo

necessário o emprego de equipamentos mecânicos para o manuseio dos demais componentes da escada com vigotas treliçadas.

Figura 10 – Escada pré-fabricada com vigotas treliçadas



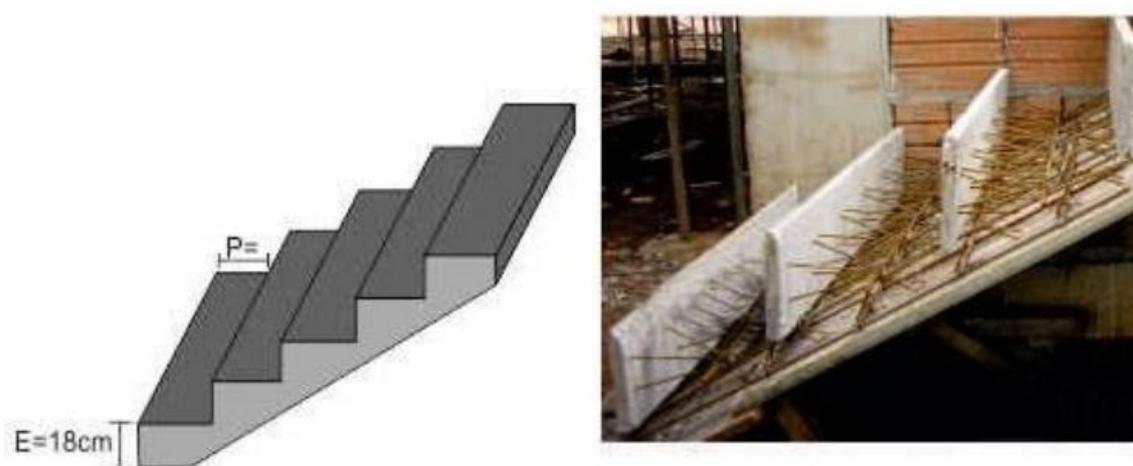
Fonte: Mamede (2001).

O processo de dimensionamento das lajes pré-fabricadas envolve principalmente a avaliação quanto à flexão e ao cisalhamento. O dimensionamento quanto à flexão para Parsekian (2005) é amplamente conhecido e consta no que é especificado na ABNT NBR 6118:2007, sendo explicitado que para as lajes unidirecionais devem ser consideradas como vigas isoladas e as bidirecionais, guardadas algumas dimensões máximas, como maciça. O cisalhamento, porém, segundo Parsekian (2005) é um dos assuntos menos estudados e pode ser vertical, devido às ações verticais aplicadas, ou horizontal, na interface entre o concreto da vigota e o lançado sobre a camada de cobrimento complementar da laje. Segundo ainda Parsekian (2005) conhece-se que as armaduras treliçadas contribuem para uma ligação melhor entre o concreto pré-moldado e a do lançado no local e que as armaduras presente nas diagonais das treliças contribuem ao cisalhamento em alguns casos nos apoios extremos das vigotas e não ocorrendo o mesmo nos apoios intermediários.

Este tipo de escada por possui processo de projeto, montagem e fabricação amplamente conhecido é o um dos mais utilizados para a fabricação de escadas, porém o ganho de produtividade na montagem dos componentes da escada é perdido durante a etapa de moldagem dos degraus. Para diminuir esta etapa de moldagem dos degraus a empresa Concreviga Pré-fabricados em Concreto de Belo Horizonte criou uma escada

pré-fabricada com treliças incorporando o espelho do degrau a armadura das vigotas. Este espelho é composto por uma placa cimentícia armada e com fios de esperas que servem para ancorar os espelhos dos degraus as treliças existentes e assim funcionarem também como forma durante o processo de concretagem da escada. O espaçamento entre estas placas por sua vez determinam a largura do degrau e torna-se necessário apenas a adições de formas laterais para a concretagem da escada. A figura a seguir ilustra a estrutura desta escada antes da concretagem.

Figura 11 – Escada com vigotas treliçadas com placas cimentíceas como espelho do degrau

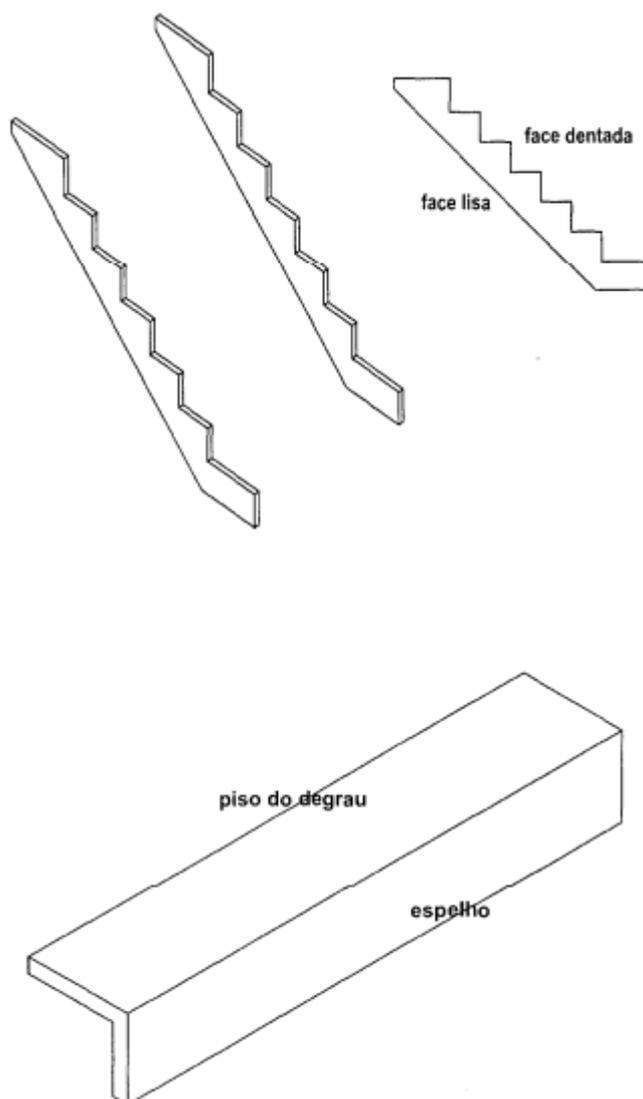


Fonte: www.concreviga.com.br.

3.3.3. Escadas tipo jacaré

As escadas tipo jacaré são formadas por vigas dentadas fixadas nas paredes através de buchas e parafusos. Sobre estas vigas são posicionados degraus no formato de “L” contendo este o piso do degrau e o espelho. Esse tipo de escada é bastante empregado em edifícios onde é empregada a alvenaria estrutural segundo Kalil (2005). Este sistema de escada é caracterizado pela rápida fabricação das peças bem como montagem no seu local definitivo. A figura a seguir mostra os elementos componentes da escada pré-fabricada do tipo jacaré, sendo apresentadas na primeira imagem as vigas dentadas que são fixadas nas paredes de alvenaria estrutural e em seguida o degrau empregado neste tipo de escada.

Figura 12 – Viga dentada e degrau em “L” para escadas pré-fabricadas do tipo jacaré



Fonte: Kalil (2005).

Mendes (2006) realizou o estudo comparativo entre o uso de escada moldada in loco e pré-moldada jacaré para uma obra de nove pavimentos em alvenaria estrutural e concluiu que houve uma economia de custos em 18,66%. A escada em estrutura pré-moldada do tipo jacaré trouxe outros benefícios além da redução dos custos, os quais foram: facilidade de movimentação dentro do canteiro, pois dispensa o uso de escoramentos durante a montagem; redução do desperdício; racionalização dos recursos; limpeza da obra; possibilidade de acesso para a montagem da laje superior por meio da escada definitiva do prédio garantindo mais segurança na movimentação dos funcionários.

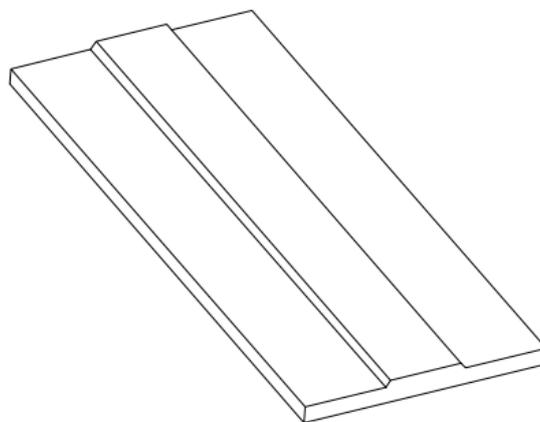
O fato dos elementos componentes da escada jacaré ser projetados com peso inferior a 100 kg por peça possibilita a montagem da escada com uma equipe mínima de dois funcionários sendo permitido para cada, um peso máximo de 50 kg. Desta maneira, não se faz necessário o uso de equipamentos como guindaste para o transporte e montagem destas escadas pré-moldadas.

Segundo Mamede (2001) o processo de dimensionamento destas escadas segue o mesmo método convencional para escadas em concreto armado com o cálculo do carregamento, definição do esquema estático, cálculo das armaduras longitudinais e transversais e verificações do estado limite de utilização. Mamede (2001) também afirma que o concreto empregado nos componentes deste tipo de escada possuem granulometria fina devido as pequenas espessuras e as armaduras constituídas por barras com diâmetro máximo de 6,3 mm e cobrimento de 1 cm.

O sistema de formas para a fabricação dos componentes desse tipo de escada é em geral metálica devido a grande capacidade e demanda de repetibilidade, sendo com a forma metálica possível um grande número de reutilização enquanto que com a forma de madeira a reutilização atinge valor máximo de vinte reutilizações.

O patamar para este tipo de escada também é pré-fabricado e produzido com dimensões reduzidas que permitam o transporte manual por operários, máximo de 50 kg por pessoa. A figura a seguir apresenta um exemplo de patamar para escadas do tipo jacaré.

Figura 13 – Patamar pré-fabricado empregado nas escadas tipo jacaré



Fonte: Mamede (2001).

3.4. Cobertas Pré-fabricadas

Segundo Valle (2011) a cobertura foi um dos primeiros subsistemas nas regiões da Europa e América do Norte a terem os seus elementos e componentes pré-fabricados, motivados pela crescente demanda por habitação devido ao déficit habitacional gerado após a II Guerra Mundial. Segundo ainda este mesmo autor, a construção civil no Brasil, por sua vez, para sistemas de cobertura de madeira, começa a exigir sistemas pré-fabricados devido ao aumento da demanda e trazendo como consequências a redução nos custos, melhora na qualidade dos produtos e articulação deste setor da construção.

Fransozo (2005) aponta o uso de componentes metálicos para os subsistemas da edificação como positivo quanto a durabilidade, conforto térmico, resistência e outros aspectos avaliados através do programa Usiteto que tem como objetivo a construção de casas populares com custo acessível e rápido processo de execução.

A industrialização do subsistema cobertura no Brasil está atrelada ao emprego de elementos e componentes metálicos para a estrutura de suporte do material de cobertura e a telhas com o uso de materiais metálicos acoplados a isolantes térmicos. O uso de sistemas metálicos para a cobertura envolve também questões ecológicas ligadas à redução do desmatamento das florestas bem como o aumento da durabilidade desse subsistema. Apesar de não ser amplamente empregado no mercado brasileiro, empresas estão desenvolvendo e comercializando este tipo de cobertura visualizando a crescente demanda atual do setor da construção civil.

3.4.1. Estruturas Pré-fabricadas

A empresa Kofar Indústria e Comércio atual primordialmente na distribuição e prestação de serviços do segmento metalúrgico, porém iniciou suas atividades no ramo da construção civil utilizando o conhecimento técnico em metalurgia para o desenvolvimento de um telhado denominado pela empresa de Telhado Inteligente Kofar. Este telhado é constituído por perfis estruturais de aço galvanizado, parafusados entre si, formando após montada uma estrutura rígida e leve. Este sistema apresenta alto nível de industrialização devido a sua concepção estar em um projeto prévio que

determina o uso racional e modulado de peças de aço galvanizado. As imagens a seguir mostram exemplo de estruturas fabricadas por esta empresa.

Figura 14 – Estrutura metálica pré-fabricada para cobertura



Fonte: www.kofar.com.br.

Figura 15 – Estrutura metálica para cobertura pré-fabricada



Fonte: www.kofar.com.br.

Este sistema de cobertura apresenta vantagens quanto a sua utilização, dentre estes aspectos positivos, pode-se citar:

- a) Fácil procedimento de montagem, pois são utilizados apenas três tipos de perfis e no sistema de fixação são empregados parafusos autobrocantes;
- b) Adaptável a vários tipos de projetos e telhas;
- c) Dimensionamento das peças realizado para possibilitar segurança e praticidade durante a fabricação, transporte e montagem;
- d) Periodicidade de manutenção aumentada devido aos perfis ser constituídos por aço galvanizado resistente à corrosão atmosférica, aumentando a vida útil desse sistema de estrutura para cobertura para 50 anos;
- e) Grande rigidez à flexão das peças;
- f) Acesso para manutenção de caixa d'água facilitado, pois caso seja necessário, desparafusa-se as peças e se tem acesso a região sob a cobertura;
- g) Dimensões dos perfis são reduzidas possibilitando aumento do espaço sob a cobertura;
- h) Aumento da produtividade devido a facilidade de montagem;
- i) Ausência de desperdícios ou perda de material no canteiro de obras;
- j) Ausência de ações do ambiente comuns a telhados com estrutura de madeira, tais como: cupins, apodrecimento e propagação de chamas;
- k) Possibilidade de reutilização do aço devido ao fato de o material ser totalmente reciclável.

Outra empresa que desenvolve cobertas metálicas para a construção civil é a Pórtico Construções Metálicas, com a característica de que atende também ao setor da habitação popular, ramo este que demanda por industrialização devido a crescente demanda atual. O uso desse sistema metálico também possibilita um alto grau de industrialização desse subsistema, pois não desperdícios ou perdas de material dentro dos canteiros de obra, padronização desse subsistema e execução conforme o cronograma de demanda da obra. O material empregado para a fabricação dessas cobertas são aços patináveis ou galvanizados que são conseqüentemente imunes à ação de pragas e ações do meio ambiente como a corrosão, por exemplo. A fabricação desse tipo de telhado ocorre em fabrica com escala de produção industrial e controle

tecnológico de fabricação. A diferença desse sistema para o anteriormente citado são que os perfis metálicos são conectados por meio de soldas formando assim grades com dimensões maiores e conseqüente redução de número de peças para a montagem do telhado no seu local definitivo. As imagens a seguir ilustram as estruturas metálicas fabricadas para esse subsistema de cobertura e em seguida algumas unidades fabricadas com esse tipo de estrutura de cobertura industrializada.

Figura 16 – Perfis metálicos soldados para estrutura de cobertura pré-fabricada



Fonte: www.telhadometalico.com.br.

Figura 17 – Habitações populares com cobertura pré-fabricada



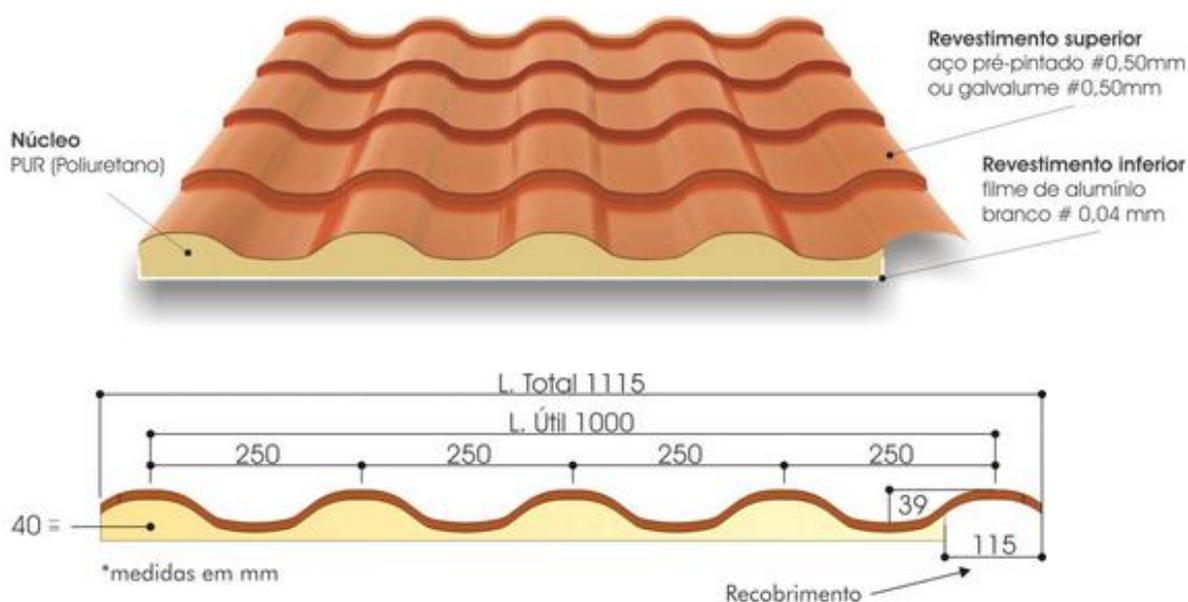
Fonte: www.telhadometalico.com.br.

3.4.2. Telhas Pré-fabricadas

O uso de estruturas metálicas para o subsistema cobertura deve estar associado também ao uso de telhas leves, industrializadas, pré-fabricadas e isolamento térmico para garantir que a eficiência completa desse subsistema. Telhas metálicas com isolantes térmicos acoplados atendem a estes requisitos e algumas empresas brasileiras produzem esse tipo de produto como é o caso da Isoeste Construtivos Isotérmicos. Esta empresa atuava primordialmente na fabricação de componentes para a isolação térmica e desenvolveu um produto específico para sistema de cobertura denominado Isotelha.

A Isotelha Colonial é uma telha constituída por três camadas, sendo a primeira camada a parte superior constituída por um revestimento em aço pré-pintado com espessura de 0,50 mm ou aço galvalume com espessura de 0,50 mm. A segunda camada ondulada, ou núcleo, é constituído por poliuretano com espessura de 40 mm na região mais alta; e a terceira camada é formada por um filme de alumínio branco com espessura de 0,04 mm. Desta maneira, esta telha apresenta resistência mecânica devido ao aço e isolamento acústico e térmico devido as demais camadas. O sistema de fixação desta telha na estrutura de suporte é realizado por meio de parafusos. A figura a seguir ilustra a seção desta telha.

Figura 18 – Detalhe da seção da Isotelha Colonial



Fonte: www.isoeste.com.br.

Essa telha apresenta aparência semelhante ao da telha cerâmica colonial comum bastante empregada na região nordeste do Brasil. Conforme recomendações do fabricante, esta telha consegue vencer vão de até 7,35 m sem o uso de apoios intermediários, reduzindo consideravelmente o emprego de material na estrutura de sustentação da cobertura com redução de até 61% no madeiramento quando comparada com telhas cerâmicas convencionais. O núcleo composto por uma espuma rígida de poliuretano é produzido de forma ecologicamente correta, segundo o fabricante, e livre da presença do gás CFC, atendendo também a classe R1 de resistência ao fogo conforme ABNT NBR 7358:1989.

Outra empresa com atuação nesse ramo de telhas industrializadas é a Dânica com o desenvolvimento da Telha Térmica Termo House. Esta telha possui estrutura e características semelhantes à apresentada anteriormente, porém apresenta aspectos adicionais que a torna mais completa quando em substituição ao sistema convencional de cobertura com estrutura em madeira e telha cerâmica colonial. Segundo o fabricante, a redução em economia de material para a estrutura de sustentação é de até 70% quando comparado com as telhas convencionais e a inclinação mínima necessária para o telhado é de 15%, contribuindo também para redução do quantitativo de material para a estrutura da cobertura.

Esta telha apresenta característica também semelhante à citada anteriormente, tais como: elevada resistência, dispensa de uso de forro interno, durabilidade, conforto térmico, conforto acústico, ausência do gás CFC no poliestireno e resistência ao fogo conforme referências normativas.

Esta telha apresenta vantagens em relação a anterior por possuir elementos componentes de todo o sistema de cobertura, os quais não são constituídos apenas pelas telhas, mas também por elementos acessórios tais como: cumeeira, tampa para cumeeira, acabamento lateral, acabamento lateral em alvenaria, acabamento de topo, acabamento de topo em alvenaria, pingadeira, vedação para cumeeira e passarinheira plástica. Todos esses acabamentos torna o sistema de cobertura com telha completo e industrializado eliminando atividades artesanais dentro do canteiro de obras.

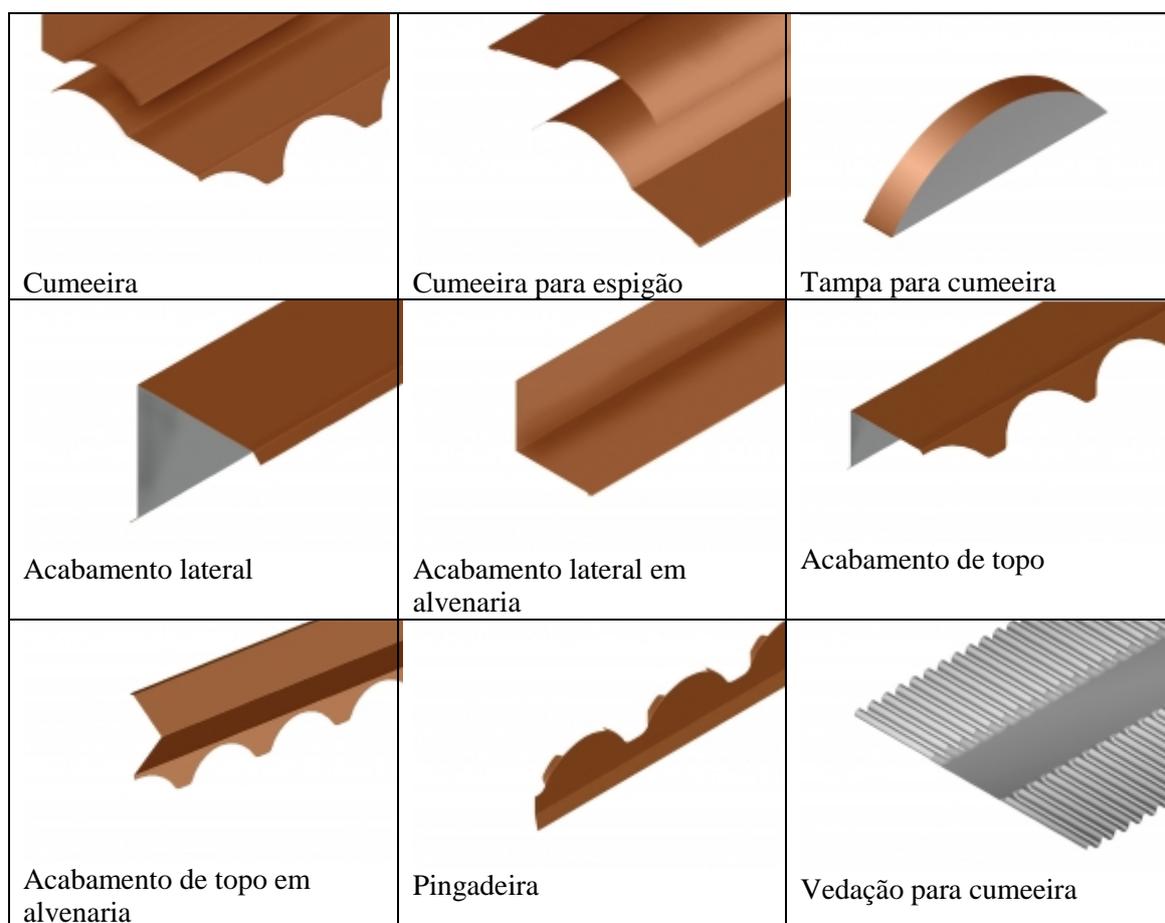
As imagens a seguir ilustram uma Telha Térmica Termo House e os seus acessórios necessários para a montagem completa de uma cobertura variando a sua utilização conforme o projeto específico de arquitetura.

Figura 19 – Telha Térmica Termo House



Fonte: www.termohouse.com.br.

Figura 20 – Acessórios do sistema Telha Térmica Termo House



Fonte: www.termohouse.com.br.

4. SISTEMAS CONSTRUTIVOS INOVADORES

4.1. Sistema Construtivo JET CASA

4.1.1. Introdução

O Sistema JET CASA é constituído por painéis pré-moldados mistos de concreto armado e blocos cerâmicos para paredes. A empresa detentora do DATec é a PDG Realty S.A., e foi emitido em novembro de 2011, tendo validade até outubro de 2013. A empresa detentora da tecnologia é a PDG Jet Casa S/A. A avaliação técnica do DATec N° 008 referente a este sistema construtivo foi coordenada por uma Instituição Técnica Avaliadora, neste caso o Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT) e a concessão de uso do sistema foi autorizada por dois comitês, sendo: um Comitê Técnico reunido em 24 de outubro de 2011, e outro Comitê Nacional reunido em 14 de novembro de 2011. As decisões dos comitês restringiram a utilização do sistema para a construção de casas térreas e sobradadas desde que sejam seguidas as condições e especificações expressas no Documento de Avaliação Técnica N° 008.

4.1.2. Descrição do sistema

O sistema construtivo JET CASA é constituído por paredes estruturais de painéis pré-fabricados mistos de concreto armado e blocos cerâmicos e ligações entre estes painéis. O Sistema engloba também as interfaces entre painéis de parede e janelas e entre painéis de paredes e instalações. O sistema JET CASA é destinado a construção de casas térreas isoladas ou geminadas e sobrados isolados ou geminados.

A produção dos painéis é realizada no próprio canteiro de obras ou em fábrica, sendo a moldagem realizada na posição horizontal por meio de formas. O sistema de fôrmas é constituído por pistas de concreto (base) e perfis metálicos (laterais) e ganchos e parafusos para realizar o travamento dos perfis. Os painéis depois de produzidos são transportados na unidade de produção por meio de pórtico rolante, caminhão guindauto (tipo “munck”) ou guincho motorizado. A operação de montagem, por sua vez, é sempre realizada por caminhão guindauto (tipo “munck”) ou guindaste. A imagem a seguir apresenta uma geral de uma unidade de produção de painéis em canteiro de obras do sistema JET CASA.

Figura 21 – Vista geral de uma unidade de produção de painéis em canteiro de obras do sistema JET CASA



Fonte: DATec N° 008.

O sistema construtivo possui condições e limitações de uso, sendo elas as elencadas a seguir:

- a) Limitado às classes de agressividade ambiental I e II, conforme NBR 6118;
- b) Os painéis devem ser sempre apoiados de forma contínua sobre a fundação;
- c) Os painéis devem ser pintados conforme os procedimentos de execução e controle da PDG REALTY, sendo as cores das paredes e fachadas claras ou médias;
- d) Modificações em paredes e lajes devem ser previamente acordadas com a PDG REALTY.

A avaliação técnica do sistema construtivo foi desenvolvida pelo IPT e referenciada na DIRETRIZ SINAT N° 002 – “Diretriz para Avaliação Técnica de sistemas construtivos integrados por painéis estruturais pré-moldados, para emprego em casas térreas, sobrados e edifícios habitacionais de múltiplos pavimentos”.

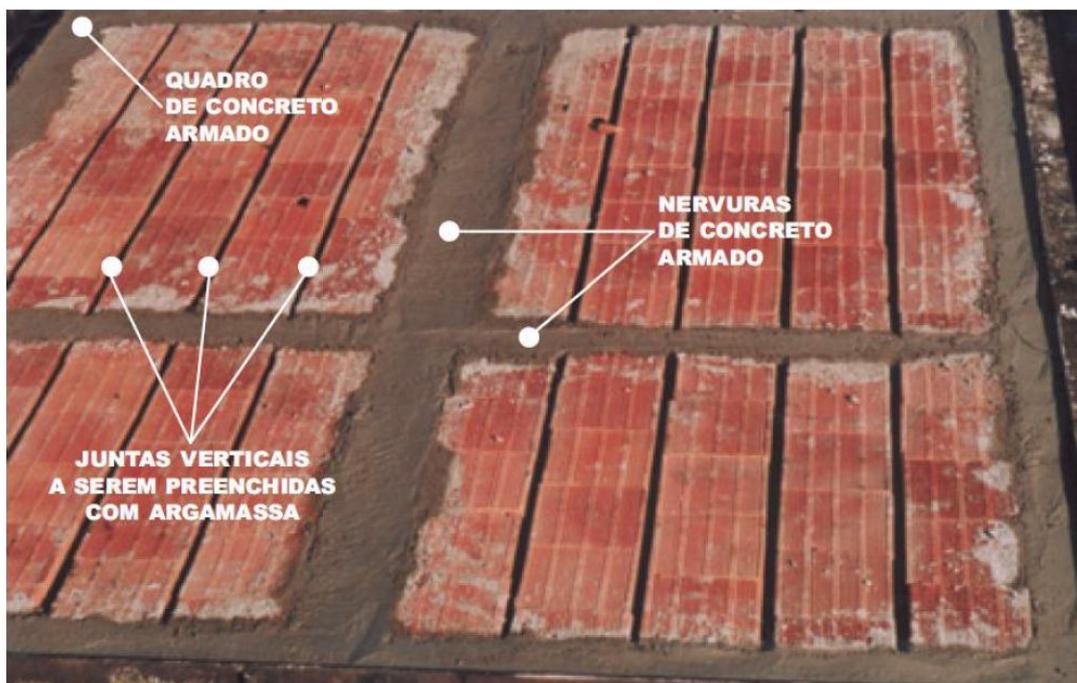
4.1.3. Informações e dados técnicos sobre o sistema

4.1.3.1. Especificações e detalhes construtivos

4.1.3.1.1. Painel de parede

A espessura do painel do sistema é de 11 cm e possui duas camadas externas de argamassa com espessura de 1 cm em cada face, e internamente um bloco cerâmico com 9 cm de espessura. As paredes de geminação possuem blocos cerâmicos de 12 cm de espessura, aumentando a espessura do painel para 14 cm. O comprimento máximo dos painéis é 3,5 m e a altura equivalente ao pé-direito das edificações. A imagem a seguir mostra uma vista do painel do sistema construtivo JET CASA.

Figura 22 – Vista do painel do sistema construtivo JET CASA



Fonte: DATec Nº 008.

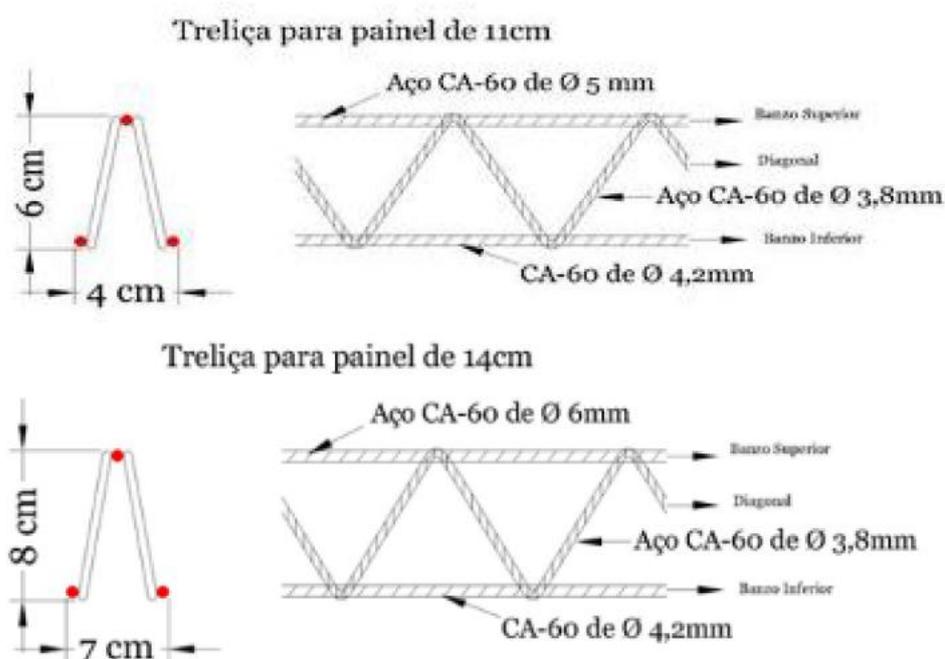
Como pode se observar na figura anterior, os painéis do sistema possuem um quadro no seu perímetro e nervuras internas de concreto armado. O concreto utilizado nestas nervuras e perímetro é convencional e possui massa específica de 2400 kg/m³. A resistência característica mínima à compressão do concreto aos 28 dias é de 25 MPa, e a resistência especificada para a desforma após 24 horas da concretagem é de 10 MPa. A consistência do concreto (slump) é especificada em 6 ± 1 cm e a cura do concreto é realizada por meio de hidratação com pulverização de água pelo período de

24 horas até a desenforma. O cobrimento das armaduras é garantido em 25 mm por meio de espaçadores plásticos distribuídos nas fôrmas. No processo de cura do painel, dependendo das condições climáticas, os painéis são cobertos contra a ação da chuva e do sol excessivos.

Os blocos cerâmicos utilizados no enchimento do painel são vazados com oito furos quadrados e dimensões de 19 cm de comprimento e 19 cm de altura, e a espessura podendo ser 9 cm ou 12 cm conforme dito anteriormente. Apenas as juntas verticais entre os blocos são preenchidas com argamassa.

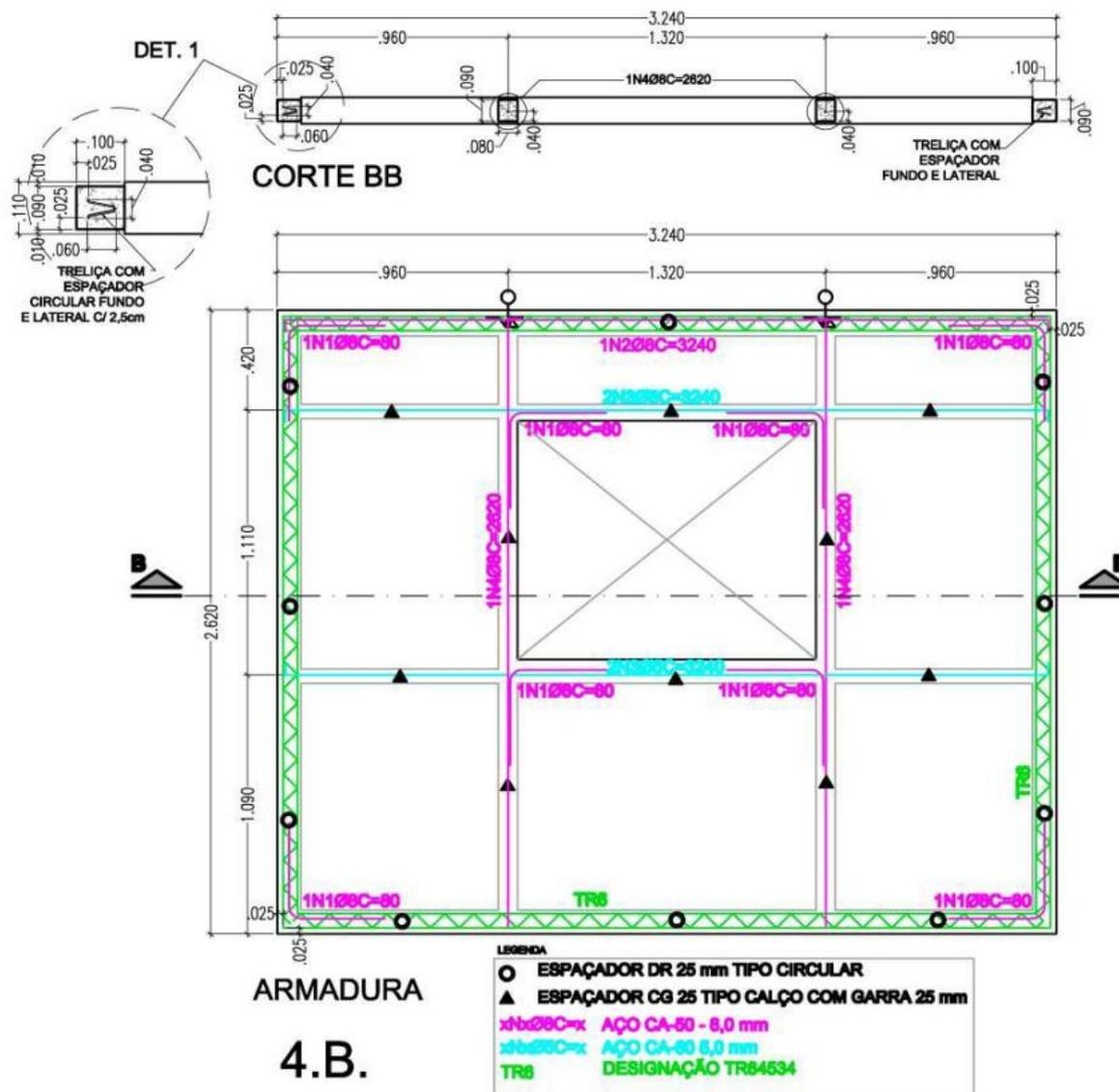
A armadura presente nos painéis é constituída por treliças metálicas em todo o perímetro do painel e barras de aço CA-60 com diâmetro de 5,0 mm e aço CA-50 com diâmetro de 8,0 mm no interior do painel. Estas armaduras com o concreto convencional formam o concreto armado que preenche as nervuras internas as quais são distribuídas conforme o projeto de estrutura de cada painel elaborado pela detentora do sistema. A seguir, a imagem mostra o detalhe das treliças que são utilizadas pelo sistema, sendo a treliça de altura igual a 6 cm utilizada no painel com espessura de 11 cm, e a treliça de altura igual a 8 cm utilizada no painel de geminação com espessura de 14 cm.

Figura 23 – Especificação das treliças metálicas utilizadas nos painéis do sistema JET CASA



Fonte: DATec Nº 008.

Figura 25 – Disposição das armaduras em um painel com abertura de vão de janela do sistema JET CASA



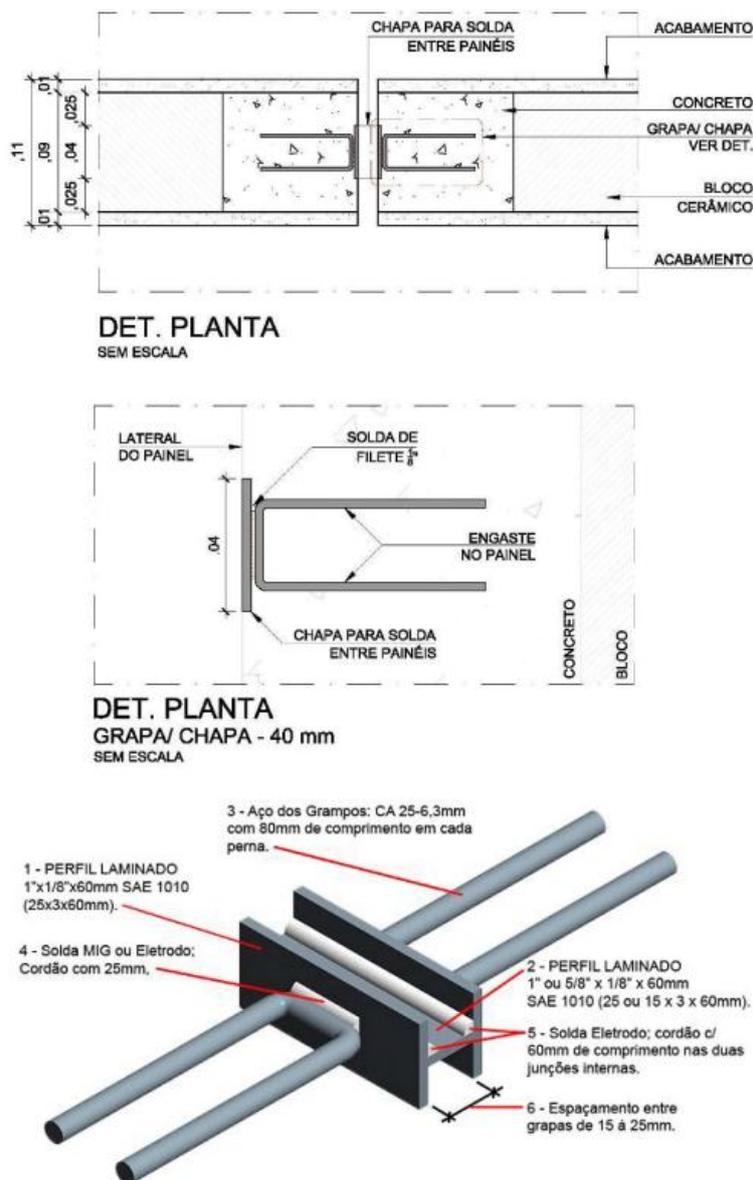
Fonte: DATec Nº 008.

4.1.3.1.2. Ligações entre painéis de parede

Por meio de “inserts” e chapas de aço realiza-se a união entre painéis do sistema. Estes “inserts” e chapas são solidarizados a nervura do perímetro do painel e por meio desses realiza-se a junção com os painéis adjacentes. São três pontos de solda para cada junta vertical entre painéis e a proteção desses componentes metálicos após o processo de soldagem dos mesmos é realizada com um primer epóxi rico em zinco, próprio para proteção de armaduras. O vão existente na junta é preenchido com uma argamassa dosada no traço de 1:3 em volume de cimento e areia. Durante o

preenchimento com essa argamassa executa-se um rebaixo de 3 mm e largura igual a 40 mm o qual será preenchido com selante acrílico. A figura abaixo detalha as armaduras e soldas existentes na ligação entre painéis.

Figura 26 – Detalhe das armaduras e soldas nas ligações entre painéis do sistema JET CASA



Fonte: DATec N° 008.

4.1.3.1.3. Ligações entre painéis de parede e laje e entre laje e painéis de geminação

As lajes utilizadas pelo sistema possuem espessura de 10 cm a 12 cm no caso das lajes de piso e 5 cm ou 10 cm no caso das lajes de forro. As lajes de piso são maciças enquanto que as lajes de forro podem ser nervuradas ou maciças, sendo todas

elas em concreto armado, pré-fabricadas e dimensionadas conforme as normas brasileiras. As lajes são apoiadas sobre os painéis e fixadas por meio da utilização de chumbadores de aço CA-50 com diâmetro de 8,0 mm, para esse processo de ancoragem é utilizado adesivo estrutural a base de epóxi. Para o tratamento da junta horizontal realiza-se um friso horizontal com largura de 30 mm e profundidade de 3 mm sendo esse preenchido com um selante acrílico. As paredes de geminação são fixadas as lajes por meio de escoras de aço soldadas à laje e protegidas contra corrosão e a junta tratada de maneira semelhante com selante acrílico.

4.1.3.1.4. Interface entre painéis e instalações

Elementos de instalações tais como eletrodutos, caixas de luz e as tubulações hidráulicas de pequeno porte são inseridas no painel. São embutidas em geral apenas tubulações com diâmetro igual ou inferior a 20 mm, pois estas podem ser passadas pelo interior do bloco cerâmico. No interior dos painéis localizados no pavimento superior de unidades sobradadas ou unidades térreas passa a tubulação de ventilação de esgoto com diâmetro de 40 mm, sendo posicionadas sempre na direção perpendicular às nervuras de concreto. Nas nervuras de concreto não passam tubulações hidráulicas paralelas às treliças e nem são realizadas conexões entre as tubulações nestas nervuras.

4.1.3.1.5. Interface entre painéis e janelas e portas externas

As janelas e portas definitivas da habitação são inseridas e posicionadas nas formas metálicas antes do processo de concretagem dos painéis, para tanto janelas e portas são protegidas para que não sejam danificadas durante o processo de despejo do concreto.

4.1.3.1.6. Revestimento e acabamento dos painéis

As paredes do sistema podem receber revestimentos cerâmicos, outros revestimentos decorativos ou pintura. Sendo o substrato composto, tanto interna como externamente, um revestimento de argamassa com cimento, cal e areia com espessura de 1 cm aplicado sobre um chapisco rolado. As faces do painel que estão voltadas para o

lado externo da habitação recebem textura acrílica ou tinta acrílica e as faces internas por sua vez, recebem pintura PVA ou acrílica.

4.1.3.2. Procedimento de execução

O processo de fabricação e montagem de uma unidade habitacional construída com o sistema JET CASA segue a sequência de 17 atividades a seguir, sendo neste caso por processo de produção no próprio canteiro de obras.

- a) Preparação das formas metálicas, da pista e das armaduras: inicialmente realiza-se a limpeza e aplicação de desmoldante sobre a pista para a moldagem dos painéis na posição horizontal (Figura 27). A Figura 28 mostra uma forma metálica montada aguardando a inserção das armaduras. As armaduras são antecipadamente fabricadas na central de armação e transportadas até o local de moldagem dos painéis (Figura 29).

Figura 27 – Preparação de forma com aplicação mecanizada do desmoldante no sistema JET CASA



Fonte: DATec Nº 008.

Figura 28 – Forma preparada para o recebimento da armadura no sistema JET CASA



Fonte: www.jetcasa.com.br.

Figura 29 – Preparação das armaduras na central de armação com utilização de gabarito no sistema JET CASA



Fonte: DATec Nº 008.

- b) Posicionamento das armaduras nas formas e colocação dos espaçadores plásticos conforme distribuição de projeto. A armadura previamente fabricada e inserida na forma possui as ferragens para içamento do painel, reforços para vãos e ligações internas e armaduras de arranque para solda entre painéis (Figura 30).

Figura 30 – Posicionamento das armaduras na forma do sistema JET CASA



Fonte: DATec Nº 008.

- c) Colocação dos blocos cerâmicos conforme projeto executivo por painel elaborado pela detentora da tecnologia. Blocos cerâmicos em contato com as nervuras possuem os seus furos tampados com argamassa para que se evite a entrada de concreto durante a moldagem (Figura 31).

Figura 31 – Blocos cerâmicos inseridos na forma do sistema JET CASA



Fonte: DATec Nº 008.

- d) Colocação das instalações elétricas e hidráulicas. Na central de kits elétricos são produzidos os blocos cerâmicos já acoplados a caixas de passagem de instalação elétrica bem como demais componentes elétricos que são previamente inseridos no painel. As instalações hidráulicas são produzidas na própria central de produção e inseridas na forma antes da moldagem. As extremidades das instalações elétricas e hidráulicas são tapadas com fita para que não sejam entupidas durante a concretagem.

- e) Aspersão de água sobre os blocos cerâmicos antes da concretagem do quadro externo e das nervuras internas (Figura 32).

Figura 32 – Aspersão de água para umedecimento dos blocos antes da concretagem no sistema JET CASA



Fonte: DATec N° 008.

- f) Lançamento de concreto nas regiões das nervuras externas e internas bem como a vibração com equipamento vibrador de imersão com bitola de 25 mm (Figura 33).

Figura 33 – Lançamento de concreto nas nervuras do painel do sistema JET CASA



Fonte: DATec N° 008.

- g) Limpeza da superfície dos blocos cerâmicos para remoção de excesso de resquícios de concreto e aspersão de água para preparação para aplicação do chapisco rolado.
- h) Aplicação do chapisco rolado com rolo manual (Figura 34) e aplicação da argamassa de revestimento e preenchimento das juntas (Figura 35) antes que o chapisco entre em processo de endurecimento, ou seja, realiza-se um sistema de aderência do tipo úmido sobre úmido. Sobre esta argamassa aplicada executa-se o acabamento e desempenho do revestimento (Figura 36).

Figura 34 – Aplicação do chapisco rolado no painel do sistema JET CASA



Fonte: DATec Nº 008.

Figura 35 – Aplicação de camada de revestimento e acabamento do painel do sistema JET CASA



Fonte: DATec Nº 008.

Figura 36 – Execução do acabamento do revestimento do painel do sistema JET CASA



Fonte: DATec N° 008.

- i) Içamento da peça (Figura 37), estocagem na vertical (Figura 38) e aplicação do chapisco rolado de cimento sobre a outra face do painel (Figura 39). O revestimento da segunda camada do painel é realizado após quatro horas do içamento do painel, e é aplicado de forma manual com colher de pedreiro (Figura 40). A cura desse segundo revestimento é realizada por hidratação durante 24 horas.

Figura 37 – Içamento do painel do sistema JET CASA



Fonte: www.jetcasa.com.br.

Figura 38 – Estocagem vertical dos painéis do sistema JET CASA



Fonte: www.jetcasa.com.br.

Figura 39 – Aplicação de chapisco na segunda face do painel do sistema JET CASA



Fonte: DATec N° 008.

Figura 40 – Revestimento da segunda face do painel do sistema JET CASA aplicado convencionalmente



Fonte: DATec N° 008.

- j) A liberação do painel para a montagem ocorre após 48 horas do início da sua fabricação.
- k) Locação das paredes sobre a fundação. Para o correto posicionamento dos painéis, realiza-se previamente uma marcação sobre a fundação (Figura 41). Os painéis são transportados e posicionados com o auxílio de um caminhão guindauto (tipo “munck”) ou guindaste (Figura 42). Na interface entre fundação e painel aplica-se uma argamassa aditivada de impermeabilizante com traço 1:3 de cimento e areia em volume.

Figura 41 – Locação para correto posicionamentos dos painéis do sistema JET CASA sobre a fundação



Fonte: DATec Nº 008.

Figura 42 – Posicionamento dos painéis sobre a fundação no sistema JET CASA



Fonte: DATec Nº 008.

- l) Ligação entre painéis por meio de soldagem dos pontos de solda distribuídos ao longo da altura dos mesmos. Solda-se os elementos “inserts” e chapas de aço garantindo a estabilização e solidarização entre painéis (Figura 43).

Figura 43 – Pontos de solda executados nas ligações entre painéis do sistema JET CASA



Fonte: DATec N° 008.

- m) Proteção das soldas com o primer epóxi rico em zinco, específico para armaduras em concreto armado (Figura 44).

Figura 44 – Proteção anti-corrosiva aplicada com primer epóxi nas ligações entre painéis do sistema JET CASA



Fonte: DATec N° 008.

- n) Preenchimento do vão das juntas com argamassa (traço 1:3). Como dito anteriormente, é realizado um rebaixo nessa argamassa com dimensões

de 40 mm de largura e 3 mm de profundidade para preenchimento com selante acrílico (Figura 45).

Figura 45 – Rebaixo existente nas ligações entre painéis do sistema JET CASA para preenchimento com argamassa



Fonte: DATec N° 008.

o) Tratamento das juntas com selante acrílico (Figura 46).

Figura 46 – Aplicação do selante acrílico nas juntas entre painéis do sistema JET CASA



Fonte: DATec N° 008.

p) Apoio de lajes sobre os painéis sem utilização de argamassa e com aplicação de chumbadores de aço CA-50 e diâmetro de 8,0 mm fixados por meio de adesivo estrutural a base de epóxi (Figura 47). O espaçamento entre esses chumbadores é executado conforme projeto estrutural elaborado pela detentora da tecnologia. Na região de encontro

da laje com a parede realiza-se o procedimento de acabamento com selante acrílico.

Figura 47 – Lajes posicionadas sobre painéis em unidade sobrada em Campinas-SP do sistema JET CASA



Fonte: www.jetcasa.com.br.

q) Atividades finais de acabamento tais como revestimentos, fiação, metais, louças e pintura das paredes. A Figura 48 a seguir mostra unidades térreas finalizadas e construídas com o sistema JET CASA.

Figura 48 – Unidades térreas construídas com o sistema JET CASA



Fonte: DATec N° 008.

4.1.4. Avaliação técnica sobre o sistema

A avaliação técnica do sistema construtivo JET CASA foi realizada pela Instituição Técnica Avaliadora, neste caso o Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), baseada nas instruções da Diretriz N° 002 do Sistema Nacional de Avaliações Técnicas (SINAT) e tendo como referência os projetos, ensaios de laboratório, verificações analíticas de comportamento estrutural, visitas aos canteiros de obras e outras avaliações conforme aponta o DATec N° 008.

4.1.4.1. Desempenho estrutural

O desempenho estrutural do sistema JET CASA foi avaliado pelos requisitos e critérios de desempenho constantes na Diretriz SINAT N° 002 e obtiveram-se resultados positivos aprovando o sistema JET CASA quanto ao desempenho estrutural permitindo à detentora da tecnologia a utilização do sistema para a construção de casas térreas isoladas ou geminadas e sobrados isolados ou geminados.

O concreto empregado pelo sistema JET CASA na fabricação dos seus painéis possui resistência característica a compressão igual ou superior a 25 MPa. Este valor indicado foi verificado através de ensaios de caracterização e aplicação de procedimentos de controle tecnológico do concreto.

Para avaliação da resistência do painel a solicitação de cargas verticais, foi realizado ensaio de compressão excêntrica como indicado na norma NBR 15575-2:2008, aplicando os resultados obtidos de ensaio nas equações presentes nesta norma para obtenção dos valores de resistência última (R_{ud}) e resistência de serviço (R_{sd}). Neste ensaio de compressão excêntrica foram avaliados painéis sem aberturas e painéis com abertura de vão de janelas, sendo todos com comprimento igual a 3,24m. A carga máxima aplicada durante este ensaio foi de 17,8 kN/m e coeficiente de majoração igual a 1,4. Verificou-se que os painéis de parede estruturais ensaiados atenderam às solicitações das cargas verticais para o estado limite último (R_{sd}). Quanto aos deslocamentos horizontais, verificou-se que os deslocamentos durante o ensaio não foram superiores ao máximo permitido, que foram calculados pelo quociente entre a altura e quinhentos ($h/500$), conforme Norma. Para a obtenção destes resultados foram

ensaiados painéis executados conforme procedimentos e projetos específicos da detentora da tecnologia do sistema.

Projetos estruturais das unidades térreas e sobradas, memoriais de cálculo estrutural das casas térreas e sobradas, cálculos do içamento dos painéis, detalhamentos dos painéis, projetos arquitetônicos e projetos de armaduras dos painéis foram analisados pelo IPT e conclui-se que os aspectos técnicos do sistema atendem as exigências da Diretriz SINAT N° 002.

Conforme Diretriz SINAT N° 002, foi realizado o ensaio de impacto de corpo mole em laboratório nos painéis do sistema e observou-se que para as energias de 120 Joules e 180 Joules não ocorreram falhas, para a energia de 240 J não ocorreram falhas e os deslocamentos foram inferiores a $d_h \leq h/250$ e $d_{hr} \leq h/1250$. Para as energias de 360 J e 480 J não ocorreram rupturas e, por último, para a energia de 720 J não foi observada a ruína da peça.

O ensaio de corpo duro indicou comportamento satisfatório para os painéis do sistema, sendo observado que para energias de impacto previstas para a face externa do painel de 3,75 J (estado de utilização) e 20 J (estado de segurança) atenderam aos critérios exigidos pela Diretriz SINAT N° 002.

As solicitações de peças suspensas conforme Diretriz SINAT N° 002 também foram avaliadas e para tanto foram utilizadas duas mãos francesas distantes 50 cm entre si, carregamento de 24 horas, carga limite de 80 kgf e fixação com parafusos e buchas plásticas com referência FUR 8 x 100. Nestas condições observou-se que o tipo de fixação atendeu ao critério de desempenho mínimo que é com ocorrência de fissuras toleráveis e limitação dos deslocamentos horizontais em $d_h < h/500$ e $d_{hr} < h/2500$. O comportamento final das solicitações transmitidas por peças suspensas nessas condições foi considerado satisfatório conforme Diretriz SINAT N° 002.

As solicitações transmitidas por portas também foram avaliadas para duas situações: impactos transmitidos por fechamento brusco de portas e impacto de corpo mole na folha de porta. Conforme critérios da Diretriz SINAT N° 002 os mesmos foram atendidos para estas solicitações.

Deve-se atentar que o DATec N° 008 referente ao sistema construtivo JET CASA foi emitido em novembro de 2011 e avaliado conseqüentemente período anterior

a esta data e a norma de desempenho para edifícios habitacionais em vigor ABNT NBR 15.575 datava do ano de 2008. Esta norma sofreu atualização pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), como dito anteriormente, e possui versão atualizada do ano de 2013, que muda alguns critérios de avaliação principalmente para ensaios de corpo impacto de mole e corpo duro.

4.1.4.2. *Estanqueidade à água*

Foram realizados ensaios, testes e avaliações de projeto para a comprovação de que o sistema construtivo JET CASA atende as exigências da Diretriz SINAT N° 002 quanto à estanqueidade à água.

Em laboratório, foi realizada avaliação da estanqueidade por meio de ensaio como determina a ABNT NBR 15575:2008 com aplicação de pressão estática de 50 Pa. O painel ensaiado recebeu revestimento com selador acrílico e uma demão de textura acrílica, sendo verificado o comportamento da junta entre painéis sobre a ação de chuva nas fachadas. Por meio desta verificação não foram observadas infiltrações, formação de gotas de água aderentes na face interna, nem manchas de umidade ou vazamento.

As interfaces entre paredes e caixilhos, janelas e portas foram avaliados por meio de verificação analítica do processo de produção dos painéis. Verifica-se que na produção dos painéis os dispositivos de ancoragem das janelas e portas são envoltos por concreto garantindo, segundo o DATec N° 008, um desempenho potencial satisfatório para atender às condições de estanqueidade à água.

Para as paredes internas em contato com a água o documento avaliou que o desempenho é satisfatório devido às características construtivas do painel, recebendo nas áreas secas duas demãos de tinta PVA ou acrílica e nas áreas sob ação da água recebem revestimento cerâmico, desta maneira, segundo o DATec N° 008, contribuindo para a estanqueidade à água das paredes.

As calçadas externas da edificação possuem caimento de 2% no sentido oposto às paredes contribuindo para a estanqueidade à água das interfaces entre painéis e pisos internos e externos. Para a impermeabilização de áreas molhadas considera-se também a utilização de uma argamassa polimérica impermeabilizante aplicada 6 horas

após a aplicação prévia de uma emulsão acrílica. Esta argamassa também é aplicada no piso da fundação que fica sob a base do painel.

A cobertura do sistema JET CASA segundo o DATec N° 008 deve atender aos critérios de estanqueidade segundo as normas brasileiras de relativas a telhados com telhas cerâmicas.

4.1.4.3. Desempenho térmico

O desempenho térmico do sistema construtivo JET CASA foi avaliado por meio de simulações computacionais envolvendo as zonas climáticas brasileiras Z1 a Z8 conforme consta na norma brasileira NBR 15.220:2005. A análise foi realizada considerando a tipologia de unidade habitacional sobrado e a extensão da análise para as casas do tipo térreas.

As avaliações computacionais foram realizadas para dois tipos projetos com sobrados, sendo o primeiro projeto formado por sobrados com laje de concreto armado comum maciça para piso e para o forro com espessura de 11 cm; e um segundo projeto com sobrados com laje de piso em concreto comum maciça e espessura de 10 cm e laje de forro nervurada em concreto armado e espessura de 5 cm. A cobertura empregada para os dois projetos foi a com telhas cerâmicas.

Considerações foram feitas para o parâmetro de absorvência à radiação solar da superfície externa das paredes para a avaliação de desempenho térmico, sendo os usado o valor 0,3 para cores claras, 0,5 para cores médias e 0,7 para cores escuras.

O desempenho térmico das unidades construídas com o sistema JET CASA possuem potencial para atingir o nível mínimo desde que atendam condições especificadas nos Quadro 3 e Quadro 4 a seguir. Sendo o Quadro 3 as orientações para o projeto considerando sobrados e casas térreas com lajes para piso e forro maciças de concreto com espessura de 11 cm e o Quadro 4 para sobrados e casas térreas com lajes maciças de concreto para piso com espessura de 10 cm e laje para forro nervuradas de concreto armado com espessura de 5 cm.

Observa-se que maior parte das regiões brasileiras necessita de pintura nas paredes com cores claras ou médias para que possam atender ao nível mínimo de desempenho térmico conforme Diretriz SINAT N° 002. Até mesmo quando indicado

nos quadros a opção “Qualquer cor”, recomenda-se a não utilização de cores excessivamente escuras conforme DATec N° 008.

Quadro 3 – Especificações necessárias para que sobrados e casas térreas do sistema JET CASA atendam às exigências da Diretriz SINAT N° 002 quanto ao desempenho térmico (laje de piso e forro maciça em concreto e espessura de 11 cm)

Zonas Bioclimáticas	Cor do acabamento externo das paredes de fachada			
	Condição padrão	Com sombreamento	Com ventilação	Com sombreamento e ventilação
1	Não atende	Clara	Clara	Clara ou Média
2	Clara	Clara ou Média	Clara ou Média	Qualquer cor
3	Não atende	Clara	Clara	Clara
4	Clara ou Média	Qualquer cor	Qualquer cor	Qualquer cor
5	Não atende	Clara	Clara	Clara ou Média
6	Não atende	Clara	Clara	Clara ou Média
7	Clara ou Média	Qualquer cor	Qualquer cor	Qualquer cor
8	Não atende	Não atende	Não atende	Clara

Fonte: DATec N° 008.

Quadro 4 – Especificações necessárias para que sobrados e casas térreas do sistema JET CASA atendam às exigências da Diretriz SINAT N° 002 quanto ao desempenho térmico (laje de piso maciça em concreto e espessura de 10 cm e laje de forro nervurada de concreto e espessura de 5 cm)

Zonas Bioclimáticas	Cor do acabamento externo das paredes de fachada			
	Condição padrão	Com sombreamento	Com ventilação	Com sombreamento e ventilação
1	Não atende	Não atende	Não atende	Clara
2	Não atende	Clara	Clara	Clara ou Média
3	Não atende	Não atende	Não atende	Clara
4	Clara	Clara ou Média	Clara ou Média	Clara ou Média
5	Não atende	Clara	Clara	Clara
6	Não atende	Não atende	Não atende	Clara
7	Clara	Clara ou Média	Clara ou Média	Clara ou Média

Zonas Bioclimáticas	Cor do acabamento externo das paredes de fachada			
	Condição padrão	Com sombreamento	Com ventilação	Com sombreamento e ventilação
8	Não atende	Não atende	Não atende	Clara

Fonte: DATec N° 008.

A condição padrão mostrada no Quadro 3 e Quadro 4 traduz-se como um ambiente com ventilação somente por infiltração através de frestas em janelas e portas, com valor da taxa de renovação do volume de ar do ambiente por hora igual a um (1,0 Ren/h) e janelas sem sombreamento. A condição de sombreamento mostrada no quadro demonstra situações em que a proteção solar externa ou interna impede a entrada de radiação solar direta ou reduz em 50% a incidência da radiação solar global no ambiente. A condição de ventilação trata-se de um ambiente ventilado em que a taxa de renovação do volume de ar do ambiente por hora é igual a cinco (5,0 Ren/h).

As simulações computacionais para a avaliação térmica do sistema JET CASA constituídos pelos painéis mistos e lajes de piso maciças de concreto e espessura igual a 10 cm e lajes de forro nervuradas de concreto armado e espessura igual a 5 cm levaram em consideração a utilização do uso de um isolante térmico sob o telhado para o caso da zona bioclimática Z8. Ou seja, as condições apresentadas no Quadro 4 para a zona Z8 serão validas desde que se adicione um isolante térmico abaixo do telhado, o qual não é detalhado e nem especificado no DATec N° 008.

4.1.4.4. Desempenho acústico

Foram realizados em campo ensaios para a avaliação do isolamento acústico de paredes construídas com este sistema construtivo. Avaliou-se o isolamento em duas situações: a primeira considerando as paredes de fachada com espessura de 11 cm e a segunda considerando as paredes de geminação com espessura de 14 cm. Conforme mostra a Tabela 4 a seguir, os resultados para a isolação sonora foram satisfatórios e superaram aos limites propostos pelo critério de desempenho da Diretriz SINAT N° 002.

Tabela 4 – Resultados de ensaio de isolamento acústica em painéis do sistema JET CASA com espessura de 11 cm e 14 cm

Localização do painel	Local de ensaio	Variável analisada	Critério de desempenho da Diretriz SINAT 002: valor mínimo	Valor obtido
Fachada	Laboratório	R_w	30	37
Geminação (1)	Campo	$D_{nT,w}$	40	43
Geminação (2)	Campo	$D_{nT,w}$	40	41

Fonte: DATec N° 008.

4.1.4.5. Durabilidade e manutenibilidade

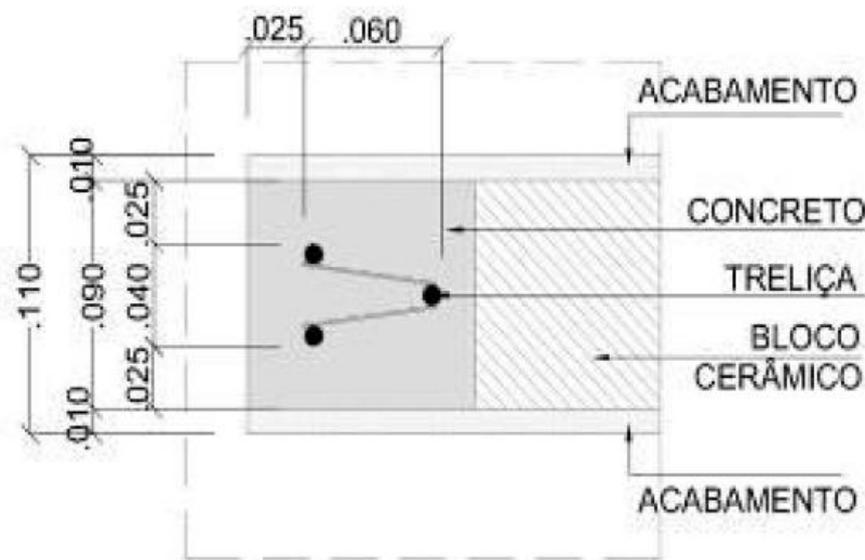
Foram realizadas verificações, ensaios e testes para avaliar os requisitos principais para a durabilidade dos painéis executados com o sistema JET CASA. A primeira desta verificação a ser apresentada e apontada pelo DATec N° 008 foram os ensaios de caracterização da argamassa de revestimentos dos painéis. Para esta argamassa foram realizados ensaios de índice de consistência, retenção de água, densidade de massa no estado fresco e no estado endurecido, teor de ar incorporado, resistência à tração na flexão, resistência à compressão e módulo dinâmico. Através destes ensaios foram determinados parâmetros de controle para que a argamassa tenha como resistência à compressão valor de 4,0 MPa e como resistência à tração flexão valor de 1,5 MPa. Desta maneira, painéis fabricados sob a tecnologia do sistema JET CASA devem produzir argamassas de revestimento que garantam esses valores como controle tecnológico de produção.

A argamassa de revestimento do sistema também foi avaliada quanto a resistência a aderência ao substrato, sendo avaliada segundo a norma brasileira NBR 13749:1996, que determina valores mínimos de resistência a aderência da argamassa de 0,2 MPa para revestimentos internos e 0,3 MPa para revestimentos externos. Os ensaios com a argamassa foram realizados sob essas condições e obtiveram-se resultados satisfatórios aprovando o revestimento empregado. Porém, segundo o DATec N° 008, a detentora da tecnologia do sistema indica traços específicos de argamassa de revestimento considerando materiais locais empregados para cada empreendimento.

O sistema JET CASA também foi avaliado quanto a classe de agressividade ambiental, resistência à compressão do concreto e relação água-cimento sendo verificada a interdependência entre esses fatores para garantir a qualidade mínima do concreto e conseqüentemente dos painéis do sistema. O sistema construtivo enquadra-se na classe de concreto C25 e nas classes I e II de agressividade ambiental, sendo o consumo de cimento igual a 296 kg/m^3 , $f_{ck} \geq 25 \text{ MPa}$ e relação água/cimento $\leq 0,60$.

Como pode ser verificado na Figura 49, o cobrimento da armadura é igual a 25 mm por uma camada de concreto tanto para os painéis com espessura de 11 cm como para os painéis com 14 cm. Existe também a adição de uma camada de 10 mm de argamassa dos dois lados contribuindo também para a proteção das armaduras. O cobrimento mínimo exigido pela Diretriz SINAT N° 002 é igual a 25 mm para Classe II de agressividade ambiental, $f_{ck} \geq 25 \text{ MPa}$, relação água/cimento $\leq 0,6$ e tolerância de execução para o cobrimento igual a 5 mm. Esta tolerância é permitida, pois existe no sistema de fabricação pré-moldado aqui discutido a utilização de dispositivos que garantem os limites rígidos de tolerância das dimensões.

Figura 49 – Detalhe do posicionamento das armaduras inseridas no painel executado com o sistema JET CASA



Fonte: DATec N° 008.

As lajes executadas no sistema construtivo JET CASA são convencionais e seus requisitos e critérios de projeto e durabilidade são conforme consta na NBR 6118:2007.

As peças metálicas que são utilizadas nas ligações entre painéis também possuem a sua durabilidade aprovada quanto às exigências da Diretriz SINAT N° 002, pois se encontram protegidas por primer epóxi rico em zinco e argamassa de cimento e areia possibilitando resistência à ação da corrosão metálica.

Ensaio de ação de calor e choque térmico foram realizados conforme exigências da Diretriz SINAT N° 002 e obtiveram-se resultados satisfatórios para os painéis fabricados com o sistema JET CASA.

O selante acrílico empregado no tratamento das juntas entre painéis torna-se o principal item de observância dentre da durabilidade do sistema, pois necessita ser bem aplicado para que possa garantir adequado isolamento, estanqueidade e ausência de fissuras. A presença deste selante torna a vida útil de projeto igual a dez anos, sendo necessária a substituição completa do selante neste intervalo de tempo.

4.1.4.6. Segurança ao fogo

A segurança ao fogo dos painéis do sistema construtivo JET CASA foi avaliada em laboratório por meio de dois ensaios. O primeiro ensaio contemplou o teste em um painel com espessura de 11 cm utilizado em casas térreas e o segundo um painel com igual espessura, porém utilizado em sobrados. Diferentes cargas foram aplicadas nos painéis conforme as suas características (9 kN/m para painel de casas térreas e 18 kN/m) durante o período de 30 minutos da realização do ensaio. Constatou-se primeiramente que os painéis pré-moldados mistos de concreto, por serem constituídos de materiais incombustíveis, não se caracterizam como propagadores de incêndio, e posteriormente a realização do ensaio de resistência ao fogo, observou-se que os painéis atendem às exigências quanto à segurança ao fogo da Diretriz SINAT N° 002 para as duas tipologias de unidades habitacionais.

4.1.4.7. Controle da qualidade do sistema

O controle de qualidade do sistema é realizado nas obras por meio de documentos técnicos que preveem o controle da qualidade dos projetos, do recebimento dos materiais, da fabricação e recebimento dos painéis pós fabricação e da montagem dos painéis em local final incluindo todas as etapas do sistema. A empresa detentora da tecnologia é a responsável pela elaboração e aplicação desses documentos garantindo o permanente controle de qualidade do sistema JET CASA.

4.2. Sistema Construtivo CASA EXPRESS

4.2.1. Introdução

O Sistema CASA EXPRESS é constituído por painéis pré-moldados mistos de concreto armado e blocos cerâmicos para paredes. A empresa detentora do DATec e da tecnologia é a CASA EXPRESS Construções e Empreendimentos Imobiliários Ltda., e foi emitido em fevereiro de 2012, tendo validade até janeiro de 2014. A avaliação técnica do DATec N° 009-A referente a este sistema construtivo foi coordenada por uma Instituição Técnica Avaliadora, no caso o Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT), e a concessão de uso do sistema foi autorizada por dois comitês, sendo: um Comitê Técnico reunido em 13 de janeiro de 2012, e outro Comitê Nacional reunido em 1º de fevereiro de 2012. As decisões dos comitês restringiram a utilização do sistema para a construção de casas térreas, sobrados, casas sobrepostas e edifícios habitacionais de dois pavimentos (térreo e superior) desde que sejam seguidas as condições e especificações expressas no Documento de Avaliação Técnica N° 009-A.

4.2.2. Descrição do sistema

O sistema CASA EXPRESS foi desenvolvido para a construção de casas térreas isoladas ou geminadas, sobrados isolados ou geminados, casas sobrepostas e edifícios habitacionais multifamiliares de dois pavimentos (térreo e superior). O sistema é composto por: paredes estruturais formadas por painéis pré-moldados mistos de concreto armado e blocos cerâmicos, junções entre os painéis, interfaces entre painéis de parede e janelas e interfaces entre painéis de parede e instalações.

A produção destes painéis é realizada em fábrica específica do sistema ou no próprio canteiro de obras, sendo a fabricação dos painéis na posição horizontal. Para tanto o sistema necessita de formas constituídas de perfis metálicos para o perímetro dos painéis e vãos de aberturas de portas e janelas; e de uma pista de concreto como base. O travamento entre as formas de perfis metálicos é feito por meio de parafusos e ganchos. Os painéis depois de produzidos são transportados dentro da unidade de produção por meio de caminhão com guindaste, ponte rolante ou guincho motorizado e são transportados da unidade de produção até o seu local de montagem definitivo por caminhão e guindaste. A figura a seguir mostra uma vista geral de uma unidade de produção do sistema CASA EXPRESS.

Figura 50 – Vista geral de unidade de produção do sistema CASA EXPRESS em Itapira-SP



Fonte: DATec Nº 009-A.

O sistema foi avaliado segundo as exigências da Diretriz do SINAT Nº 002 e possui condições e limitações de uso. Modificações em paredes e lajes, tais como abertura de vãos e rasgos para instalações hidráulicas e elétricas devem ter a anuência da CASA EXPRESS. Todos os cuidados e instruções pela CASA EXPRESS em seu manual de operação, uso e manutenção devem ser seguidos pelo cliente.

O sistema possui limitações de uso aos quais os projetos devem se enquadrar, tais como: regiões com classe de agressividade ambiental I e II, zonas bioclimáticas específicas (Z3, Z4, Z7 e Z8 para casas térreas e Z7 E Z8 para sobrados) com condições de uso para as cores das paredes da fachada e no caso emprego da classe de agressividade ambiental III (atmosfera marinha) devem ser realizadas adequações nos painéis. Esta inclusão de possibilidade de construção com o sistema na classe de agressividade ambiental marinha ocorreu após a última revisão do presente ano no Documento de Avaliação Técnica, denominada revisão A.

4.2.3. Informações e dados técnicos do sistema

4.2.3.1. Especificações e detalhes construtivos

4.2.3.1.1. Painel de parede

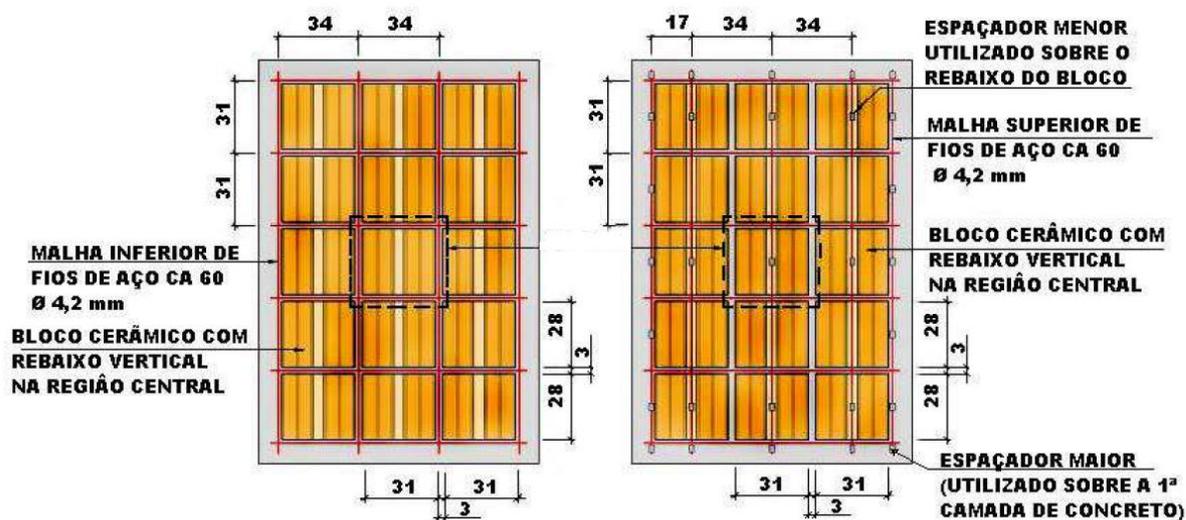
A espessura do painel do sistema é de 11,5 cm sendo composto por duas camadas externa de concreto convencional (Classe C25): a primeira camada de concreto possui espessura de 3 cm e localiza-se na face inferior em contato com a pista de concreto durante a sua produção e a segunda camada possui espessura de 2 cm acima do bloco cerâmico. Sobre esta segunda camada de concreto o painel possui ainda uma camada de argamassa de 0,5 cm de espessura. Entre as duas camadas de concreto, o núcleo é formado por bloco cerâmico com 6 cm de espessura. O comprimento máximo dos painéis produzidos com este sistema é de 7,00 m e a altura equivalente ao pé-direito. Painéis que funcionam como apoio a coberta – painéis de empena – possuem altura variável.

Os painéis possuem um quadro externo e nervuras internas de concreto armado (massa específica de 2400 kg/m^3), sendo a resistência a compressão características desse concreto de 25 MPa aos 28 dias e a resistência mínima a compressão para a desenforma (48 horas após a moldagem) de 10 MPa. A consistência especificada para o concreto empregado é de $70 \pm 10 \text{ mm}$ e a cura do concreto é realizada umedecendo-se a superfície do painel por um período de 24 horas após a moldagem. O cobrimento das armaduras é de 30 mm para uma face e 30,6 mm para a outra face do painel, sendo garantido pelo posicionamento de espaçadores fabricados em argamassa e sulcos existentes nos blocos cerâmicos.

A armadura dos painéis é composta por uma malha de aço inferior e uma segunda malha superior, fabricadas por fios de aço CA-60 e diâmetro de 4,2 mm, com espaçamento de 34 cm entre fios verticais e 31 cm entre fios horizontais. A tolerância para as dimensões das malhas de aço é de $\pm 1,5 \text{ cm}$. Durante a fabricação do painel, os fios da malha de aço inferior são apoiados diretamente sobre a primeira camada de concreto, enquanto que para os fios da malha de aço superior foram desenvolvidos espaçadores de argamassa pré-moldada com altura de 5 mm e são dispostos sobre os rebaxos existentes nos blocos cerâmicos. A Figura 51 a seguir apresenta uma vista esquemática do painel fabricado com o sistema CASA EXPRESS mostrando à esquerda a malha de armadura inferior e à direita a malha de armadura superior. A Figura 52 a

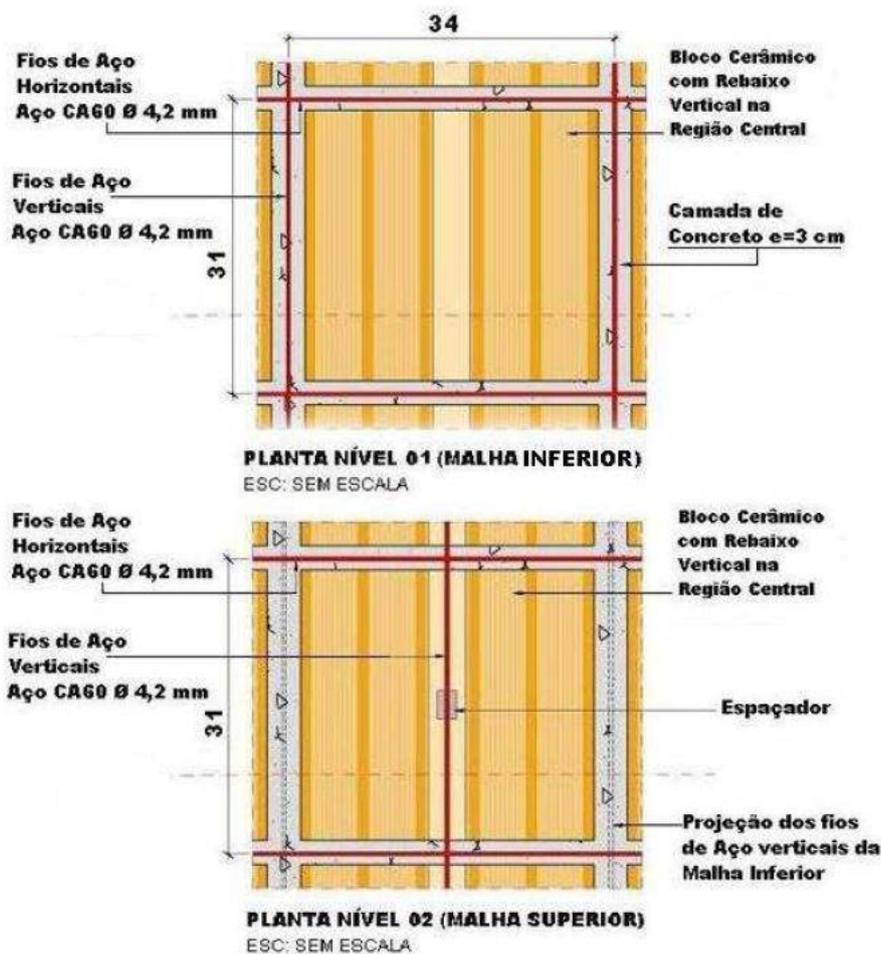
seguinte mostra também uma vista esquemática ampliada das duas regiões do painel sendo a primeira a malha inferior do painel e a segunda a malha superior.

Figura 51 – Vista esquemática do painel do sistema CASA EXPRESS. À esquerda vista esquemática de malha inferior e à direita vista esquemática de malha superior.



Fonte: DATec N° 009-A.

Figura 52 – Vista ampliada da malha inferior e superior, consecutivamente, do painel do sistema CASA EXPRESS

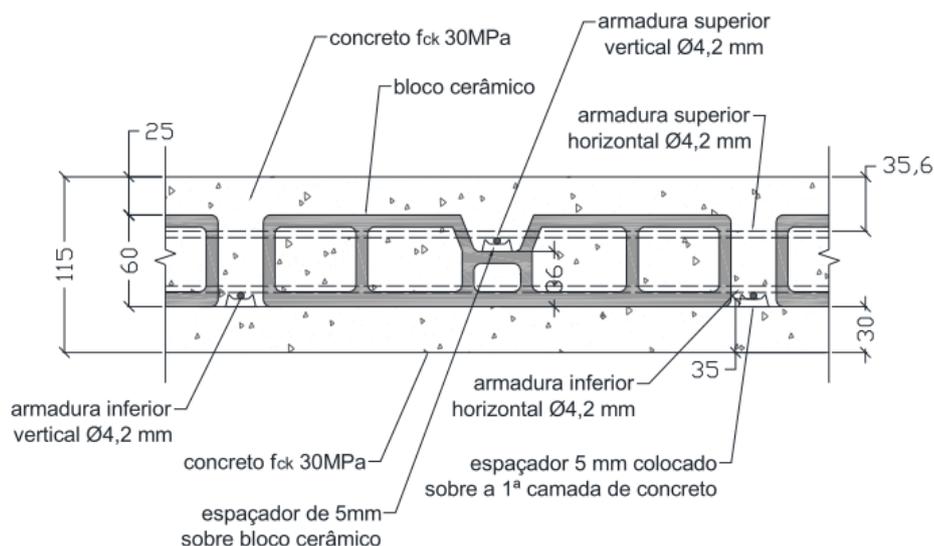


Fonte: DATec N° 009-A.

Os blocos cerâmicos vazados empregados no sistema são próprios e foram desenvolvidos especificamente para o sistema. Os blocos possuem um rebaixo central na direção da largura e profundidade de 2,4 cm, possuindo largura de 28 cm e comprimento de 31 cm, ambas as dimensões com tolerância de aceitação de $\pm 1,5$ cm. A resistência a compressão do bloco, massa específica e absorção de água foram avaliados conforme norma brasileira NBR 15.270-2:2005. A Figura 53 a seguir apresenta um corte da seção do painel executado com os processos do sistema CASA EXPRESS para as classes de agressividade ambiental I e II. Nesta figura visualizam-se as espessuras das camadas, o posicionamento e o formato do bloco cerâmico e o posicionamento das armaduras, inferior e superior.

agressividade ambiental. Com relação a outra face do painel, esta é preenchida com concreto com resistência característica $f_{ck} = 30 \text{ MPa}$ até o topo da forma, formando assim uma camada de 30,6 mm de espessura sobre a armadura superior. Esta adaptação é realizada apenas para painéis que estão localizados em áreas com ação da umidade ou da água (banheiros, cozinhas e áreas de serviço). A Figura 54 mostra um corte esquemático da seção deste painel.

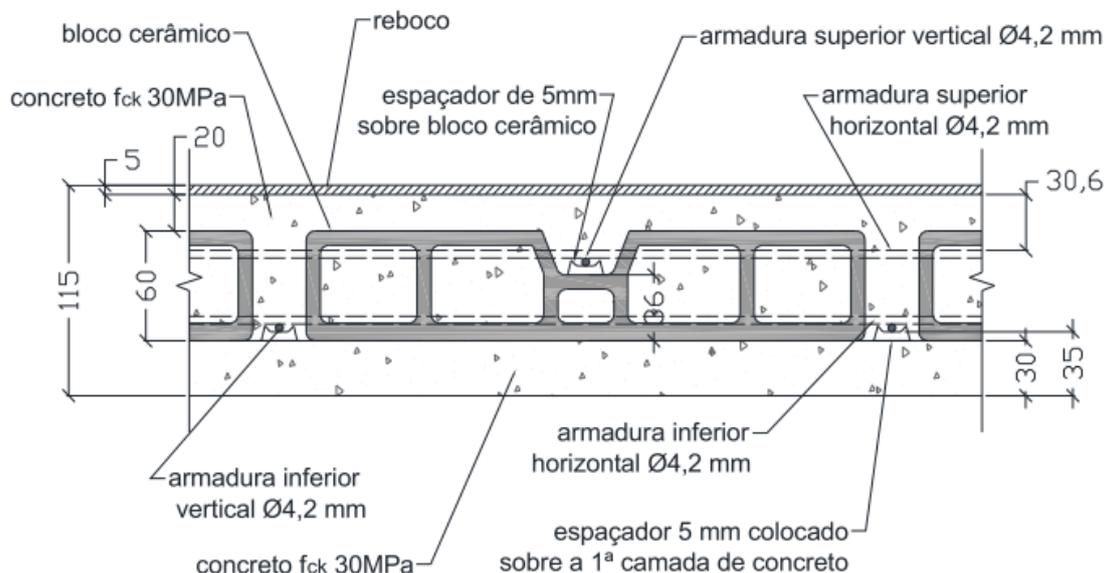
Figura 54 – Corte esquemático do painel do sistema CASA EXPRESS utilizado nas regiões de classe III de agressividade ambiental e em áreas molháveis conforme projeto (medidas em mm)



Fonte: DATec N° 009-A.

Painéis que não estão sujeitos a ação direta da água, recebem na face superior do painel uma camada de concreto e sobre esta uma camada de revestimento de argamassa com 5 mm de espessura, conforme mostra a figura d a seguir com um corte esquemático da seção deste painel.

Figura 55 – Corte esquemático do painel do sistema CASA EXPRESS utilizado nas regiões de classe III de agressividade ambiental e em áreas secas conforme projeto (medidas em mm)



Fonte: DATec Nº 009-A.

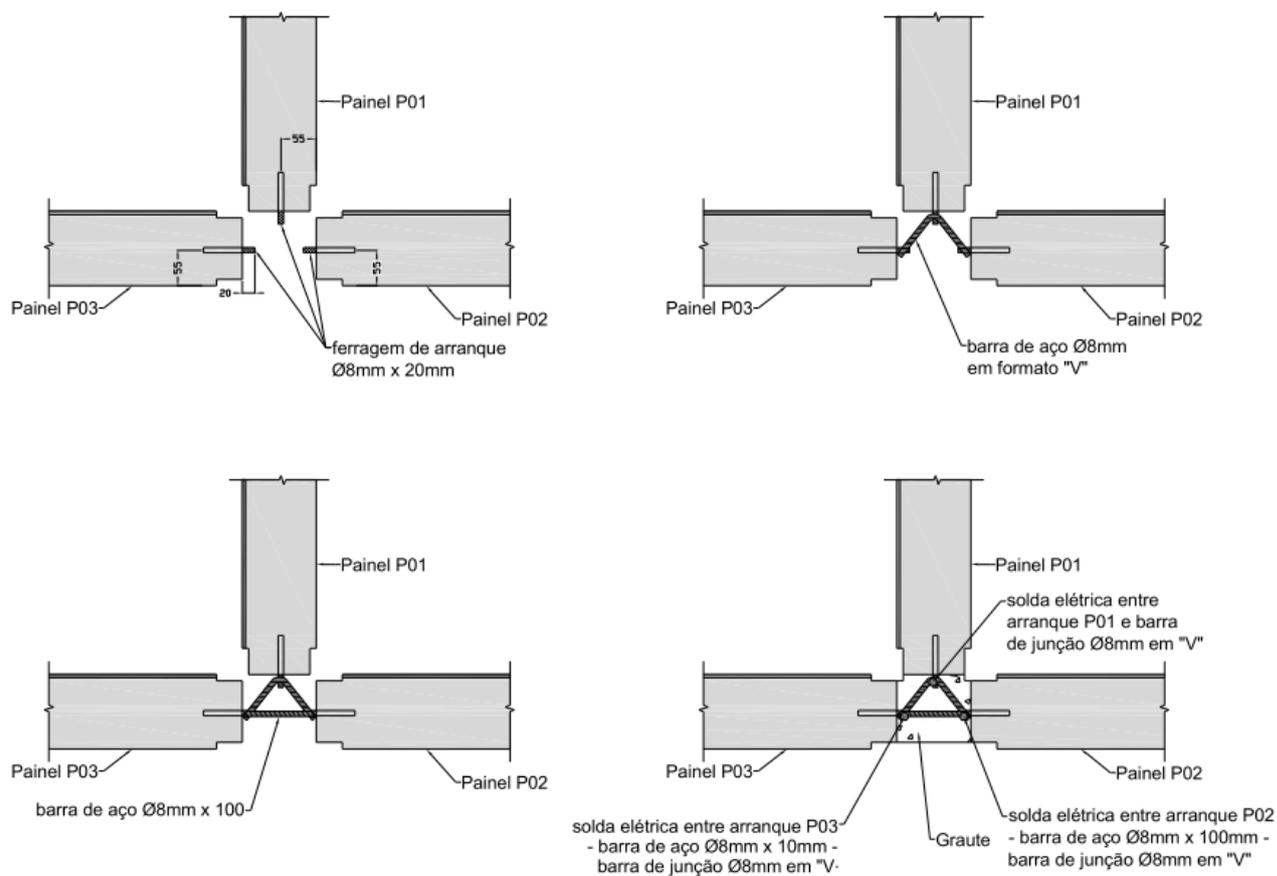
4.2.3.1.2. Ligações entre painéis de parede

A ligação entre painéis é realizada por meio de solda elétrica de armaduras de ligação nas bordas laterais dos painéis. As armaduras de ligação de cada painel são solidarizadas com as armaduras de ligação dos painéis adjacentes. Para isso utiliza-se barras soldáveis de aço CA-50 de diâmetro 8 mm. A CASA EXPRESS possui três procedimentos de soldagem dependendo da quantidade de painéis que vão ser unidos: para a ligação entre dois painéis utiliza-se uma barra de aço CA-50 reta com comprimento de 10 cm; para a ligação entre três painéis utiliza-se também o aço CA-50, porém com uma barra de 18 cm de comprimento em formato de “V” e uma barra de aço reta com comprimento de 10 cm e para a ligação entre quatro painéis utilizam-se duas barras de aço em formato de “V” com comprimento de 18 cm e uma barra reta com 12 cm de comprimento. A Figura 56 a seguir mostra os detalhes da ligação entre painéis no caso da junção entre três painéis, bem como a sequência de montagem dos mesmos, sendo ao todo onze pontos de solda distribuídos ao longo da altura das juntas verticais.

O vazio existente na região de ligação entre os painéis é posteriormente preenchido com graute de resistência característica a compressão de 25 MPa após os 28 dias, com auxílio de forma específica. Após o lançamento e endurecimento do graute,

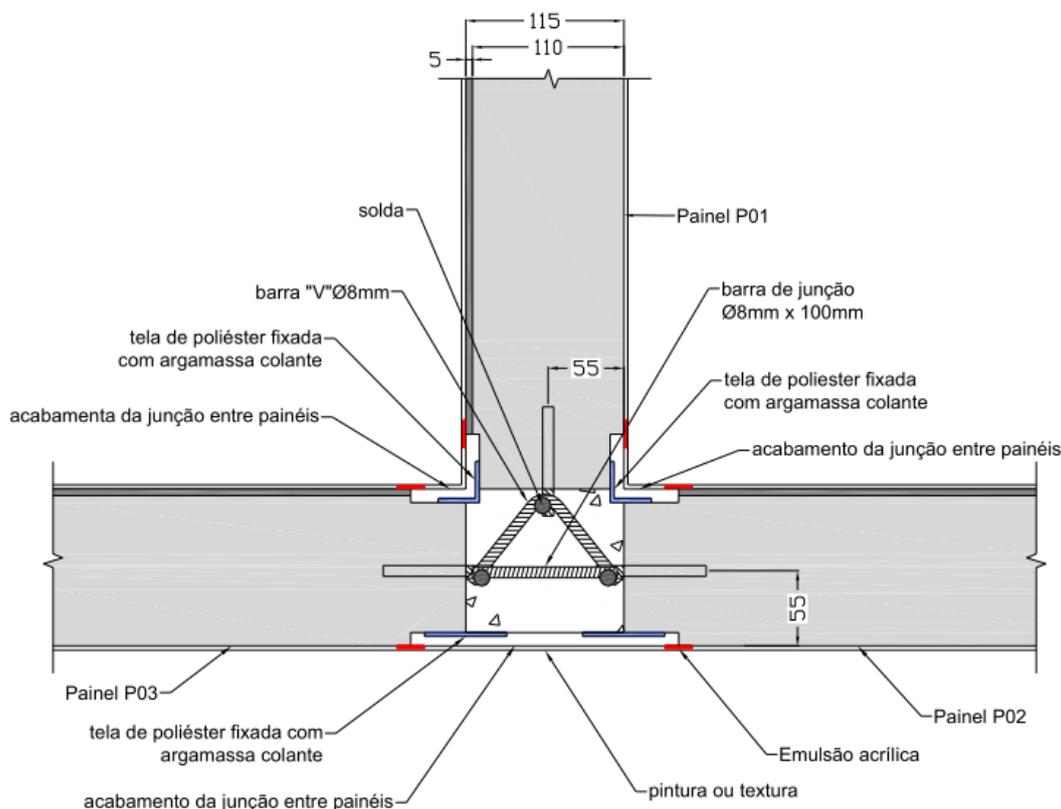
executa-se o tratamento das juntas com aplicação de tela de poliéster fixada com argamassa colante AC I e o acabamento é realizado com argamassa de revestimento com traço em volume de 1:4 (cimento:areia fina) com adição de aditivo adesivo. Como finalização aplica-se uma emulsão acrílica na região da junta. A Figura 57 mostra um desenho esquemático do acabamento da junta entre painéis de parede.

Figura 56 – Sequencia de montagem da ligação vertical entre painéis do sistema CASA EXPRESS



Fonte: DATec N° 009-A.

Figura 57 – Detalhe esquemático do acabamento da ligação entre painéis do sistema CASA EXPRESS (medidas em mm)



Fonte: DATec N° 009-A.

4.2.3.1.3. Ligações entre painéis de parede e lajes

As lajes utilizadas no sistema são do tipo maciças ou nervuradas, podendo ser fabricadas in loco ou pré-moldadas em concreto, atendendo todas elas as normas brasileiras de concreto, e projetadas conforme as características do empreendimento. Casas térreas podem, dependendo do projeto, ser executadas sem laje empregando-se apenas um forro de PVC. Com o emprego de laje, por sua vez, são utilizados pinos de travamento para as lajes apoiadas sobre os painéis. Estes pinos são compostos por barras de aço CA-50 e diâmetros de 10 mm fixados com adesivo estrutural de base epóxi e alta fluidez. O tratamento da junta externa a edificação é realizada com tela de poliéster assentada com argamassa colante, argamassa de cimento e areia fina (traço 1:4, em volume) com aditivo adesivo e aplicação de emulsão acrílica.

4.2.3.1.4. Interface entre painéis e instalações

As tubulações hidráulicas de pequeno porte são embutidas nos painéis quando ainda estão sendo produzidos, apenas em painéis estruturais com até 2 m de comprimento e no caso de painéis estruturais com comprimento superior a 2 m são executados shafts para a passagem das tubulações hidráulicas. O processo de embutimento das instalações para painéis inferiores a 2 m de comprimento é realizado após a execução da segunda camada de concreto, sendo posicionadas as instalações sobre essa e em seguida lançada uma camada de 4 cm de espessura de concreto com f_{ck} igual a 12 MPa, totalizando assim espessura de 15 cm para esses painéis que possuem instalações.

4.2.3.1.5. Interface entre painéis e esquadrias

As esquadrias do sistema são inseridas posteriormente a montagem dos painéis e para tanto são deixados rebaixos no painel para que possam ser chumbadas posteriormente as janelas e as portas. A fixação das esquadrias ocorre com argamassa colante tipo AC I e em seguida é aplicada uma emulsão acrílica em todo o perímetro das esquadrias para quando estas estão posicionadas na fachada.

4.2.3.1.6. Revestimento e acabamento dos painéis

As faces dos painéis voltadas para o interior da edificação recebem pintura PVA ou acrílica, enquanto que as voltadas para o exterior recebem textura acrílica ou tinta acrílica. Revestimentos cerâmicos podem ser aplicados nas áreas sujeita a ação direta da água dependendo das especificações do projeto.

4.2.3.2. *Procedimento de execução*

As etapas de fabricação de uma unidade habitacional com este sistema construtivo estão detalhadas a seguir e estão distribuídas em um total de 19 atividades.

- a) Preparação das formas com a limpeza das mesmas e aplicação de desmoldante para concreto conforme mostra a Figura 58 a seguir.

Figura 58 – Preparação das formas do sistema CASA EXPRESS e aplicação de desmoldante



Fonte: DATec Nº 009-A.

- b) Lançamento da primeira camada de concreto com adensamento por meio de rolo manual de metal (Figura 59). Para possibilitar que a espessura desta camada permaneça 30 mm como a de projeto, insere-se na forma galgas com dimensão de 30 mm x 30 mm.

Figura 59 – Adensamento do concreto da primeira camada do painel do sistema CASA EXPRESS



Fonte: DATec Nº 009-A.

- c) Posicionamento das treliças metálicas de altura igual a 6 cm diretamente sobre a primeira camada de concreto nas regiões dos vãos de portas e janelas (Figura 60).

Figura 60 – Posicionamento de treliça de reforço nas aberturas de vão de porta e janela no painel do sistema CASA EXPRESS



Fonte: DATec N° 009-A.

- d) Posicionamento dos blocos cerâmicos sobre o concreto fresco conforme projeto executivo elaborado pela detentora da tecnologia (Figura 61).

Figura 61 – Posicionamento dos blocos cerâmicos no painel do sistema CASA EXPRESS



Fonte: DATec N° 009-A.

- e) Inserção da malha inferior da armadura do painel na forma metálica diretamente sobre a primeira camada de concreto disposta nos espaçamentos entre os blocos cerâmicos. Os fios de aço são inseridos na direção longitudinal e transversal do painel (Figura 62).

Figura 62 – Posicionamento da armadura inferior do painel do sistema CASA EXPRESS



Fonte: DATec Nº 009-A.

- f) Posicionamento da malha superior da armadura do painel sobre os blocos cerâmicos por meio de espaçadores inseridos nos rebaixos dos painéis na direção longitudinal do painel. Na direção transversal, as armaduras superiores são apoiadas diretamente sobre a armadura inferior existente nos vãos entre os blocos cerâmicos (Figura 63).

Figura 63 – Posicionamento da armadura superior do painel do sistema CASA EXPRESS



Fonte: DATec Nº 009-A.

- g) Lançamento e adensamento da segunda camada de concreto do painel preenchendo todos os vãos existentes entre blocos cerâmicos, rebaxos dos mesmos e quadro do perímetro do painel (Figura 64).

Figura 64 – Lançamento e adensamento da segunda camada de concreto do painel do sistema CASA EXPRESS



Fonte: DATec N° 009-A.

- h) Execução da camada de argamassa sobre a camada adensada de concreto. Esta camada é sarrafeada e desempenada conferindo assim acabamento final do painel (Figura 65).

Figura 65 – Acabamento da camada de argamassa executada sobre a segunda camada de concreto do painel do sistema CASA EXPRESS



Fonte: DATec N° 009-A.

- i) Painéis estruturais que possuem instalações hidráulicas de pequeno porte recebem o embutimento destas sobre a segunda camada de concreto. Após o posicionamento das instalações hidráulicas (Figura 66), lança-se uma camada de concreto com $f_{ck} = 12$ MPa (Figura 67) e executa-se o adensamento e acabamento desta camada.

Figura 66 – Posicionamento de tubulações hidráulicas em painel do sistema CASA EXPRESS



Fonte: DATec Nº 009-A.

Figura 67 – Lançamento de concreto ($f_{ck} = 12$ MPa) sobre tubulações hidráulicas no painel do sistema CASA EXPRESS



Fonte: DATec Nº 009-A.

- j) A liberação do painel em obra ocorre após 48 horas da finalização da sua moldagem.

- k) Locação dos painéis sobre a fundação, onde são posicionados também guias fabricadas em ferro fundido para correto posicionamento das paredes (Figura 68). Na parte superior dos painéis, são realizados travamentos com o intuito de se ajustar o alinhamento e o prumo das peças (Figura 69).

Figura 68 – Guias provisórias para posicionamento dos painéis do sistema CASA EXPRESS sobre a fundação



Fonte: DATec N° 009-A.

Figura 69 – Travamento superiores nos painéis do sistema CASA EXPRESS durante a montagem



Fonte: DATec N° 009-A.

- l) Execução de solda entre as armaduras de ligação dos painéis distribuídas ao longo da altura do painel (Figura 70 e Figura 71).

Figura 70 – Solda entre armaduras de ligação com dois painéis do sistema CASA EXPRESS



Fonte: DATec Nº 009-A.

Figura 71 – Detalhe de solda de ligação entre três painéis do sistema CASA EXPRESS



Fonte: DATec Nº 009-A.

- m) Retirada das bases de ferro fundido e substituição por calços de argamassa nas interfaces entre painéis e fundação (Figura 72 e Figura 73). Para este processo utiliza-se um macaco hidráulico para suspensão do painel.

Figura 72 – Suspensão do painel com macaco hidráulico para retirada das bases de ferro sob os painéis do sistema CASA EXPRESS



Fonte: DATec Nº 009-A.

Figura 73 – Inserção de calços de argamassa na interface entre painéis e fundação do sistema CASA EXPRESS



Fonte: DATec Nº 009-A.

- n) Preenchimento do vão existente na parte inferior do painel com argamassa de cimento, areia (1:3 em volume) e aditivo impermeabilizante expensor (Figura 74). Em seguida, aplica-se uma emulsão acrílica sobre esta argamassa endurecida (Figura 75).

Figura 74 – Aplicação de argamassa com impermeabilizante na base dos painéis do sistema CASA EXPRESS



Fonte: DATec N° 009-A.

Figura 75 – Aplicação de emulsão acrílica sobre a argmassa de regularização da base dos painéis do sistema CASA EXPRESS



Fonte: DATec N° 009-A.

- o) Preenchimento das juntas entre painéis com graute com o auxílio de formas metálicas (Figura 76).

Figura 76 – Preenchimento das juntas entre painéis do sistema CASA EXPRESS



Fonte: DATec Nº 009-A.

- p) Colocação da tela de poliéster nos rebaxos verticais existentes nas ligações entre painéis, sendo esta fixada com o auxílio de uma argamassa colante tipo AC I (Figura 77).

Figura 77 – Aplicação de tela de poliéster com argamassa colante AC I nas juntas entre painéis do sistema CASA EXPRESS



Fonte: DATec Nº 009-A.

- q) Execução do acabamento das juntas de ligação entre painéis com argamassa (Figura 78) e aplicação de emulsão acrílica após o endurecimento da argamassa (Figura 79).

Figura 78 – Acabamento das juntas com argamassa nos painéis do sistema CASA EXPRESS



Fonte: DATec Nº 009-A.

Figura 79 – Aplicação de emulsão acrílica após endurecimento de argamassa das juntas entre painéis do sistema CASA EXPRESS



Fonte: DATec Nº 009-A.

- r) Instalação de portas e janelas, os posicionado de acordo com os rebaixos deixados durante a moldagem do painel (Figura 80) e em seguida aplicando-se argamassa para fixação e ancoragem das esquadrias (Figura

81). Após a aplicação da argamassa e seu endurecimento, aplica-se uma emulsão acrílica nas interfaces entre painel e esquadria para garantir impermeabilização (Figura 82).

Figura 80 – Instalação da porta conforme rebaixos existentes no painel do sistema CASA EXPRESS



Fonte: DATec N° 009-A.

Figura 81 – Chumbamento das esquadrias com argamassa no painel do sistema CASA EXPRESS



Fonte: DATec N° 009-A.

Figura 82 – Aplicação de emulsão acrílica no perímetro das esquadrias no painel do sistema CASA EXPRESS



Fonte: DATec Nº 009-A.

- s) Finalização e acabamentos da unidade habitacional executando atividades de revestimentos, fiação, pintura e pavimentação. A seguir uma unidade habitacional do tipo térrea finalizada com o emprego do sistema construtivo CASA EXPRESS (Figura 83).

Figura 83 – Unidade habitacional finalizada e construída com o sistema construtivo CASA EXPRESS



Fonte: DATec Nº 009-A.

4.2.4. Avaliação técnica sobre o sistema

A avaliação técnica do sistema construtivo CASA EXPRESS foi realizada pela Instituição Técnica Avaliadora, neste caso o Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), baseada nas instruções da Diretriz N° 002 do Sistema Nacional de Avaliações Técnicas (SINAT) e tendo como referência os projetos, ensaios de laboratório, verificações analíticas de comportamento estrutural, visitas aos canteiros de obras e outras avaliações conforme aponta o DATec N° 009-A.

4.2.4.1. Desempenho estrutural

A verificação do desempenho estrutural do sistema foi avaliada por meio de ensaios e verificação de projetos, a partir das avaliações desenvolvidas concluiu-se que o sistema construtivo CAS EXPRESS atende aos requisitos e critérios de desempenho estrutural estabelecidos na Diretriz SINAT N° 002 para a construção de casas térreas, sobrados, edifícios de pavimento térreo mais um pavimento e de casas sobrepostas.

Esta validação foi inicialmente verificada por meio de ensaio de compressão excêntrica para avaliação da resistência as cargas verticais, sendo considerados os dois estados exigidos por norma: estado limite último e estado limite de utilização.

Para a verificação do estado limite último considerado durante o ensaio a aplicação de uma carga de 17,5 kN/m conforme informado pela detentora da tecnologia conforme projeto estrutural para sobrados, casas sobrepostas e edifícios habitacionais de dois pavimentos. Com a majoração da carga atuante em 1,4 e a resistência a compressão excêntrica de ensaio obtida por meio de equações constantes na norma brasileira NBR 15.575-2:2008, obteve-se que a carga máxima atuante é inferior a resistência última do painel. Desta maneira, validou-se por meio de ensaio de laboratório a capacidade estrutural dos painéis executados com o sistema construtivo CASA EXPRESS.

Quanto à verificação do estado limite de utilização, foram obtidos durante o ensaio deslocamentos horizontais inferiores ao máximo permitido ($h/500$) concluindo-se que os painéis executados com o sistema construtivo CASA EXPRESS atendem ao estado limite de utilização.

A Tabela 5 a seguir apresenta os valores obtidos durante os ensaios de compressão excêntrica realizados para os painéis do sistema CASA EXPRESS. Os valores de R_{sd} e R_{ud} também constam na tabela abaixo e foram calculados conforme norma brasileira NBR 15.575-2:2008, segundo o DATec N° 009-A.

Tabela 5 - Resultados do ensaio de compressão excêntrica nos painéis do sistema CASA EXPRESS

Corpo de prova ensaiado	Carga do primeiro dano (kN/m)	Carga de ruptura (kN/m)
CP 1	833,3	833,3
CP 2	416,7	666,7
CP 3	500,0	621,7
Média	583,3	707,2
	$R_{sd} = 104,2 \text{ kN/m}$	$R_{ud} = 231,5 \text{ kN/m}$

Fonte: DATec N° 009-A.

O ensaio de impacto de corpo mole foi realizado nos painéis do sistema CASA EXPRESS e foram obtidos resultados conforme as exigências da Diretriz SINAT N° 002 para as energias de impacto de 120 J a 720 J, sendo, portanto o painel do sistema aprovado quanto ao impacto de corpo mole.

Ensaio de impacto de corpo duro também foram realizados nas faces internas e externas dos painéis sendo obtidas para ambas as faces resultados satisfatórios e conformes as exigências da Diretriz SINAT N° 002.

O ensaio de peças suspensas foi realizado conforme especificações da Diretriz SINAT N° 002, sendo empregado para a fixação das mãos francesas buchas plásticas U10 e parafusos ST (6,3 mm x 78 mm). Os procedimentos de ensaios foram seguidos conforme as normas em questão e obtiveram-se um comportamento satisfatório quanto às solicitações transmitidas por peças suspensas, segundo o DATec N° 009-A. O coeficiente de segurança mínimo do sistema para as cargas de uso em relação as cargas de ruptura do sistema de fixação é igual a 3.

Ações transmitidas por portas também foram avaliadas e foram feitas considerando o fechamento brusco da folha de porta e o impacto de corpo mole sobre a folha de porta. Os resultados foram satisfatórios e atenderam as exigências da Diretriz.

4.2.4.2. *Estanqueidade à água*

A verificação da estanqueidade à água do sistema foi avaliada por meio de ensaios laboratoriais e análise de projetos do sistema. O ensaio de laboratório de estanqueidade à água foi realizado nas juntas entre painéis considerando uma pressão estática de atuação de 50 Pa. Os painéis na ocasião do ensaio receberam a aplicação de um selador e textura acrílica conforme especificações da detentora da tecnologia. Este ensaio de estanqueidade foi realizado nos painéis que haviam recebido anteriormente a realização do ensaio de choque térmico. Segundo o DATec N° 009-A, não foram observadas infiltrações, formação de gotas de água aderentes na face, nem manchas de umidade ou vazamentos no painel durante o ensaio, sendo atendido os critérios exigidos pela Diretriz SINAT N° 002.

Avaliações de projeto concluíram que a utilização de textura ou tinta acrílica com selador contribuem para a impermeabilização do painel, bem como possíveis revestimentos cerâmicos aplicados conforme especificações de projeto. A análise do modo de execução da fixação das esquadrias bem como o tratamento posterior com emulsão acrílica nas interfaces das paredes com esquadrias concluiu, segundo DATec N° 009-A, que este procedimento satisfaz às condições de estanqueidade à água de chuva nesta interface.

A estanqueidade nas áreas molháveis do sistema é garantida segundo o DATec N° 009-A pelo emprego de revestimento cerâmicos. As paredes internas localizadas nas áreas secas por sua vez recebem pintura com duas demãos de tinta PVA ou acrílica contribuindo para a estanqueidade do painel.

As interfaces entre painéis e pisos foram avaliadas e foram levados em consideração pelo DATec N° 009-A a existência de diferença de cotas do nível de 1 cm do piso do banheiro com o do corredor e de 2 cm do piso do banheiro e da área de banho.

A impermeabilização entre fundação e paredes foram classificadas como satisfatórias devido a existência de uma argamassa de preenchimento de cimento, areia (1:3 em volume) e aditivo impermeabilizante expensor. Sendo a impermeabilização contribuída também pela aplicação de uma emulsão acrílica sobre a argamassa após o seu endurecimento.

Segundo o DATec N° 009-A, a cobertura do sistema CASA EXPRESS deve atender as normas brasileiras existentes relativas a telhados com telhas cerâmicas para que o sistema torne-se também aceitável quanto a estanqueidade à água.

4.2.4.3. *Desempenho térmico*

A análise de desempenho térmico realizada para o sistema construtivo em questão foi realizada, segundo DATec N° 009-A, para seis tipologias de projetos apresentados a seguir:

- a) Tipo A: Casa térrea isolada, com cobertura em laje mista de concreto e cerâmica (espessura de 10 cm) e telhado com telhas cerâmicas.
- b) Tipo B: Casa térrea isolada, com forro de PVC (espessura de 1 cm) e telhado com telhas cerâmicas;
- c) Tipo C: Casa térrea isolada, com forro de PVC, com emprego de isolante térmico (camada de lã de rocha com espessura de 5cm) e telhado com telhas cerâmicas;
- d) Tipo D: Sobrado isolado, com laje intermediária maciça de concreto (espessura de 8 cm), com forro de PVC (espessura de 1 cm), com subcobertura sob as telhas (emissividade de 0,1) e telhado com telhas cerâmicas;
- e) Tipo E: Sobrado isolado, com laje intermediária maciça de concreto (espessura de 8 cm) com forro de PVC (espessura de 1 cm), com subcobertura sob as telhas (emissividade 0,2) e telhado com telhas cerâmicas;
- f) Tipo F: sobrado isolado, com laje intermediária maciça de concreto (espessura de 8 cm) laje de cobertura maciça de concreto (espessura de 8 cm), com forro de PVC (espessura de 1 cm) sob a laje e telhado com telhas cerâmicas.

As simulações por meios computacionais consideraram os seguintes parâmetros de absorvância à radiação solar da superfície externa igual a 0,3 para paredes com cores claras, 0,5 com cores médias e 0,7 com cores escuras. Os resultados obtidos foram que os painéis de parede do sistema possuem potencial para apresentarem desempenho térmico mínimo desde que sejam executadas as condições impostas no Quadro 5 e Quadro 6.

Quadro 5 - Condições para que casas térreas do sistema CASA EXPRESS atendam às exigências mínimas de desempenho térmico

Zonas Bioclimáticas	Tipologia de projeto avaliada	Cor do acabamento externo das paredes de fachada			
		Condição padrão	Com sombreamento	Com ventilação	Com sombreamento e ventilação
3	Tipo A	Clara	Clara	Clara	Clara
4	Tipo B	Qualquer cor	Qualquer cor	Qualquer cor	Qualquer cor
7	Tipo A	Qualquer cor	Qualquer cor	Qualquer cor	Qualquer cor
7	Tipo B	Qualquer cor	Qualquer cor	Qualquer cor	Qualquer cor
8	Tipo C	Não atende	Clara	Não atende	Clara

Fonte: DATec N° 009-A.

Quadro 6 - Condições para que sobrados do sistema CASA EXPRESS atendam às exigências mínimas de desempenho térmico

Zonas Bioclimáticas	Tipologia de projeto avaliada	Cor do acabamento externo das paredes de fachada			
		Condição padrão	Com sombreamento	Com ventilação	Com sombreamento e ventilação
7	Tipo D	Qualquer cor	Qualquer cor	Qualquer cor	Qualquer cor
7	Tipo F	Qualquer cor	Qualquer cor	Qualquer cor	Qualquer cor
8	Tipo E	Não atende	Clara ou Média	Clara ou Média	Clara ou Média
8	Tipo F	Não atende	Clara	Clara ou Média	Clara ou Média

Fonte: DATec N° 009-A.

A condição padrão considerada nesta avaliação considera ambientes com ventilação por infiltração através de frestas em janelas e portas e taxa de renovação do volume de ar do ambiente por hora igual a um (1,0 Ren/h) e janelas sem sombreamento. A condição de sombreamento por sua vez considera a proteção solar externa ou interna que pode impedir a entrada de radiação solar direta ou a redução em 50% da incidência solar global no ambiente. A condição de ventilação considera o valor da taxa de renovação do volume de ar do ambiente por hora igual a cinco (5,0 Ren/h).

Como se pode observar, a condição “Qualquer cor” prevaleceu na avaliação do desempenho térmico para o sistema, porém o DATec N° 009-A recomenda que não sejam utilizadas cores excessivamente escuras.

4.2.4.4. Desempenho acústico

Ensaio em laboratório foram realizados para atestar que o índice de isolamento sonora dos painéis executados com o sistema CASA EXPRESS apresentam valores que atendem às exigências da Diretriz SINAT N° 002. A Tabela 6 a seguir apresenta os valores e mostra os valores do critério de desempenho inferior ao mínimo exigido para paredes entre unidades como também para paredes de fachada.

Tabela 6 - Valores de isolamento sonora para painéis do sistema CASA EXPRESS

Elemento	Critério de desempenho: valor mínimo (R_w em dB), Diretriz SINAT N° 002	Valor de R_w determinado em laboratório (dB)
Parede entre unidades	45	45
Fachadas	30	45

Fonte: DATec N° 009-A.

4.2.4.5. Durabilidade e manutenibilidade

A durabilidade dos painéis do sistema CASA EXPRESS foi avaliada através de aspectos principais do conjunto de fatores que determinam a durabilidade do sistema. O cobrimento das armaduras, um item primordial, foi avaliado e constatado que possui valor de 30 mm de espessura de uma camada de concreto enquanto que o valor exigido pela Diretriz SINAT 002 é de 25 mm, considerando-se Classe II para agressividade

ambiental, $f_{ck} \geq 25$ MPa, relação água/cimento $\leq 0,6$ e tolerância para a execução do cobrimento igual a 5 mm. O concreto empregado pela CASA EXPRESS apresenta por sua vez classe C25 para as classes I e II, consumo de cimento de 313 kg/m³, $f_{ck} \geq 25$ MPa e relação água/cimento $\leq 0,6$.

Para os painéis do sistema que são empregados em classe III de agressividade ambiental, o concreto empregado possui $f_{ck} \geq 30$ MPa, relação água/cimento $\leq 0,55$ e consumo de cimento igual a 320 kg/m³. Essas condições atendem as exigências da Diretriz SINAT N° 002 quanto à durabilidade das armaduras para sistemas empregados em classe III de agressividade ambiental.

O ensaio de choque térmico foi realizado nos painéis do sistema sob duas situações, sendo a primeira com um painel de 1,20 m de comprimento e sem restrição lateral da sua movimentação e a segunda um trecho de parede de 2,40 m de comprimento com restrição da movimentação lateral por meio de uma junta entre três painéis, sendo um painel com 1,20 m de comprimento e o terceiro painel 0,40 m de comprimento, e todos com altura igual a 2,70 m. Os resultados dos ensaios demonstraram que não houve falhas como fissuras, destacamentos, empolamentos, e nem deslocamentos horizontais instantâneos superiores a $h/300$. Desta maneira, os painéis do sistema CASA EXPRESS atendem aos critérios estabelecidos na Diretriz SINAT N° 002.

A manutenibilidade do sistema foi avaliada através do conteúdo do manual de uso e manutenção da edificação, segundo o DATec N° 009-A, e foi considerada satisfatória conforme critérios determinados na Diretriz SINAT N° 002.

4.2.4.6. *Segurança ao fogo*

Ensaio laboratorial de resistência ao fogo foi realizado nos painéis do sistema CASA EXPRESS e foi comprovado que o painel de parede com espessura de 11,5 cm, formado por materiais incombustíveis apresenta estanqueidade as chamas, isolamento térmico e estabilidade estrutural durante ação do fogo por período de 30 minutos. Para realização do ensaio foi aplicada uma carga de serviço de 17,5 kN/m especificada pela detentora da tecnologia do sistema.

4.2.4.7. Controle da qualidade do sistema

O controle de qualidade do sistema é avaliado em obra por meio de documentos técnicos que preveem o controle da qualidade dos projetos, do recebimento dos materiais, da produção, do recebimento dos painéis após a fabricação e da montagem dos painéis. Dentro de cada item desses de avaliação e controle da qualidade do sistema são verificados subitens em específicos garantindo o controle de boa parte de todos os processos. Para o recebimento dos materiais e componentes controlam-se: blocos cerâmicos, armaduras, argamassa, graute e concreto. Para as etapas de produção dos painéis controlam-se: preparo das formas, posicionamento e cobrimento das armaduras, posicionamento dos blocos cerâmicos, mistura, lançamento e adensamento do concreto, execução de revestimentos, cura, transporte e armazenamento dos painéis. Para o recebimento dos painéis após a desenforma controla-se: identificação, tolerâncias dimensionais, aparência, presença de falhas e outros itens. E para a sequência e a qualidade na montagem dos painéis são controlados itens tais como: ligação com a fundação, travamento, alinhamento e prumo, soldas, grauteamento, tratamento das juntas, acabamentos interfaces com esquadrias e outros aspectos.

4.3. Sistema Construtivo DHARMA

4.3.1. Introdução

O Sistema Construtivo DHARMA é constituído por painéis pré-moldados mistos de concreto armado e blocos cerâmicos para paredes. A empresa detentora do DATec e da tecnologia é a Construtora DHARMA Ltda., e foi emitido em dezembro de 2012, tendo validade até novembro de 2014. A avaliação técnica do DATec N° 013 referente a este sistema construtivo foi coordenada por uma Instituição Técnica Avaliadora, no caso o Instituto Falcão Bauer da Qualidade (IFBQ), e a concessão de uso do sistema foi autorizada por dois comitês, sendo: um Comitê Técnico reunido em 21 de novembro de 2012, e outro Comitê Nacional reunido em 11 de dezembro de 2012. As decisões dos comitês restringiram a utilização do sistema para a construção de edificações habitacionais térreas unifamiliares isoladas.

4.3.2. Descrição do sistema

O sistema construtivo DHARMA foi desenvolvido para a construção de casas térreas isoladas e o sistema é composto por painéis estruturais pré-moldados mistos com utilização de blocos cerâmicos de vedação e nervuras de concreto armado. Estes painéis são fabricados sobre uma base de concreto, sendo os mesmo produzidos no canteiro de obras. Para a moldagem dessas peças são utilizadas formas de madeira para delimitar o painel e as aberturas para as esquadrias. A fabricação é realizada na horizontal e são moldados sobrepostos formando uma pilha de até quatro painéis (Figura 84).

Os painéis são formados por blocos cerâmicos com oito furos quadrados distribuídos (Figura 85) justapostos e delimitados por nervuras de concreto ao longo do perímetro do painel e nervuras internas de concreto armado. A cobertura da unidade é constituída por telhado cerâmico apoiado em estrutura metálica. A unidade possui laje pré-fabricada apenas na região de circulação interna da edificação sendo os demais ambientes forrados por régua em PVC com altura de piso a teto igual a 2,60 m de comprimento.

O sistema construtivo em questão não possibilita a ampliação vertical da unidade por apresentar resistência à compressão excêntrica baixa em relação aos demais

sistemas citados anteriormente. As paredes do sistema não podem ser demolidas parcial ou totalmente e modificações em paredes e lajes devem ser executadas sob a supervisão da detentora da tecnologia. O sistema construtivo pode ser empregado apenas em zonas com classe I e II de agressividade ambiental e para atender o desempenho térmico devem possuir cores nas fachadas conforme especificações constantes no DATec N° 013 e elencadas adiante.

Figura 84 – Vista geral de pista de concreto para fabricação de painéis do sistema DHARMA



Fonte: DATec N° 013.

Figura 85 – Vista da moldagem dos painéis do sistema DHARMA



Fonte: DATec Nº 013.

4.3.3. Informações e dados técnicos do sistema

4.3.3.1. Especificações e detalhes construtivos

4.3.3.1.1. Formas

As formas dos painéis fabricados com o sistema construtivo DHARMA são compostas por uma pista de concreto como base e delimitados por perfis de madeira travados por perfis metálicos.

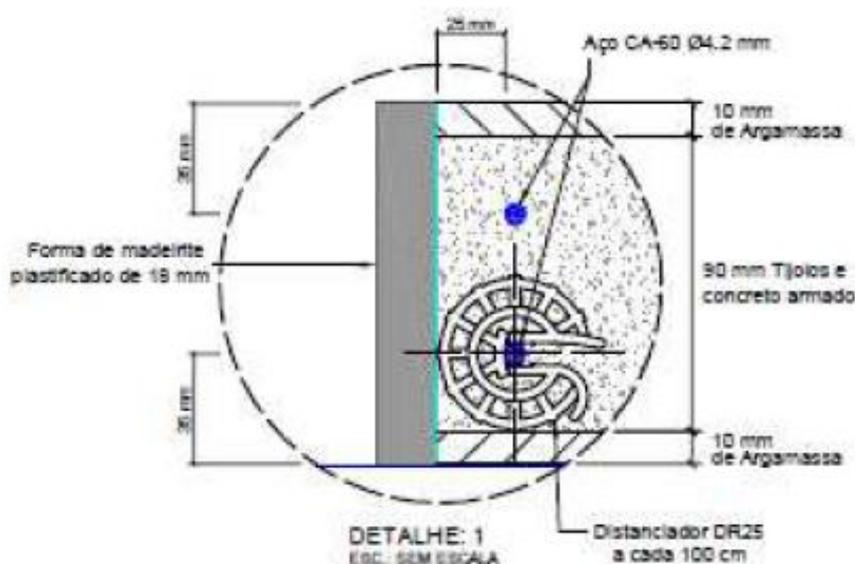
4.3.3.1.2. Pannel de parede

Os painéis do sistema possuem espessura total de 11 cm e são constituídos internamente por nervuras ao longo do perímetro formando um quadro externo e nervuras internas de concreto armado. O concreto empregado nesta fabricação possui classe C25 com massa específica de 2400 kg/m^3 , resistência característica a compressão de 25 MPa aos 28 dias e abatimento de $80 \pm 20 \text{ mm}$. Os blocos cerâmicos do pannel são umedecidos com água e justapostos sobre uma camada de argamassa com 1 cm de espessura conforme projeto específico elaborado pela detentora da tecnologia. A cura do pannel é realizada por meio de aspersão de água adicionada de uma solução com resina sintética e em seguida coberto com uma lona plástica.

Nas nervuras de concreto existem armaduras com fios de aço CA-60 de diâmetro de 4,2 mm ou 6,0 mm conforme projeto específico de ferragem elaborado pela Construtora DHARMA, sendo empregado para estas armaduras cobrimento de 25 mm (Figura 86). Nas nervuras centrais dos painéis que constituem os oitões e nas empenas de portas são empregadas treliças metálicas do tipo TR6644 (Figura 87).

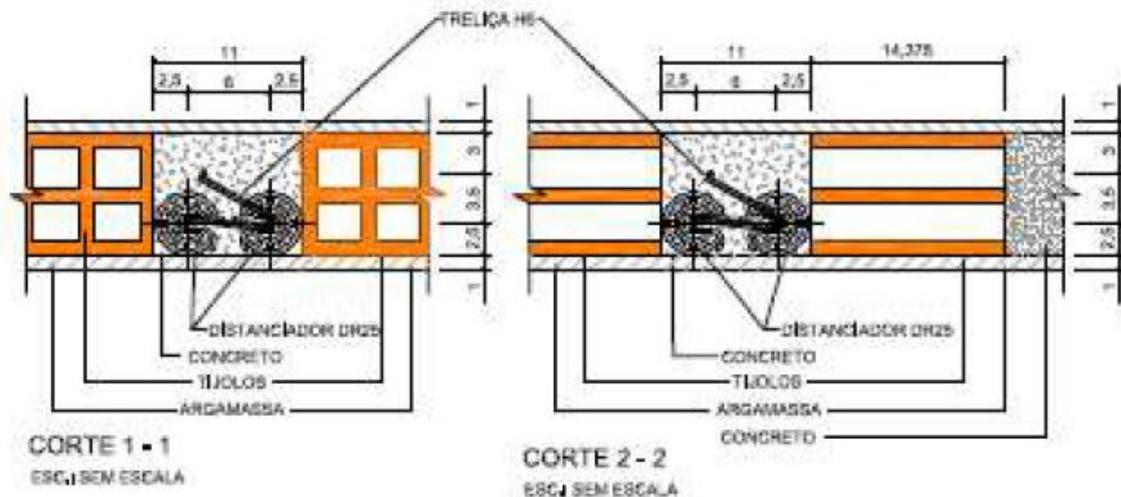
No topo dos painéis são empregados ganchos de içamento fabricados com aço CA-50 e diâmetro de 10 mm. Esses ganchos de içamento são utilizados para a movimentação do painel após 72 horas da sua moldagem, período necessário para a desenforma das peças. Durante a desenforma e içamento do painel o concreto deve apresentar resistência característica à compressão do concreto de 16 MPa.

Figura 86 – Detalhe do cobrimento das armaduras empregadas nos painéis do sistema DHARMA



Fonte: DATec Nº 013.

Figura 87 – Posicionamento das treliças nas nervuras de concreto dos painéis do sistema DHARMA



Fonte: DATec Nº 013.

4.3.3.1.3. Equipamentos

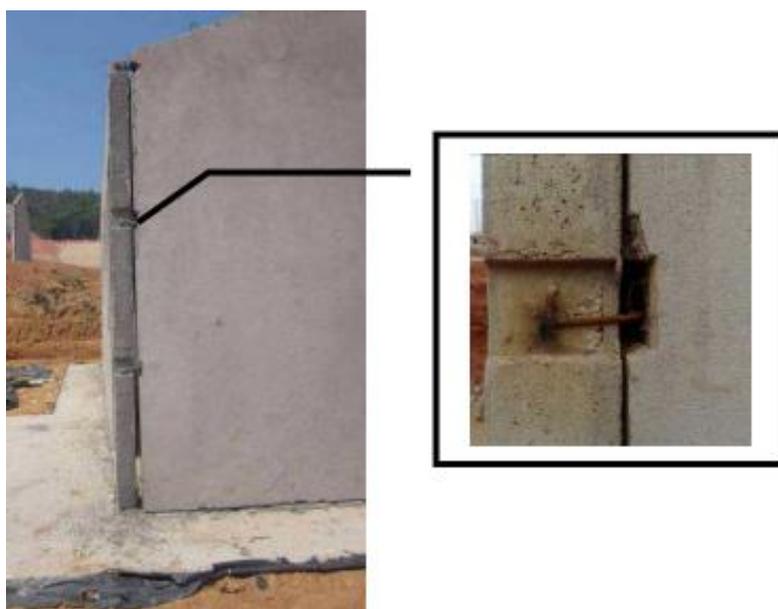
Os painéis depois de fabricados e liberados para a desenforma são movimentados, içados e transportados até o seu local definitivo por meio de caminhão trucado e guindaste. Para o transporte desses painéis sobre o caminhão são utilizados cavaletes metálicos.

O comprimento máximo dos painéis fabricados com a tecnologia do sistema construtivo DHARMA é de 6,10 m, conforme projeto específico elaborado pela detentora do sistema.

4.3.3.1.4. Ligações entre painéis de parede

As ligações entre painéis de parede são executadas através da soldagem de esperas laterais constituídas por barras de aço CA-25 distribuídas em três pontos ao longo da altura para painéis localizados nas regiões de oitão da unidade habitacional (Figura 88). Painéis internos a edificação recebem processo de soldagem apenas na região superior do mesmo. As regiões de solda e barras de esperas são protegidas com pinturas epóxi rica em zinco (Figura 89).

Figura 88 – Solda de barras de espera entre painéis do sistema DHARMA



Fonte: DATec N° 013.

Figura 89 – Detalhe de solda entre barras de esperas e proteção contra corrosão nas ligações entre painéis do sistema DHARMA



Fonte: DATec N° 013.

4.3.3.1.5. Ligações entre painéis e instalações

As tubulações hidráulicas neste sistema possuem diâmetro de 25 mm e são recobertas por uma tela de poliéster, o conjunto é posicionado sobre os blocos

cerâmicos e coberto por uma camada de argamassa com espessura de 40 mm. Os eletrodutos são embutidos pelos furos dos blocos cerâmicos e as caixas de luz durante a execução do painel. A Figura 90 a seguir mostra o detalhe de um painel com tubulações hidráulicas.

Figura 90 – Detalhe das tubulações hidráulicas no painel do sistema DHARMA



Fonte: DATec Nº 013.

4.3.3.1.6. Interface entre painéis e esquadrias

As aberturas para os vãos de janelas são delimitadas por formas de madeira durante a moldagem dos painéis. As portas por sua vez possuem os marcos montados durante a concretagem. A fixação das portas é realizada por meio de ancoragem dos chumbadores à nervura de concreto armado. Após a inserção da janela no vão aberto no painel preenche-se o vazio para a fixação com espuma de poliuretano e a interface entre a janela e o painel é impermeabilizada com a aplicação de silicone na face voltada para o interior da edificação e a face externa impermeabilizada com argamassa e pintura acrílica.

4.3.3.1.7. Revestimentos e acabamentos

Todos os painéis do sistema possuem revestimento de argamassa com espessura de 1 cm. As áreas molhadas recebem um revestimento cerâmico assentado com argamassa colante tipo AC II com altura de 1,50 m. Na região do tanque e pia da cozinha é aplicada uma fiada de revestimento cerâmico contribuindo para a

impermeabilização dos painéis. Outros revestimentos podem ser empregados no sistema de acordo com o projeto tais como, pedras, molduras, frisos, entre outros elementos. As faces externas das paredes recebem uma pintura acrílica, enquanto que as internas recebem uma pintura látex PVA nas áreas não molháveis.

4.3.3.2. Procedimento de execução

Os painéis do sistema construtivo DHARMA são produzidos e montados conforme detalhamento das atividades a seguir.

- a) Preparação das pistas de concreto liso e desempenado com posicionamento das formas de madeira travadas por perfis metálicos. Sobre a pista é posicionado também uma chapa metálica galvanizada e aplicado desmoldante para concreto sobre esta.
- b) Distribuição e adensamento de argamassa para a primeira camada do painel com espessura de 10 mm (Figura 91).

Figura 91 – Detalhe da aplicação da primeira camada de argamassa com espessura de 10 mm do painel do sistema DHARMA



Fonte: DATec N° 013.

- c) Distribuição dos blocos cerâmicos previamente umedecidos sobre a primeira camada de argamassa seguindo a paginação específica e elaborada pela detentora da tecnologia.

- d) Posicionamento das armaduras conforme projeto específico elaborado pela Construtora DHARMA (Figura 92).

Figura 92 – Posicionamento das armaduras e blocos cerâmicos no painel do sistema DHARMA



Fonte: DATec Nº 013.

- e) Aplicação de chapisco por meio de rolo manual composto por areia grossa e cimento com aditivo colante.
- f) Posicionamento das instalações elétricas (tubulações, quadro e caixas elétrica) na forma do painel conforme mostra a Figura 93 a seguir.

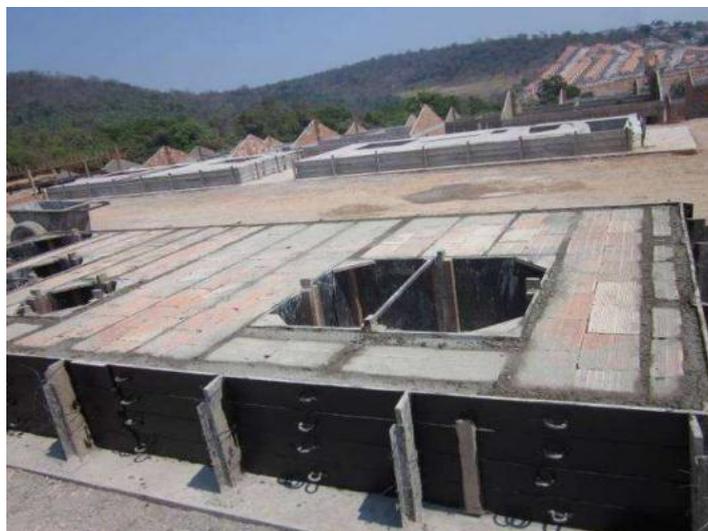
Figura 93 – Posicionamento das instalações elétricas na forma dos painéis do sistema DHARMA



Fonte: DATec Nº 013.

- g) Concretagem das nervuras com concreto com $f_{ck} = 25$ MPa conforme mostra a Figura 94 a seguir com as nervuras concretadas.

Figura 94 – Nervuras concretadas no painel do sistema DHARMA



Fonte: DATec N° 013.

- h) Aplicação da segunda camada de argamassa com espessura de 10 mm na face superior do painel e serviço de sarrafeamento e acabamento desta camada (Figura 95).

Figura 95 – Acabamento da camada superior do painel do sistema DHARMA



Fonte: DATec N° 013.

- i) Aspersão de água com resina acrílica para melhora das condições de cura do painel.
- j) Montagem da chapa metálica e sistema de forma de madeira sobre o primeiro painel moldado repedindo as etapas anteriores com empilhamento máximo de até quatro painéis.
- k) Desenforma dos painéis após 72 horas da finalização da moldagem dos painéis e verificação da resistência característica a compressão do concreto superior a 16 MPa.
- l) Aplicação de emulsão asfáltica sobre a base dos painéis após retirada das formas conforme mostra a Figura 96 a seguir.

Figura 96 – Base dos painéis do sistema DHARMA com emulsão asfáltica aplicada



Fonte: DATec Nº 013.

- m) Içamento, movimentação e transporte dos painéis com o auxílio de um guindaste e caminhão truncado com estrutura metálica de transporte sobre a sua carroceria para o apoio dos painéis até o local definitivo de montagem (Figura 97).

Figura 97 – Carregamento e transporte dos painéis do sistema DHARMA



Fonte: DATec N° 013.

- n) Demarcação do posicionamento final das paredes sobre a fundação com o auxílio de gabarito metálico (Figura 98).

Figura 98 – Gabarito metálico para a demarcação do posicionamento das paredes do sistema DHARMA sobre a fundação



Fonte: DATec N° 013.

- o) Fixação das escoras para apoio e prumo dos painéis durante o processo de montagem dos mesmos (Figura 99).

Figura 99 – Fixação das escoras metálicas para apoio dos painéis do sistema DHARMA



Fonte: DATec N° 013.

- p) Posicionamento de espaçadores plásticos para apoio e nivelamento do painel (Figura 100).

Figura 100 – Posicionamento de espaçadores plásticos para apoio do painel do sistema DHARMA durante a montagem



Fonte: DATec N° 013.

- q) Descarregamento e posicionamento do primeiro painel indicado no projeto de montagem elaborado pela detentora da tecnologia (Figura 101). Em seguida, descarrega-se o painel seguinte indicado no projeto e

executa-se o processo de soldagem das esperas laterais conforme apresentado anteriormente na Figura 88 e Figura 89.

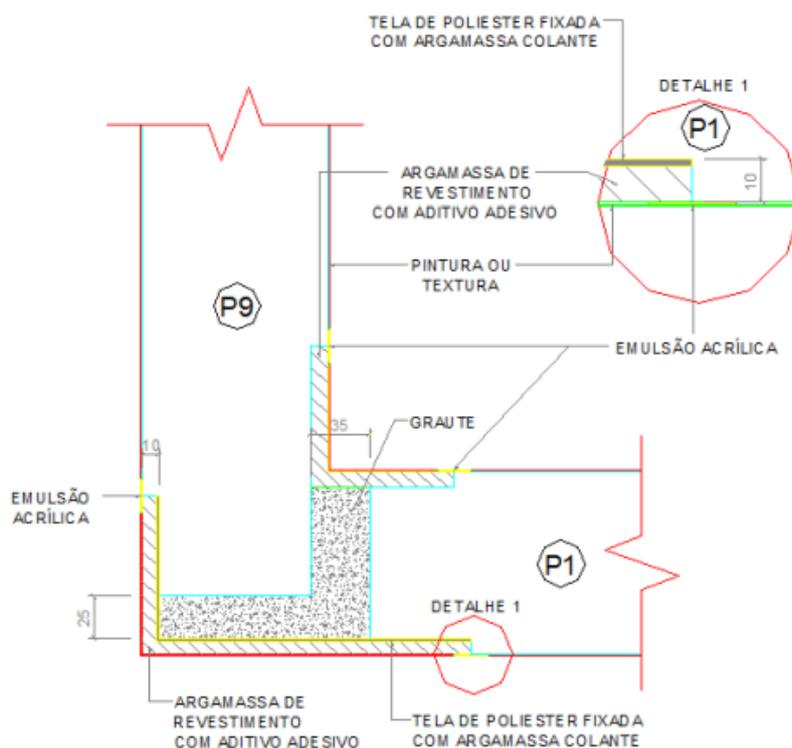
Figura 101 – Descarregamento e posicionamento do painel do sistema DHARMA durante a montagem



Fonte: DATec N° 013.

- r) Proteção dos pontos de solda com pintura rica em zinco e preenchimento dos vãos existente nas ligações entre painéis com graute com $f_{ck} = 25$ MPa e auxílio de formas metálicas específicas.
- s) Acabamento da região de ligação entre painéis com argamassa de revestimento com aditivo adesivo e espessura de 10 mm, tela de poliéster fixada com argamassa colante e aplicação de emulsão acrílica. A Figura 102 a seguir detalha o acabamento da ligação entre painéis do sistema construtivo.

Figura 102 – Detalhe da ligação entre painéis do sistema DHARMA



Fonte: DATec N° 013.

- t) Fixação da estrutura metálica da cobertura na parte superior dos painéis executados com o sistema construtivo DHARMA.

4.3.4. Avaliação técnica sobre o sistema

A avaliação técnica do sistema construtivo DHARMA foi realizada pela Instituição Técnica Avaliadora, neste caso o Instituto Falcão Bauer da Qualidade (IFBQ), baseada nas instruções da Diretriz N° 002 do Sistema Nacional de Avaliações Técnicas (SINAT) e tendo como referência os projetos, ensaios de laboratório, verificações analíticas de comportamento estrutural, visitas aos canteiros de obras e outras avaliações conforme aponta o DATec N° 013.

4.3.4.1. Desempenho estrutural

O desempenho estrutural para este sistema foi avaliado quanto aos principais aspectos exigidos pela Diretriz SINAT N° 002, sendo avaliado inicialmente o concreto empregado nas nervuras dos painéis. Constatou-se que o concreto empregado

enquadra-se na classe C25 ($f_{ck} = 25\text{MPa}$), classe II de agressividade ambiental, relação água/cimento inferior a 0,6 e resistência característica a compressão no ato da desforma igual a 16 MPa. O cobrimento das armaduras também atende as exigência é igual a 25 mm.

Ensaio laboratoriais comprovaram a resistência às cargas verticais dos painéis do sistema sendo obtido para o estado limite último 137,38 kN/m para cargas aplicadas axialmente e 43,52 kN/m para cargas excêntricas. O esforço máximo atuante obtido por meio de cálculo estrutural para a unidade térrea de 20,99 kN/m, permite concluir que pode ser empregado um coeficiente de segurança maior que 2 para o estado limite último.

O impacto de corpo mole foi avaliado nos painéis do sistema construtivo DHARMA e foram obtidos resultados, segundo o DATec N° 013, satisfatórios e que atendem aos critérios normativos para as energias de impacto de 60 J, 120 J, 180 J, 240 J, 360 J, 480 J e 720 J. Os deslocamentos horizontais também atenderam aos limites de norma e atenderam aos critérios mínimos exigidos.

O impacto de corpo duro foi avaliado para as energias de 3,75 J e 20 J nas paredes externas e resultados que atenderam aos critérios estabelecidos pela Diretriz SINAT N° 002 foram obtidos.

A resistência a capacidade de suporte por meio de peças suspensas foi avaliada e foram utilizados parafusos sextavados (6,3 x 60)mm para a fixação das mãos francesas padronizadas conforme norma. Os resultados obtidos demonstraram atendimento aos critérios mínimos exigidos pela Diretriz SINAT N° 002.

Foram avaliadas também as solicitações transmitidas por impacto de porta por meio do fechamento brusco da folha de porta e impacto de corpo mole na folha de porta. Os resultados para esta avaliação também foram satisfatórios e atenderam aos critérios exigidos pela Diretriz SINAT N° 002.

4.3.4.2. Estanqueidade à água

A estanqueidade à água do sistema foi avaliada através de ensaios laboratoriais e avaliação de projeto. Os ensaios laboratoriais foram realizados considerando-se a aplicação de uma pressão estática de 50 Pa nos painéis do sistema

sem pintura. A avaliação da estanqueidade na interface entre painéis e entre painéis e fundação foi efetuada por meio de estudos sobre os projetos das edificações. A interface entre o painel e a esquadria de alumínio foi testada por meio de ensaio de laboratório reproduzindo o sistema de vedação definido pelo sistema como descrito anteriormente e obtiveram-se resultados que atenderam aos critérios de estanqueidade estabelecidos.

A estanqueidade dos pisos das áreas molháveis foi avaliada e aprovada devido a utilização de revestimento com placas cerâmicas, caimentos existentes e diferença de cota de 2 cm entre o piso interno e externo e 2 cm entre o piso do banheiro e área de banho (box).

A calçada no perímetro da edificação possui caimento de 2%, desnível de 2 cm abaixo da cota do contrapiso interno e 5 cm acima do nível do terreno contribuindo para a estanqueidade à água nas interfaces entre painel e fundação. Para contribuição da estanqueidade dessa interface utiliza-se a aplicação de uma pintura impermeável de base acrílica com faixa de aplicação de 15 cm sobre a calçada e 30 cm sobre o rodapé do painel em todo o perímetro externo da edificação.

A utilização de placas cerâmicas na área de banho com altura de até 1,50 m, aplicação de uma fiada de placas cerâmicas como revestimento sobre a parede da pia da cozinha e tanque e pintura acrílica em áreas sujeitas à exposição de água foram consideradas suficientes para atender aos critérios relativos à estanqueidade conforme mostra o DATec N° 013.

4.3.4.3. Desempenho térmico

O desempenho térmico do sistema construtivo DHARMA foi avaliado por meio de simulações computacionais rodadas no programa computacional EnergyPlus e foram consideradas nessa avaliação sete zona bioclimáticas constantes na NBR 15.220-3:2005. A cobertura empregada na avaliação do desempenho térmico foi a de telha cerâmica com régua de PVC com 8 mm de espessura. O Quadro 7 a seguir resume as condições necessárias para a pintura dos painéis conforme as condições consideradas.

Quadro 7 – Condições necessárias para nível de desempenho térmico mínimo dos painéis do sistema DHARMA

Zonas Bioclimáticas	Cor do acabamento externo das paredes de fachada			
	Condição padrão	Com sombreamento	Com ventilação	Com sombreamento e ventilação
1	Qualquer cor	Qualquer cor	Qualquer cor	Qualquer cor
2	Qualquer cor	Qualquer cor	Qualquer cor	Qualquer cor
3	Qualquer cor	Qualquer cor	Qualquer cor	Qualquer cor
4	Clara	Clara	Clara	Clara
5	Qualquer cor	Qualquer cor	Qualquer cor	Qualquer cor
6	Qualquer cor	Qualquer cor	Qualquer cor	Qualquer cor
7	Qualquer cor	Qualquer cor	Qualquer cor	Qualquer cor

Fonte: DATec N° 013.

A condição padrão considerada nesta avaliação considera ambientes com ventilação por infiltração através de frestas em janelas e portas e taxa de renovação do volume de ar do ambiente por hora igual a um (1,0 Ren/h) e janelas sem sombreamento. A condição de sombreamento por sua vez considera a proteção solar externa ou interna que pode impedir a entrada de radiação solar direta ou a redução em 50% da incidência solar global no ambiente. A condição de ventilação considera o valor da taxa de renovação do volume de ar do ambiente por hora igual a cinco (5,0 Ren/h).

Como se pode observar, a condição “Qualquer cor” prevaleceu na avaliação do desempenho térmico para o sistema, conforme o DATec N° 013, não havendo restrição para cores excessivamente escuras neste caso.

4.3.4.4. Desempenho acústico

O desempenho acústico foi avaliado por meio de ensaios de laboratório em painéis de parede e foi obtido um índice de redução sonora ponderado (R_w) igual a 41 dB. Este valor atende aos critérios normativos relativos ao desempenho acústico. O DATec N° 013 reforça a importância de o isolamento acústico da cobertura ser compatível com o isolamento obtido para a fachada.

4.3.4.5. Durabilidade e manutenibilidade

Durabilidade do sistema construtivo em questão foi avaliada pelas características do concreto do sistema possuindo consumo mínimo de cimento de 345 kg/m³ de concreto, relação água/cimento inferior a 0,6 e resistência característica a compressão de 25 MPa aos 28 dias, sendo essas condições mínimas de exigência normativa. O cobrimento de 25 mm das armaduras também atende aos critérios normativos.

Ensaio de choque térmico e resistência a aderência dos revestimentos foram realizados e os resultados obtidos atenderam aos critérios exigidos pela Diretriz SINAT N° 002.

A manutenibilidade do sistema foi avaliada e considerada satisfatória através da análise do Manual de Operação, Uso e Manutenção do Usuário elaborado pela empresa detentora da tecnologia. O manual atendeu as especificações de indicação dos cuidados que o usuário deve ter com a unidade habitacional, bem como informação da vida útil de projeto, periodicidade da renovação das pinturas sobre as paredes, dentre outros itens.

4.3.4.6. Segurança ao fogo

Os painéis do sistema DHARMA foram considerados por meio de ensaios de laboratório incombustíveis e não agravantes em termos de desenvolvimento de fumaça, ou seja, não agravam o risco de inerente do sistema construtivo quando submetidos à ação do fogo. Os requisitos de propagação superficial de chamas foram atendidos para a avaliação dos painéis do sistema e comprovaram a aprovação do sistema quanto as exigências de segurança ao fogo da Diretriz SINAT N° 002.

4.3.4.7. Controle da qualidade do sistema

O controle de qualidade do sistema é avaliado por meio de documentos técnicos que preveem o controle da qualidade dos projetos, do recebimento dos materiais, da produção, do recebimento dos painéis após a fabricação e da montagem dos painéis. Estes itens de avaliação e controle da qualidade do sistema possuem subitens específicos que garantem o controle de boa parte de todos os processos. Para o

recebimento dos materiais e componentes controla-se principalmente o concreto por meio de ensaios de consistência e resistência à compressão na idade da desenforma e aos 28 dias. Para as etapas de produção dos painéis controlam-se: a limpeza e o controle geométrico das formas, posicionamento e cobrimento das armaduras, lançamento do concreto, desenforma, cura, transporte e armazenamento. Para o recebimento dos painéis após a desenforma controla-se: identificação, tolerâncias dimensionais, aparência e presença de falhas. E para a sequência e qualidade na montagem dos painéis são controlados itens tais como: ligação com a fundação, travamento e alinhamento dos painéis, soldas, tratamento das juntas, acabamentos e interfaces com esquadrias, dentre outros componentes.

O controle tecnológico do concreto empregado no sistema permite a rastreabilidade do mesmo sendo possível identificar o posicionamento dos painéis fabricados com determinado traço fabricado na central de produção.

4.4. Sistema Construtivo PRECON

4.4.1. Introdução

O Sistema Construtivo PRECON é constituído por painéis de vedação pré-fabricados mistos. A empresa detentora do DATec e da tecnologia é a PRECON Engenharia S.A., e foi emitido em julho de 2012, tendo validade até junho de 2014. A avaliação técnica do DATec N° 012 referente a este sistema construtivo foi coordenada por uma Instituição Técnica Avaliadora, no caso o Instituto Falcão Bauer da Qualidade (IFBQ), e a concessão de uso do sistema foi autorizada por dois comitês, sendo: um Comitê Técnico reunido em 29 de junho de 2012, e outro Comitê Nacional reunido em 17 de julho de 2012. As decisões dos comitês restringiram a utilização do sistema para a construção de edificações habitacionais multifamiliares de até oito pavimentos e com uso exclusivo de vedação.

4.4.2. Descrição do sistema

O sistema construtivo PRECON foi desenvolvido para a fabricação de painéis que funcionem como vedação em edifícios de multipavimentos, esses painéis são pré-fabricados e mistos sem função estrutural, sendo permitido o uso deles em edifícios de até oito pavimentos.

Os painéis são produzidos em pátio com características fabris da própria empresa e são moldados na horizontal por meio do uso de formas metálicas. Os painéis dentro da indústria do sistema são movimentados por meio de pórtico rolante, ponte rolante e guindaste tipo grua. O transporte é realizado por meio de carretas e montado no seu local definitivo através de guindastes. A estrutura da edificação empregada nesse sistema é a convencional do tipo pré-fabricado em concreto armado protendido com ligações entre vigas, pilares e lajes que permitem uma estrutural resultante monolítica.

As instalações hidrossanitárias são inseridas externamente ao painel, sendo as colunas de descidas do sistema hidrossanitário e elétrico posicionadas em shafts que recebem fechamentos de acabamento com placas. A cobertura da edificação é do tipo convencional com estrutura de madeira, metálica ou em concreto armado e telhas de fibrocimento onduladas. A fundação do sistema é convencional e deve ser dimensionada conforme projeto específico da edificação.

Os painéis por não possuir função estrutural podem ser demolidos total ou parcialmente pelo usuário, porém faz-se necessária a utilização das recomendações e orientações dadas pela detentora da tecnologia no seu manual de operações, uso e manutenção.

O sistema emprega para os pilares concreto com classe C45, para as vigas concreto com classe C35, para as lajes concreto com classe C25 e para as nervuras de concreto nos painéis pré-fabricados o concreto com classe C40, atendendo desta maneira as classe I e II de agressividade ambiental para o sistema construtivo.

A seguir uma figura ilustrativa do pátio fabril do sistema construtivo.

Figura 103 – Fábrica de produção do sistema construtivo PRECON



Fonte: DATec Nº 012.

4.4.3. Informações e dados técnicos do sistema

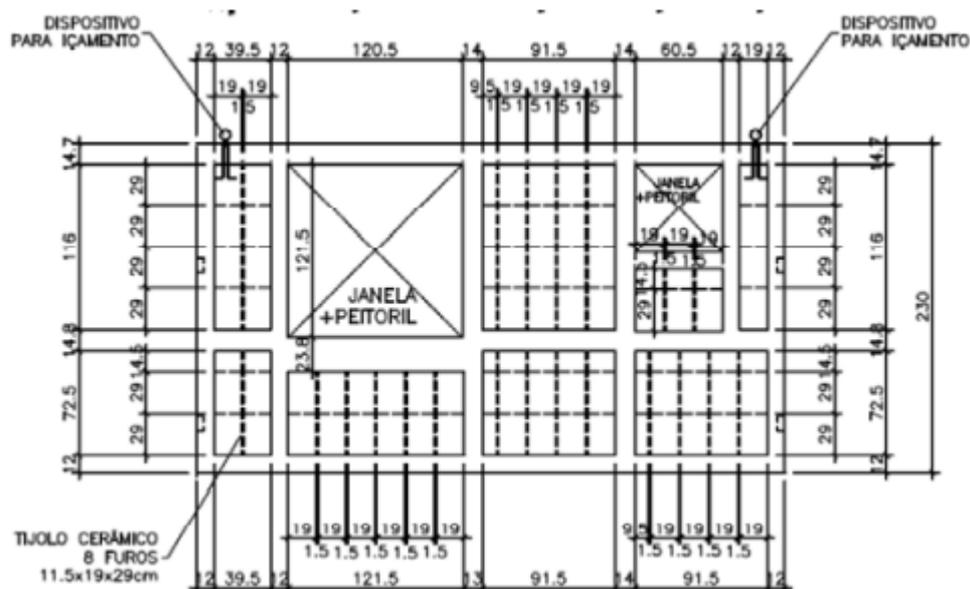
4.4.3.1. Especificações e detalhes construtivos

Como dito anteriormente, o sistema construtivo possui estrutura do tipo convencional com componentes estruturais dimensionados de acordo com as normas ABNT NBR 9062:2006, ABNT NBR 6118:2007, ABNT NBR 14860:2002 e ABNT

NBR 12655:2006. Os pilares são pré-fabricados em concreto armado com resistência característica do concreto de projeto, f_{ck} , igual a 45 MPa. As vigas são pré-fabricadas protendidas e com resistências característica do concreto de projeto, f_{ck} , igual a 35 MPa. As lajes são do tipo pré-lajes maciças em concreto armado com resistência característica, f_{ck} , igual a 25 MPa. Estas lajes possuem espessura mínima de 4 cm e após posicionamento em local final recebem as armaduras negativas e a camada complementar de concreto. As armaduras utilizadas nesses componentes estruturais possuem aço CA-50 e aço CA-60, conforme especificações de projeto.

Os painéis desenvolvidos pela detentora da tecnologia são constituídos por blocos cerâmicos com dimensões de (11,5 x 19,0 x 29,0)cm e nervuras de concreto armado com aço CA-50 ou CA-60 conforme projeto específico elaborado pela detentora da tecnologia. Conforme mostra a figura a seguir, o painel possui nervuras horizontais e verticais e uma contornando o perímetro, tendo todas essas função de estruturar o painel e garantir resistência estrutural durante a desenforma, manuseio, transporte e montagem no local definitivo.

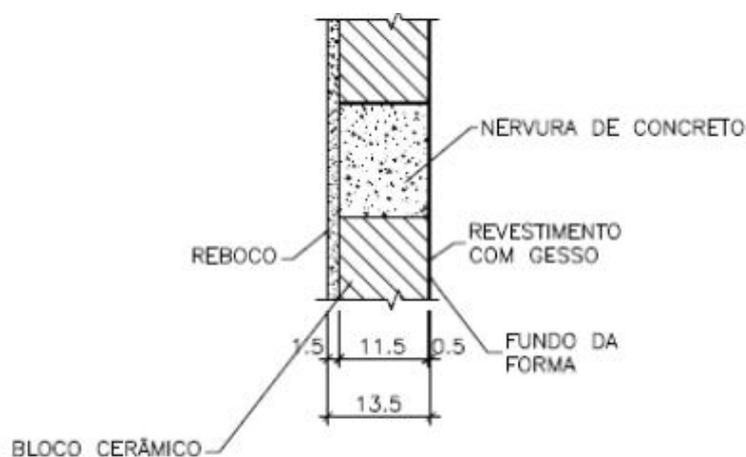
Figura 104 – Detalhe do painel do sistema construtivo PRECON



Fonte: DATec Nº 012.

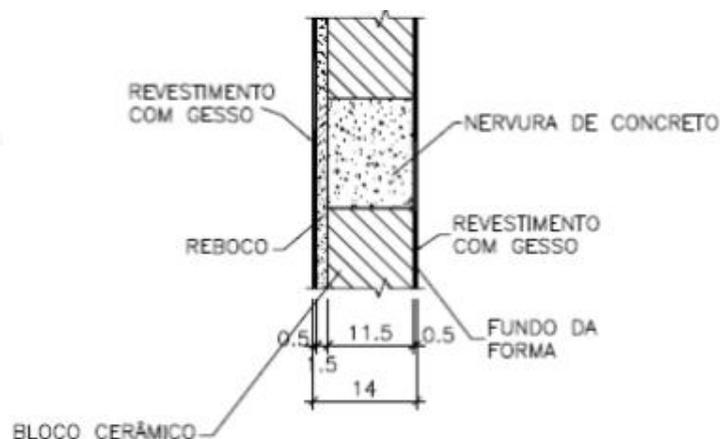
Os painéis fabricados pelo sistema construtivo PRECON possuem duas espessuras. O painel com 13,5 cm de espessura são destinados a vedação de fachada e recebem em uma face um revestimento com argamassa com espessura de 1,5 cm e na outra face um revestimento com gesso com espessura de 0,5 cm, sendo esta camada de gesso aplicada após a instalação do painel no seu local definitivo. O painel com 14 cm de espessura, por sua vez, é utilizado como divisória interna e possui revestimento de gesso com espessura de 0,5 cm nas duas faces. As imagens a seguir ilustram as seções dos dois tipos de painéis produzidos pelo sistema construtivo PRECON.

Figura 105 – Seção do painel, com 13,5 cm de espessura, destinado a vedação externa no sistema construtivo PRECON



Fonte: DATec N° 012.

Figura 106 - Seção do painel, com 14,0 cm de espessura, destinado a divisórias internas no sistema construtivo PRECON



Fonte: DATec N° 012.

O processo de fabricação desses painéis é realizado por meio de ciclos diários e sob rigoroso controle de qualidade, sendo após aprovação desse controle, transportados para as obras onde a montagem é realizada com o uso de equipamentos de içamento.

Empregam-se nesse sistema construtivo materiais convencionais, tais como concreto, blocos cerâmicos, aço, argamassa e gesso como se pode observar até o momento. As formas metálicas utilizadas são elevadas em uma altura de 1,00 m sobre o nível do piso apresentando tamanhos conforme o projeto de arquitetura do empreendimento. As formas possuem guias que auxiliam a distribuição dos blocos cerâmicos e o correto posicionamento das esquadrias. O concreto empregado nas nervuras possui resistência característica, f_{ck} , igual a 40 MPa aos 28 dias, com índice de consistência igual a 100 ± 20 mm e resistência característica mínima durante a desenforma, após 16 horas da concretagem, de 15 MPa. O módulo de elasticidade desse concreto é de 38 GPa e a massa específica 2400 kg/m^3 .

As esquadrias são ancoradas no painel por meio de dispositivos de ancoragem que são recobertos pelo concreto durante a moldagem do painel. As armaduras das nervuras são constituídas por treliças de aço CA-60 tipo TR7644 e barras de aço CA-50 conforme especificado no projeto de ferragem elaborado pela detentora da tecnologia.

A argamassa de revestimento do painel é composta por areia, cimento, cal hidratada CH1 e água, apresentando massa específica no estado fresco igual a 2000 kg/m^3 e resistência característica a compressão de 4,0 MPa.

Os painéis fabricados pela PRECON possuem largura máxima de 4,00 m e altura de 2,30 m ou 2,59 m conforme especificações de projeto. Esses painéis são produzidos nas fábricas as quais possuem instruções de trabalho e procedimentos bem definidos caracterizando-a como uma unidade fabril. Os painéis são movimentados por meio da utilização de cabos de aço introduzido em um conduíte flexível posicionado antes da concretagem do painel.

Figura 107 – Vista de uma unidade de fabricação dos painéis do sistema PRECON



Fonte: DATec Nº 012.

4.4.3.2. Procedimentos de execução dos painéis

Os painéis do sistema construtivo PRECON são produzidos conforme a sequência de atividades que será apresentada a seguir. A unidade fabril da empresa está localizada na cidade de Pedro Leopoldo em Minas Gerais.

- a) Preparação das formas metálicas: esta etapa consiste em realizar limpeza e aplicar desmoldante nas formas metálicas para moldagem dos painéis na posição horizontal.

Figura 108 – Aplicação de desmoldante em forma metálica do sistema PRECON



Fonte: DATec Nº 012.

- b) Posicionamento das armaduras: inclusão das armaduras que foram previamente preparadas em uma central específica de armação com adição dos espaçadores para garantir posicionamento de projeto às armaduras.

Figura 109 – Posicionamento das armaduras nas nervuras de concreto na forma do painel do sistema PRECON



Fonte: DATec Nº 012.

- c) Posicionamento dos blocos cerâmicos: distribuição dos blocos cerâmicos entre as guias metálicas existente na forma. Blocos cerâmicos na região das nervuras de concreto possuem os seus furos tapados por uma capa plástica para evitar infiltração do concreto.

Figura 110 – Distribuição de blocos cerâmicos na forma do sistema PRECON



Fonte: DATec Nº 012.

- d) Instalação elétrica: inseridos os eletrodutos dentro dos furos dos blocos cerâmicos e instaladas as caixas elétricas conforme posicionamento de projeto específico de instalações.

Figura 111 – Instalação de eletrodutos nos furos dos blocos cerâmicos na forma dos painéis do sistema PRECON



Fonte: DATec N° 012.

- e) Aplicação de argamassa entre blocos: aspersão de água para umedecer os blocos e em seguida aplicação da argamassa entre as juntas dos blocos com espaçamento de 15 mm delimitado pelas guias metálicas presente na forma do sistema.

Figura 112 – Aplicação de argamassa na junta entre os blocos do painel do sistema PRECON



Fonte: DATec N° 012.

- f) Concretagem das nervuras dos painéis: após a realização das etapas anteriores, executa-se o lançamento do concreto nas nervuras dos painéis conforme projeto específico elaborado pela PRECON, sendo utilizado ainda um vibrador de imersão para proporcionar melhor adensamento do concreto. Após o lançamento e o adensamento realiza-se uma retirada dos excessos de resíduos de concretagem sobre os blocos cerâmicos.

Figura 113 – Concretagem das nervuras dos painéis do sistema PRECON



Fonte: DATec Nº 012.

- g) Chapisco: aplica-se através de um rolo manual o chapisco sobre os blocos cerâmicos para possibilitar melhor aderência do revestimento a ser aplicado.
- h) Aplicação de argamassa de revestimento do painel: executa-se uma camada de argamassa com 1,5 cm de espessura acabada e desempenada com o auxílio de uma régua metálica tradicional.

Figura 114 – Aplicação de argamassa e acabamento na face superior do painel do sistema PRECON



Fonte: DATec Nº 012.

- i) Desenforma e manuseio: após 16 horas da moldagem e resistência característica igual ou superior a 15 MPa executa-se a desenforma e a movimentação do painel através de um pórtico rolante. Os painéis são transportados para uma área de inspeção onde são avaliados e identificados conforme procedimentos da empresa. Após liberação, o painel é transportado para a área de estocagem.

Figura 115 – Desenforma e transporte do painel do sistema construtivo PRECON



Fonte: DATec Nº 012.

- j) Carregamento e transporte: após a estocagem dos painéis, estes são manuseados para uma carreta por meio de guas e apoiados sobre a carroceria equipadas com cavaletes metálicos que dão suporte aos painéis durante o deslocamento de transporte.

Figura 116 – Transporte dos painéis do sistema PRECON



Fonte: DATec Nº 012.

4.4.3.3. Procedimentos de montagem do sistema

O processo de montagem do sistema é constituído pelas etapas que serão descritas a seguir.

- a) Montagem dos pilares da estrutura: os pilares pré-fabricados são montados por meio de grua sobre os blocos de fundação posicionando-os corretamente quanto ao alinhamento, prumo e fixação com o bloco de fundação.

Figura 117 – Montagem dos pilares do sistema PRECON



Fonte: DATec Nº 012.

- b) Montagem dos painéis pré-fabricados mistos: após o posicionamento dos pilares realiza-se a montagem dos painéis pré-fabricados. Os painéis são movimentados para o seu local definitivo por meio de grua e posicionados sobre uma argamassa industrializada com espessura de 10 mm. A interface entre pilar e painel é constituída por um chapisco colante industrializado e soldas de inserts metálicos pré-existentes nas estruturas.

Figura 118 – Montagem dos painéis do sistema PRECON



Fonte: DATec Nº 012.

- c) Montagem das vigas das estruturas: as vigas pré-fabricadas da estrutura são apoiadas sobre placas de poliestireno (EPS) posicionadas na extremidade superior dos painéis. Após o posicionamento das vigas, complementa-se com a adição de armaduras complementares e executa-se a concretagem dessas ligações conectando os pilares e vigas. O EPS utilizado nesta montagem é reaproveitada a cada dois pavimentos imediatamente superiores e o espaço deixado pelo EPS é preenchido com argamassa industrializada com aditivo expensor.
- d) Montagem das escadas: as escadas são também pré-fabricadas e são montadas após 24 horas da instalação das vigas.
- e) Montagem das pré-lajes de concreto: as pré-lajes são montadas sobre os vigamentos e escoras metálicas e em seguida são distribuídas as armaduras negativas e complementares das lajes bem como a colocação de eletrodutos da instalação elétrica. Após essa preparação a laje é concretada recebendo a camada complementar de concreto conformando a seção maciça da laje. A preparação desta pré-laje foi ilustrada no Capítulo 3 deste trabalho.
- f) Tratamento das juntas de fachada: as juntas entre os componentes estruturais da estrutura são tratadas por meio de aplicação de tela de poliéster e impermeabilizante flexível a base de polímeros acrílicos, conformando uma membrana acrílica monocomponente em dispersão aquosa como estabelece a ABNT NBR 13321:2008 (Membrana acrílica para impermeabilização).

Figura 119 – Tratamento das juntas no sistema PRECON



Fonte: DATec Nº 012.

- g) Acabamento e finalização do sistema: após as etapas anteriores de montagem, a edificação recebe acabamentos internos com gesso e pintura PVA ou acrílica e acabamentos externos com pintura acrílica texturizada. Revestimentos cerâmicos também são utilizados conforme especificações de projeto.

Figura 120 – Edifício habitacional finalizado com o uso do sistema construtivo PRECON

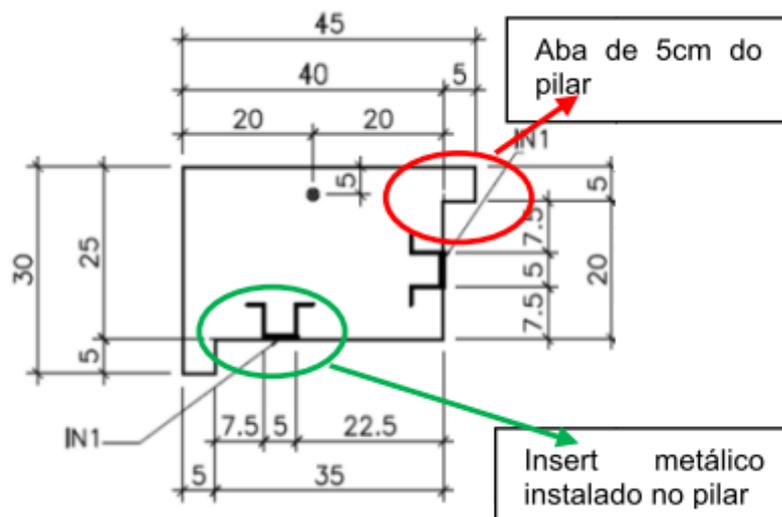


Fonte: DATec Nº 012.

4.4.3.4. Interfaces dos painéis com a estrutura

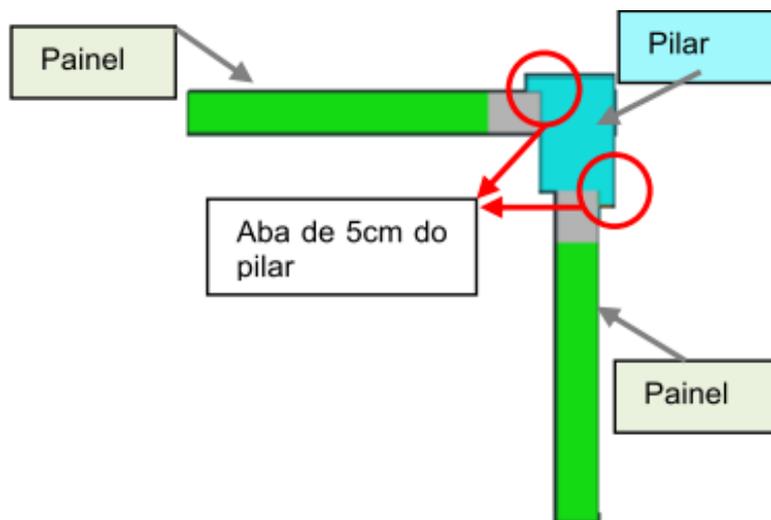
As interfaces do painel com os demais elementos estruturais do sistema foram estudadas e desenvolvidas pela detentora da tecnologia para possibilitar ligações estáveis e seguras. A primeira interface a ser abordada é a existente entre o pilar e os painéis pré-fabricados. Os pilares possuem abas nas suas laterais que garantem o correto posicionamento dos painéis, existindo também inserts metálicos na sua estrutura que garantem a ligação por solda com os painéis. Os painéis por sua vez possuem rebaixos nas suas extremidades com inserts metálicos possibilitando acesso a operação de soldagem, sendo dois nichos para soldagem em cada extremidade do painel, totalizando quatro por peça. As figuras a seguir ilustram as regiões de solda entre o pilar e os painéis.

Figura 121 – Seção do pilar do sistema construtivo PRECON detalhando os dispositivos de ligação entre pilar e painel



Fonte: DATec Nº 012.

Figura 122 – Detalhe em planta das abas dos pilares para encaixe dos painéis do sistema PRECON



Fonte: DATec Nº 012.

Figura 123 – Nichos dos painéis para ligação do painel com o pilar por meio de solda elétrica no sistema construtivo PRECON



Fonte: DATec N° 012.

A segunda interface existente é entre a borda superior do painel pré-fabricado e a face inferior da viga pré-fabricada. Esta interface é constituída pela presença de uma placa de EPS com dimensão de (38 x 14 x 2) cm e densidade de 13 kg/m³. Esta placa de EPS com o peso da viga (inferior a 500 kg) possibilita uma deformação de 10 mm resultando em um vão entre a viga e o painel com igual espessura. Esta situação permite que a flecha da viga durante o carregamento seja igual a zero. Após a montagem de dois pavimentos superiores as placas de EPS são removidas na sequência e aproveitada nos andares superiores. Esta junta recebe então um preenchimento com argamassa expansiva industrializada. As imagens a seguir ilustram essa interface aqui apresentada.

Após o posicionamento das vigas, estas são vinculadas aos pilares por meio de concretagem no local com concreto de resistência à compressão, f_{ck} , igual a 35 MPa. Utiliza-se nessa região uma armadura complementar inserida em nichos existentes no pilar garantindo após a concretagem uma estrutura hiperestática. Imagem a seguir ilustra a montagem dessas armaduras complementares antes da etapa de concretagem.

Figura 124 – Posicionamento da viga sobre o painel pré-fabricado do sistema PRECON



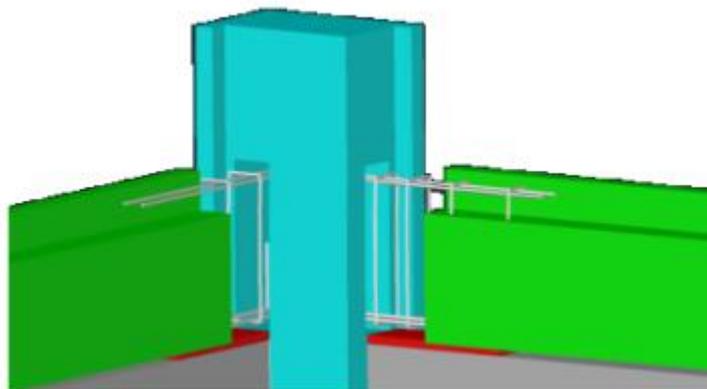
Fonte: DATec Nº 012.

Figura 125 – Vão existente entre o painel e a viga no sistema PRECON



Fonte: DATec Nº 012.

Figura 126 – Detalhe da montagem da viga, placas em EPS e armadura complementar de ligação entre pilar e vigas no sistema construtivo PRECON



Fonte: DATec Nº 012.

Outra interface existente no sistema é a da borda inferior do painel com a laje concretada, recebendo esta camada a aplicação de uma argamassa industrializada com espessura de 10 mm. Esta região recebe também após a montagem, na face externa, a aplicação de tela de poliéster e emulsão acrílica.

A interface entre painéis e esquadrias é tratada com a aplicação de uma espuma expansiva para a fixação dos marcos no caso das portas e no caso das janelas os dispositivos de ancoragem são concretados ainda durante a moldagem do painel.

4.4.4. Avaliação técnica sobre o sistema

A avaliação técnica do sistema construtivo PRECON foi realizada pela Instituição Técnica Avaliadora, neste caso o Instituto Falcão Bauer da Qualidade (IFBQ), baseada nas instruções da Diretriz Nº 002 do Sistema Nacional de Avaliações Técnicas (SINAT) e tendo como referência os projetos, ensaios de laboratório, verificações analíticas de comportamento estrutural, visitas aos canteiros de obras e outras avaliações conforme aponta o DATec Nº 012.

4.4.4.1. Desempenho estrutural

O desempenho estrutural desse sistema foi avaliado por meio de memoriais de cálculo, ensaios laboratoriais e verificações de campo. A avaliação de memorial de cálculo levou em consideração o fato de os painéis não apresentarem função estrutural

e, portanto serem considerados apenas o seu peso próprio e a transmissão de esforços de vento para a estrutura.

Foi realizado em campo o ensaio de impacto de corpo mole a estrutura do painel obtendo resultados que não indicaram deslocamentos além daqueles previstos na Diretriz. Os resultados também não indicaram não conformidades para as energias de impacto de 120 J a 960 J para impactos internos e externos.

O ensaio de resistência ao impacto de corpo duro também foi realizado conforme determina a Diretriz e não foram observadas ocorrências que comprometessem o desempenho estrutural do painel, desta maneira os critérios estabelecidos na Diretriz foram atendidos.

O ensaio de verificação de capacidade de suporte de cargas suspensas também foi avaliado conforme estabelece a Diretriz e utilizados parafusos com bucha plástica FUR 8x100 para fixação das mãos francesas normatizadas. Os critérios estabelecidos foram atendidos para esta verificação.

O fechamento brusco da folha de porta permitiu avaliar, segundo o DATec N° 012, as ações transmitidas por portas internas ou externas. O painel durante a realização do ensaio não apresentou falhas, tais como rupturas, destacamento na interface com o marco, cisalhamento das regiões de solidarização e destacamentos das juntas entre os componentes do painel. Sobre esta folha de porta utilizada neste ensaio, foi realizada também a verificação do impacto de corpo mole com energia de 240 J sobre a folha de porta, não sendo verificado arranchamentos ou descolamento do marco.

Com essas avaliações realizadas o sistema construtivo foi considerado aprovado quanto ao seu desempenho estrutural atendendo as requisitos estabelecidos na Diretriz SINAT N° 002 para a construção de edifícios habitacionais de até oito pavimentos.

4.4.4.2. Estanqueidade à água

A interface entre painel pré-fabricado e esquadrias foi avaliada por meio de ensaio de laboratório com o teste de estanqueidade sendo aplicada uma pressão estática de ensaio de 50 Pa para dois corpos de prova: um painel sem aberturas e um segundo painel com esquadria instalada. Nesses mesmos corpos de prova foram realizados

ensaios de choque térmico antes da realização do ensaio de estanqueidade à água. Os resultados obtidos para este ensaio indicaram que para os dois corpos de prova foram atendidos os requisitos estabelecidos na ABNT NBR 15575-4:2010, não sendo observadas manchas, infiltrações, formação de gotas de água ou vazamentos na face interna do painel avaliado.

As áreas molhadas da edificação foram avaliadas por meio de projeto arquitetônico sendo observado que o sistema construtivo emprega diferenças de cotas, caimentos e impermeabilização com argamassa polimérica bicomponente a base de dispersão acrílica para possibilitar uma estanqueidade à água no sistema. O rodapé dos painéis com altura de 30 cm também recebem essa argamassa impermeável para proteção contra a ação da água nas áreas molhadas.

A calçada no perímetro da edificação possui caimento adequado possibilitando escoamento da água, além de estar situada a 10 cm abaixo do piso interno da habitação. A estanqueidade na interface entre pilar e painéis é possibilitada pela aplicação da tela de poliéster e emulsão acrílica conforme dito anteriormente. Esse mesmo sistema de impermeabilização é executado entre rufos e calhas da cobertura.

Figura 127 – Impermeabilização de laje e rodapé do painel em 30 cm nas áreas molhadas do sistema PRECON



Fonte: DATec Nº 012.

Figura 128 – Impermeabilização de rufos na coberta do sistema construtivo PRECON



Fonte: DATec Nº 012.

A cozinha recebe impermeabilização por meio da aplicação de revestimento cerâmico sobre a região da pia e as demais regiões uma pintura acrílica. O piso interno da edificação é revestido com placas cerâmicas e o rodapé igualmente, todos fixados com argamassa colante tipo AC II. As áreas comuns e paredes recebem pintura em látex PVA e textura.

4.4.4.3. Desempenho térmico

O desempenho térmico das edificações construídas com o sistema construtivo PRECON foi avaliado por meio de simulações computacionais para as oito Zonas Bioclimáticas conforme indicadas na ABNT NBR 15220-3:2005. O sistema de cobertura considerado na ocasião da avaliação foi o de fibrocimento com 6 mm de espessura sobre estrutura de madeira, podendo essa estrutura ser também em concreto ou metálica. O estudo computacional levou em consideração o pé direito mínimo de piso a teto de 2,60 m, 13,5 cm para a espessura das paredes externas, 12 cm para a espessura da laje de cobertura e a existência de um ático ventilado entre a laje de cobertura e o telhado composto por aberturas com venezianas instaladas nas platibandas. O resultado dessa avaliação está exposto na tabela a seguir com considerações semelhantes as apresentadas para os sistemas construtivos anteriores.

Quadro 8 – Condições necessárias para nível de desempenho térmico mínimo dos painéis do sistema PRECON

Zonas Bioclimáticas	Cor do acabamento externo das paredes de fachada			
	Condição padrão	Com sombreamento	Com ventilação	Com sombreamento e ventilação
1	Qualquer cor	Qualquer cor	Qualquer cor	Qualquer cor
2	Não atende	Clara	Clara	Clara
3	Não atende	Clara ou média	Qualquer cor	Qualquer cor
4	Clara ou média	Qualquer cor	Qualquer cor	Qualquer cor
5	Não atende	Não atende	Não atende	Clara
6	Qualquer cor	Qualquer cor	Qualquer cor	Qualquer cor
7	Clara ou média	Clara ou média	Qualquer cor	Qualquer cor
8	Não atende	Qualquer cor	Qualquer cor	Qualquer cor

Fonte: DATec Nº 012.

4.4.4.4. Desempenho acústico

O desempenho acústico do sistema foi avaliado por meio de duas verificações, sendo: uma em laboratório com a análise do índice de isolamento sonora dos painéis pré-fabricados com espessura de 13,5 cm (painéis de fachada); e uma análise de campo para o índice de isolamento dos painéis com espessura de 14 cm utilizados na geminação entre unidades habitacionais. Os resultados obtidos estão apresentados na tabela a seguir.

Quadro 9 – Resumo dos resultados obtidos para a avaliação do desempenho acústico do sistema construtivo PRECON

Localização do painel	Local de ensaio	Variável analisada	Critério de desempenho da Diretriz SINAT 002: valor mínimo	Valor obtido
Fachada	Laboratório	R_w	30	42
Geminação (1)	Campo	$D_{nT,w}$	40	40

Localização do painel	Local de ensaio	Variável analisada	Critério de desempenho da Diretriz SINAT 002: valor mínimo	Valor obtido
Geminação (2)	Campo	DnT,w	30	33

Fonte: DATec N° 012.

As paredes de geminação (1) são paredes posicionadas entre as unidades autônomas das habitações e as de geminação (2) são paredes de salas e cozinhas entre uma unidade habitacional e áreas comuns de trânsito eventual, como corredores, hall e escadaria nos pavimentos tipo.

Conforme apresentado no quadro anterior, os resultados indicaram que o sistema construtivo PRECON atende aos requisitos estabelecidos na Diretriz SINAT N° 002, sendo observado que para o caso das paredes de geminação (1) o valor obtido atingiu o valor mínimo estabelecido.

4.4.4.5. Durabilidade e manutenibilidade

A durabilidade do sistema PRECON foi avaliada por meio da análise de projetos, características dos materiais, controle de produção e montagem, agressividade ambiental e procedimentos de uso e manutenção.

O sistema construtivo PRECON atende as classes I e II de agressividade ambiental apresentando características do concreto com $f_{ck} = 40$ MPa, consumo de cimento de 485 kg/m^3 e relação água-cimento inferior a 0,60. O cobrimento das armaduras possui uma camada de concreto de 25 mm e uma de argamassa com 15 mm de espessura na face externa e 20 mm de espessura na face interna, atendendo assim o cobrimento nominal exigido pela Diretriz SINAT N° 002.

Os pontos de ligação dos painéis com os pilares são protegidos após processo de soldagem com aplicação de primer epóxi, rico em zinco e coberto com argamassa industrializada. Esse procedimento de proteção contribui para o atendimento da durabilidade prevista na ABNT NBR 15575-1:2010.

A manutenção das edificações com esse sistema construtivo em questão é realizada seguindo as orientações do manual de operação, uso e manutenção elaborado pela detentora da tecnologia. O manual, segundo o DATec Nº 012, foi elaborado em conformidade com a norma ABNT NBR 14037:2011.

4.4.4.6. Segurança ao fogo

A segurança ao fogo da estrutura do sistema construtivo foi avaliada por meio dos requisitos estabelecidos na ABNT NBR 15200, sendo utilizado o “Método Tabular” para tempos requeridos de resistência ao fogo em situações de incêndio. O painel pré-fabricado também foi avaliado por meio de teste de resistência ao fogo conforme estabelecido na ABNT NBR 10636:1989. Os resultados obtidos indicaram que a parede entre unidades habitacionais oferece resistência ao fogo superior a 60 minutos e desta maneira é classificada como grau corta fogo CF60.

Uma avaliação desse resultado positivo ao teste de resistência ao fogo pode ser entendido devido à composição do painel por concreto armado e blocos cerâmicos, os quais são materiais incombustíveis, não se caracterizando como propagadores de incêndio.

4.4.4.7. Controle de qualidade do sistema

O controle de qualidade do sistema PRECON é mantido por meio do Sistema de Gestão da Qualidade dos processos de fábrica e obra, esse sistema é gerido por um setor dentro da organização específico. Esse setor faz uso de controles e registros de todas as atividades praticadas pela empresa e é estruturado por:

- a) Manual de Gestão Empresarial;
- b) Plano de Qualidade (política da qualidade, treinamentos e certificações);
- c) Qualificação e Conscientização de Pessoal;
- d) Controle de Compra de Materiais e Serviços;
- e) Identificação e Rastreabilidade;
- f) Inspeções, manuseio, preservação, armazenamento e condicionamento de materiais;
- g) Controle de Documentos e de Registros;

- h) Tratativas de Produtos Não Conforme;
- i) Ações Corretivas e Preventivas;
- j) Auditorias Internas;
- k) Controle de Aparelhos e Instrumentos de Medição e de Ensaio; e
- l) Elaboração, controle e atualização de procedimentos do Sistema de Gestão da Qualidade.

O sistema construtivo PRECON faz uso de documentos específicos que abrangem todas as etapas dos serviços desenvolvidos na obra contemplando desde a compactação do aterro empregado até o controle de entrega e pós-entrega da obra. A empresa possui também certificação ISO 9001 com Selo de Excelência Nível III da Associação Brasileira da Construção Industrializada e Nível A no Sistema de Avaliação da Conformidade de Empresas de Serviços e Obras (SiAC).

4.5. Sistema Construtivo OLÉ CASAS

4.5.1. Histórico sobre o sistema construtivo

O sistema construtivo Olé Casas foi desenvolvido e iniciado pelo engenheiro cearense André Montenegro de Holanda em 2005 com o intuito de atender uma demanda existente na região nordeste do Brasil: a de casas populares térreas para habitação de interesse social. O engenheiro constatou que o sistema construtivo tradicional se mostrava, ao longo dos anos, ineficiente para combater o déficit habitacional da região. Desta maneira, inovou desenvolvendo um processo construtivo que aumenta a produtividade e o controle de qualidade sobre o produto final. Desenvolveu um sistema de paredes pré-fabricadas utilizando materiais convencionais (argamassa, blocos cerâmicos e aços) moldadas na horizontal por meio de formas metálicas sobre uma base de concreto, e em seguida transportadas e montadas por um caminhão guindauto, sendo executada a união entre os painéis por meio de pontos de soldas nas extremidades adjacentes entre painéis para conformação de uma unidade habitacional térrea.

O sistema construtivo Olé Casas possuía na estrutura do seu painel durante os primeiros anos de criação do sistema uma primeira camada de argamassa com espessura de 20 mm contendo tela de aço CA-60 e armaduras de reforço. Sobre esta camada blocos cerâmicos com dimensões de (7x19x19) cm faziam o preenchimento do painel e uma última camada de argamassa com espessura de 20 mm complementava a seção do painel que possuía ao todo 11 cm de espessura.

Até o final do ano de 2011 o painel do sistema Olé Casas era fabricado com estas características tendo sido produzidas um total de 5081 unidades com esta tecnologia entre os estados brasileiros: Ceará, Alagoas, Rio Grande do Norte e Goiás. A produtividade máxima alcançada foi de quatorze unidades por dia para obras localizadas em Alagoas onde a demanda total por obra ultrapassava a quantidade de 1500 casas.

O sistema construtivo Olé Casas iniciou durante o ano de 2010 o processo de aprovação do sistema para obtenção do Documento de Avaliação Técnica (DATec) para homologação do Ministério das Cidades do Governo Federal para uso legal do sistema em diversas regiões brasileiras. A Instituição Técnica Avaliadora para este

processo foi o Instituto Falcão Bauer da Qualidade (IFBQ) e durante esse processo foram realizados testes, ensaios e avaliações de projeto para aprovação do sistema.

Com o painel na constituição de duas camadas de argamassa e um enchimento central de blocos cerâmicos foram realizados estudos que avaliaram o desempenho estrutural dos painéis do sistema Olé. A avaliação de capacidade estrutural do painel contemplou apenas a estabilidade global da edificação por meio de análise de projeto, não tendo sido realizado ensaio de compressão excêntrica sobre os painéis do sistema. Outras avaliações como impacto de corpo mole, corpo duro, impacto de portas não haviam sido consideradas sobre o sistema. A estanqueidade à água desses painéis foi avaliada por meio de ensaios de caixa de estanqueidade e indicaram o atendimento quanto às exigências mínimas de desempenho para este quesito. As interfaces entre painéis e esquadrias por sua vez, foram avaliadas quanto à estanqueidade à água apenas por meio de especificações de projeto.

O desempenho térmico do sistema construtivo foi avaliado apenas para as zonas bioclimáticas Z7 e Z8 constantes na ABNT NBR 15220:2005 por meio de avaliação de protótipo e apresentaram resultados que atenderam aos requisitos de desempenho para unidades térreas, não sendo avaliadas as demais zonas bioclimáticas brasileiras. O desempenho acústico também foi avaliado por meio de inspeções de campo e obtiveram-se resultados que atenderam aos requisitos de desempenho constantes na Diretriz SINAT N°002 – Revisão 01.

Os painéis do sistema construtivo Olé Casas com estrutura da seção composta por argamassa, blocos cerâmicos e armaduras não obtiveram sucesso no requisito durabilidade das armaduras conforme determina a Diretriz SINAT N°002 no seu item 4.2.6.3. O cobrimento da armadura possuía espessura de apenas 20 mm e era composto por argamassa de cimento e areia e não concreto conforme determina a Diretriz, desta maneira não estava garantida a proteção das armaduras sendo necessária a mudança da seção do painel Olé Casas para que atendesse a esse requisito. A argamassa por não possuir controle rigoroso para a relação água-cimento e consumo de cimento por metro cúbico inferior ao do concreto, apresenta no seu estado endurecido características de alta porosidade que não garantem o cobrimento da armadura evitando a ação da corrosão atmosférica ao longo do tempo.

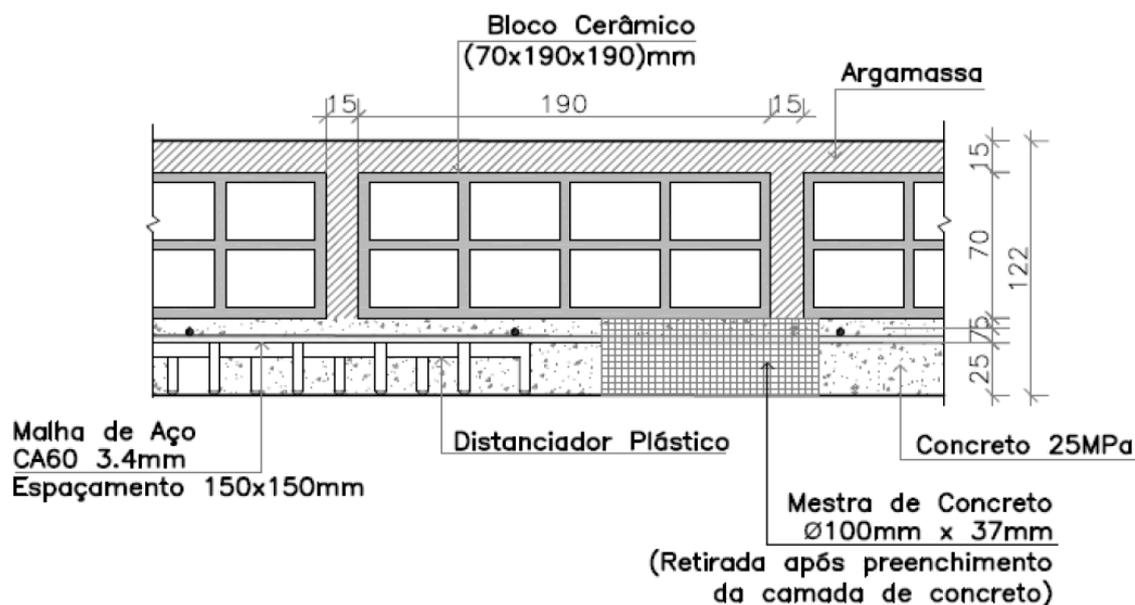
O sistema construtivo teve então a composição da seção do seu painel alterada para uma primeira camada de concreto com espessura de 37 mm, um enchimento central com blocos cerâmicos com espessura de 70 mm e uma terceira camada de argamassa com espessura de 15 mm. Desta feita, o sistema construtivo Olé Casas ficou descaracterizado quanto às avaliações de desempenho estabelecidas na ABNT NBR 15575:2013, pois houve mudança na estrutura do painel. O sistema de ligação de união entre painéis permaneceu o mesmo apesar da mudança da estrutura do painel.

A seguir uma descrição do sistema construtivo Olé Casas, após a mudança de argamassa para concreto na primeira camada do painel, detalhando o processo de fabricação, cura e montagem dos painéis pré-fabricados, bem como as características peculiares ao sistema.

4.5.2. Descrição do sistema

O sistema construtivo Olé Casas é constituído por painéis pré-fabricados compostos por camadas de concreto armado, blocos cerâmicos e argamassa, destinados à construção de casas térreas, isoladas ou geminadas. As paredes do sistema, tanto internas como externas, são estruturais e possuem espessura de 12,2 cm. A Figura 129 a seguir ilustra a seção do painel do sistema Olé Casas mostrando as dimensões de cada uma das camadas e seus elementos constituintes.

Figura 129 – Seção do painel do sistema construtivo Olé Casas



Fonte: Olé Casas.

Os painéis do sistema são moldados sobre pistas de concreto polido dimensionadas especificamente para a produção dos painéis. Perfis metálicos delimitam as dimensões dos painéis conforme projeto e também vão destinados à montagem das esquadrias. A Figura 130 a seguir ilustra formas metálicas sobre a pista de concreto para a produção dos painéis com posicionamento de forma metálica para a locação do vão para a esquadria.

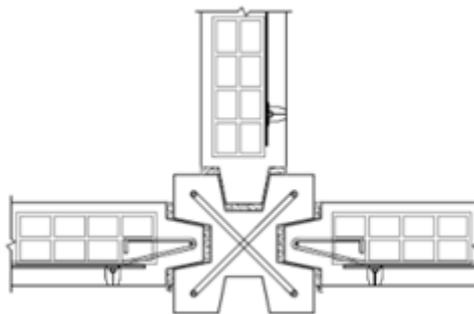
Figura 130 – Forma metálica sobre pista de produção no sistema construtivo Olé Casas



Fonte: Olé Casas.

O sistema utiliza nas paredes de geminação das unidades habitacionais pilares pré-moldados com concreto armado classe C25, possuindo estes pilares rebaixos para o devido encaixe dos painéis possibilitando ligação com ausência de soldas. A Figura 131 mostra o desenho em planta do detalhe dos pilares das paredes de geminação com ligação com os painéis pré-fabricados.

Figura 131 – Detalhe de encaixe do pilar com painéis no sistema Olé Casas



Fonte: Olé Casas.

A cobertura do sistema é composta por telhado cerâmico sobre estrutura de madeira convencional sendo incluído no interior da edificação um forro em régua de PVC. As fundações para esse sistema são convencionais, porém dimensionadas conforme projeto específico. Dentre as obras citadas anteriormente realizadas com a utilização do sistema Olé Casas foi possível se observar dois tipos de fundação: radier de concreto armado e cinta corrida de concreto armado impermeabilizada sobre baldrame e alvenaria de pedra.

O sistema possui algumas limitações podendo-se citar dentre elas as ampliações horizontais são permitidas, porém devem ser avaliadas pela detentora da tecnologia para a sua aprovação. A durabilidade do sistema está restrita as classes I e II de agressividade ambiental. Ampliações verticais também não são permitidas pela detentora da tecnologia conforme constam no Manual de Operação, Uso e Manutenção (Manual do Proprietário).

4.5.3. Informações e dados técnicos do sistema

4.5.3.1. Materiais, especificações e equipamentos

O sistema construtivo Olé Casas utiliza-se de formas metálicas para a sua moldagem, formas estas que são constituídas por perfis metálicos dobrados conforme projeto específico elaborado pela detentora da tecnologia. As formas metálicas são travadas por meio de cunhas que garantem o esquadro e as dimensões dos painéis.

A areia utilizada no sistema é de rio do tipo média ou grossa, com dimensão máxima característica de 4,8 mm, conforme estabelecido na ABNT NBR 7211:2009. A brita é Nº 0 com dimensão máxima característica de 19 mm, conforme estabelecido na ABNT NBR 7211:2009. O cimento utilizado é o Portland CP II 32 ou CP V ARI, conforme ABNT NBR 11578:1997. As armaduras são constituídas por tela eletrossoldada do tipo Q61, malha de 150 mm x 150 mm e fios de aço CA-60 com diâmetro de 3,4 mm, treliças do tipo TR 06644 em aço CA-60 e reforços com barras de aço CA-50 com diâmetros de 8,0 mm ou 10,0 mm.

O concreto empregado na produção dos painéis é classe C25, com densidade de 2365 kg/m³, fator água cimento inferior a 0,6 e resistência mínima a compressão de 7,0 MPa após 24 horas para execução da desenforma das peças. Os blocos cerâmicos utilizados possuem dimensões de (7 x 19 x 19) cm. A argamassa utilizada nos painéis é composta por cimento e areia grossa, apresentando resistência a compressão após 24 horas para a desenforma de 4,0 MPa e após os 28 dias, 7,0 MPa. As juntas entre painéis possuem rebaixos que são preenchidos com argamassa cimentícia.

Os equipamentos mecânicos utilizados para a produção desse sistema construtivo são basicamente dois: as régua vibratórias utilizadas durante o adensamento da camada de argamassa e os caminhões com guindaste acoplado para o içamento, manuseio e transporte dos painéis.

4.5.3.2. Detalhes construtivos

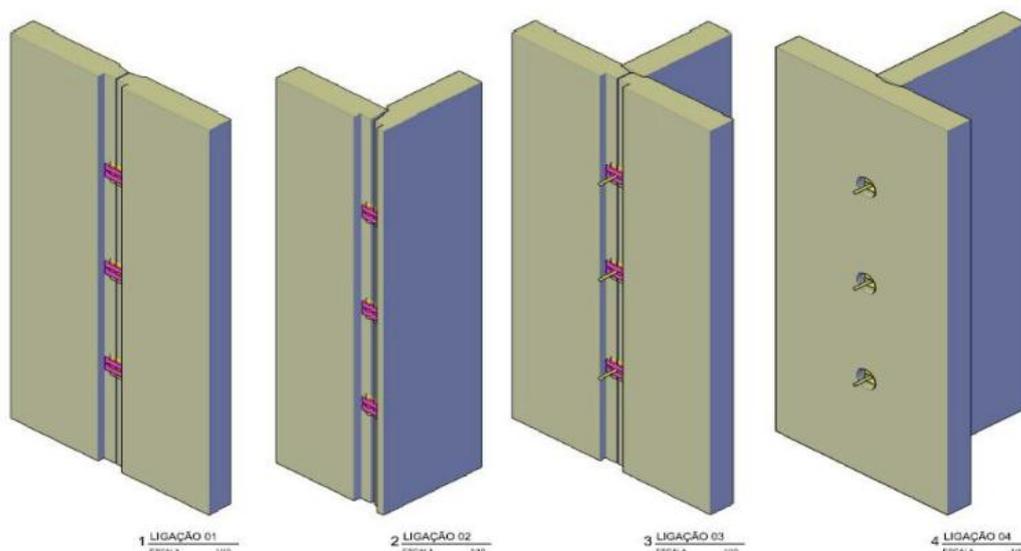
A estrutura da edificação é composta pelos próprios painéis pré-moldados do sistema. As unidades térreas geminadas preveem o uso de pilares pré-moldados de concreto armado para a união dos painéis. Esses pilares são dimensionados com peso e

tamanho para serem montados por esforço humano, sem necessitar de guindaste para o seu posicionamento na vertical. Os pilares possuem dimensão de 19 cm x 19 cm e são fabricados com concreto classe C25 e barras de aço CA-50 com cobrimento de 30 mm.

Os revestimentos empregados são: pintura acrílica para as regiões voltadas para o interior dos ambientes da habitação (áreas secas); e placas cerâmicas fixadas com argamassa colante tipo AC II nas regiões em contato direto com a água (banheiros, cozinhas e área de serviço).

A interface entre painéis possuem quatro tipos de ligações, sendo elas: ligação entre dois painéis a 180 graus, ligação entre dois painéis a 90 graus, ligação entre três painéis e ligação entre dois painéis com encontro de topo. Essa última ligação caracteriza-se pelo encontro de um painel com outro formando um ângulo de 90 graus, porém sem ser nas extremidades do segundo painel. A Figura 132 a seguir mostra um detalhe esquemático das ligações entre os painéis do sistema Olé. As ligações entre os painéis são proporcionadas por ancoragens metálicas denominadas dispositivos de fixação que permitem a execução da solda entre painéis adjacentes. Esses dispositivos de fixação são inseridos antes do lançamento do concreto do painel e são ancorados na tela metálica da primeira camada do painel.

Figura 132 – Detalhe dos quatro tipos de ligações entre painéis do sistema Olé



Fonte: Olé Casas.

A interface entre o painel e as esquadrias de janelas é proporcionada por meio de fixação das esquadrias no painel com parafusos metálicos e após a fixação a aplicação de uma impermeabilização pelo lado interno e externo do perímetro do vão com elastômero próprio. As portas são fixadas com parafusos metálicos conforme recomendações de projeto específico. A interface do painel com a fundação é constituída de uma argamassa tradicional com aditivo impermeabilizante, e nas áreas molhadas além dessa argamassa realiza-se uma proteção com emulsão nas áreas internas aplicando-a no rodapé do painel com altura de 30 cm e na região de interface entre o painel e a fundação.

4.5.3.3. *Procedimento de moldagem e montagem dos painéis*

O processo de produção e montagem dos painéis é constituído pelas seguintes etapas descritas a seguir:

- a) Montagem da forma metálica com posicionamento das formas de aberturas de vãos para janelas e portas. Aplicação de desmoldante sobre a pista de concreto. Disposição das armaduras que foram pré-montadas em uma central específica de ferragem inserindo desta maneira um conjunto formado pela união de tela eletrossoldada, treliças e armaduras de reforço.

Figura 133 – Montagem das formas metálicas e aplicação de desmoldante no sistema Olé



Fonte: O Autor.

- b) Lançamento e adensamento do concreto sobre a primeira camada do painel.

Figura 134 – Lançamento e adensamento do concreto da primeira camada do painel do sistema Olé



Fonte: O Autor.

- c) Disposição dos blocos cerâmicos sobre a primeira camada de concreto preenchendo toda a superfície do painel conforme projeto específico de paginação existente para cada painel.

Figura 135 – Distribuição de blocos cerâmicos sobre primeira camada de concreto do painel do sistema Olé



Fonte: O Autor.

- d) Para as paredes que possuem instalações hidráulicas, posicionamento das instalações hidráulicas previamente montadas sobre a camada de blocos cerâmicos.

Figura 136 – Posicionamento de instalações hidráulicas sobre blocos cerâmicos



Fonte: O Autor.

- e) Lançamento e adensamento da argamassa sobre a camada de blocos cerâmicos.

Figura 137 – Lançamento e adensamento de argamassa com régua vibratória da última camada do painel Olé



Fonte: O Autor.

- f) Execução do acabamento com uso de ferramentas manuais tais como desempenadeira de madeira e cobertura do painel com lona plástica para execução da cura da peça por 24 horas até o seu içamento.

Figura 138 – Acabamento e cura do painel com lona plástica no sistema Olé



Fonte: O Autor.

- g) Após 24 horas da moldagem do painel e aprovação para o seu içamento, realiza-se o transporte do painel até o seu local de montagem definitiva por meio do uso de um caminhão guindauto. No local definitivo o painel é montado e apoiado sobre a fundação com o uso da argamassa de assentamento com aditivo impermeabilizante.

Figura 139 – Transporte do painel da pista de produção até local final de montagem no sistema Olé



Fonte: O Autor.

Figura 140 – Montagem do painel Olé no local final da edificação



Fonte: O Autor.

- h) Após posicionamento do painel, execução da soldagem entre os painéis unindo os dispositivos de fixação presentes nas extremidades dos painéis garantindo a estabilidade do conjunto.

Figura 141 – Execução de solda de ligação entre painéis do sistema Olé



Fonte: O Autor.

- i) Preenchimento do rebaixo existente entre os painéis com argamassa e execução do acabamento desta região.

Figura 142 – Preenchimento e acabamento das juntas entre painéis do sistema Olé



Fonte: O Autor.

- j) Execução de atividades complementares para finalização da habitação, tais como: revestimentos cerâmicos, coberta, pintura, fiação, instalação de esquadrias e acessórios.

Figura 143 – Unidade habitacional executada com o sistema Olé finalizada



Fonte: O Autor.

5. METODOLOGIA

O presente trabalho se desenvolve inicialmente por meio do estudo dos sistemas construtivos inovadores e semelhantes ao Olé Casas, e do próprio, com caracterização desses quanto ao desempenho estrutural, estanqueidade à água, desempenho térmico, desempenho acústico, durabilidade e segurança ao fogo, sendo verificada também a sua capacidade de execução em unidades com mais um pavimento.

A partir desse levantamento verifica-se a necessidade de estudo detalhado do sistema construtivo Olé Casas para atendimento aos requisitos estabelecidos na Diretriz SINAT N° 002 tornando assim o sistema apto e aprovado para uso e projeção de um modelo para a unidade térrea com mais um pavimento. Para esta avaliação, foram realizados pelo autor os seguintes ensaios em laboratório subdivididos a seguir:

- a) Desempenho estrutural: ensaio de compressão excêntrica, resistência a impacto de corpo mole e corpo duro, cargas verticais suspensas, ações transmitidas por impacto de portas, verificação da resistência a cargas de “rede de dormir”.
- b) Estanqueidade à água: teste de estanqueidade à água de chuva nas regiões de ligação entre painéis e teste de estanqueidade na interface esquadria-painel.
- c) Durabilidade: teste de choque térmico nas ligações entre painéis pela face externa com intercalação do teste de estanqueidade, teste de choque térmico na ligação pilar-painel e ensaio comparativo de arrancamento do revestimento.

Para a execução desses ensaios acima mencionados, com exceção do ensaio de compressão excêntrica, foi construída uma unidade protótipo seguindo o mesmo projeto de arquitetura de obra realizada pela empresa em Chorozinho – CE e métodos de fabricação e montagem do sistema Olé Casas. Este protótipo foi erguido dentro da Fundação Núcleo de Tecnologia Industrial do Ceará (NUTEC).

Os ensaios a seguir foram acompanhados pelo autor em avaliações de laboratório e campo, porém não foram efetivamente conduzidos pelo autor, sendo, portanto avaliado apenas os relatórios emitidos pelos avaliadores.

- a) Desempenho térmico: avaliado por meio do uso do método simplificado conforme a ABNT NBR 15575:2013 e elaborado pelo arquiteto Alexandre Gomes de Oliveira.
- b) Desempenho acústico: avaliado através de levantamentos, experimentos de campo e relatório elaborado por Dr. Adeildo Cabral da Silva. Esta avaliação foi acompanhada pelo autor durante os levantamentos de campo.
- c) Segurança ao fogo: realizado no Laboratório de Segurança ao Fogo do Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) de São Paulo, sendo a montagem e preparação do corpo de prova orientada pelo autor e o ensaio e resultado final desenvolvido pelo IPT.

Após a avaliação e constatações da validade do sistema Olé Casas conforme a Diretriz SINAT N° 002, foi proposto um modelo de edificação do tipo térreo mais um pavimento com proposição: das dimensões dos painéis e tipos de ligações a serem empregadas, do tipo de escada a ser empregado, do tipo de laje, do tipo de cobertura pré-fabricada e dos demais subsistemas.

Após a proposição desse modelo, foi realizada uma verificação do desempenho estrutural da edificação, tendo como base os parâmetros propostos para unidade do tipo térreo mais um pavimento. A partir dessas análises, foi realizada a validação da tecnologia Olé Casas para a fabricação de unidades do tipo térreo mais um pavimento.

6. AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DO SISTEMA OLÉ CASAS

6.1. Comparativo entre sistemas construtivos inovadores semelhantes

O sistema construtivo Olé Casas possui características relacionadas ao seu desempenho desconhecidas quando comparadas com os sistemas construtivos detalhados no Capítulo 4 deste trabalho. O quadro a seguir apresenta esse comparativo do nível de detalhe e conhecimento existente sobre os sistemas construtivos em questão.

Quadro 10 – Comparativo de avaliações de desempenho entre sistemas construtivos

Avaliações	Sistemas construtivos				
	JET CASA	CASA EXPRESS	DHARMA	PRECON	OLÉ CASAS
Compressão excêntrica	A	A	NA	NAP	NA
Corpo mole	A	A	A	A	NA
Corpo duro	A	A	A	A	NA
Cargas suspensas verticais	A	A	A	A	NA
Carga “rede de dormir”	NA	NA	NA	NA	NA
Impacto de portas	A	A	A	A	NA
Estanqueidade (painel)	A	A	A	A	NA
Estanqueidade (interface esquadria)	AP	AP	AP	A	NA
Desempenho térmico	A	A	A	A	NA
Desempenho acústico	A	A	A	A	NA
Ação calor e choque térmico	A	A	A	A	NA
Arrancamento	A	NA	A	NA	NA
Resistência ao fogo	A	A	AP	A	NA

Legenda: A = Aprovado; AP = Aprovado por análise de projetos; NA = Não avaliado; NAP = Não se aplica;

Fonte: O Autor

Como pode ser observado no quadro anterior o sistema construtivo Olé Casas, por ter sofrido mudanças na estrutura do seu painel, como explicado no Capítulo 4, não possui avaliações de desempenho, sendo necessárias realizá-las para a devida caracterização e validação do sistema conforme os requisitos exigidos pelos órgãos competentes nacionais.

Foram realizados, para atendimento desta ausência de informações, os ensaios que serão descritos e analisados nos itens subsequentes.

6.2. Protótipo para avaliações de desempenho

Foi construída uma edificação com pé-direito de altura de 2,55 m utilizando o sistema construtivo Olé Casas. O projeto de arquitetura da unidade foi o mesmo utilizado pela detentora da tecnologia em uma obra realizada pela construtora e incorporadora Morefácil no município de Chorozinho no estado do Ceará com um total 312 unidades. Essa unidade possui área útil de 34,88 m².

Os painéis foram moldados na pista de produção da obra em Chorozinho seguindo os procedimentos de fabricação do sistema Olé Casas e transportados para a Fundação Núcleo de Tecnologia Industrial do Ceará (NUTEC) em Fortaleza por meio de caminhão guindauto, totalizando um deslocamento de 73 km do local de fabricação dos painéis para o local de montagem definitiva. As imagens a seguir ilustram o processo de fabricação dos painéis utilizados na montagem do protótipo.

Figura 144 – Moldagem do painel da unidade protótipo montada no NUTEC



Figura 145 – Acabamento dos painéis utilizados no protótipo



Fonte: O Autor

Após a fabricação dos painéis, os mesmos permaneceram por 28 dias na obra para cura e em seguida foram transportados para o NUTEC. A fundação utilizada para o apoio dos painéis foi a mesma empregada nas unidades da obra em Chorozinho, sendo constituída por um radier de concreto armado, com a diferença de que não foram inseridas as tubulações sanitárias que são embutidas pelo piso para o caso da obra convencional. Ocorrida a finalização da execução da fundação, os painéis foram então montados sobre a mesma seguindo os procedimentos do sistema para a montagem como mostra a imagem a seguir.

Figura 146 – Montagem dos painéis do protótipo



Fonte: O Autor

Após a montagem dos painéis, os rebaixos existentes entre as juntas de ligação dos painéis foram preenchidas com argamassa convencional com traço em massa de 1:6,11 (cimento e areia) e 0,4% sobre o peso do cimento de aditivo superplastificante conforme era executado na obra do município de Chorozinho. A unidade recebeu pintura em caiação branca conforme mostrado a seguir para a indicação de trincas ou fissuras ocorridas durante a realização dos ensaios.

Figura 147 – Unidade protótipo do sistema Olé Casas para avaliação de desempenho

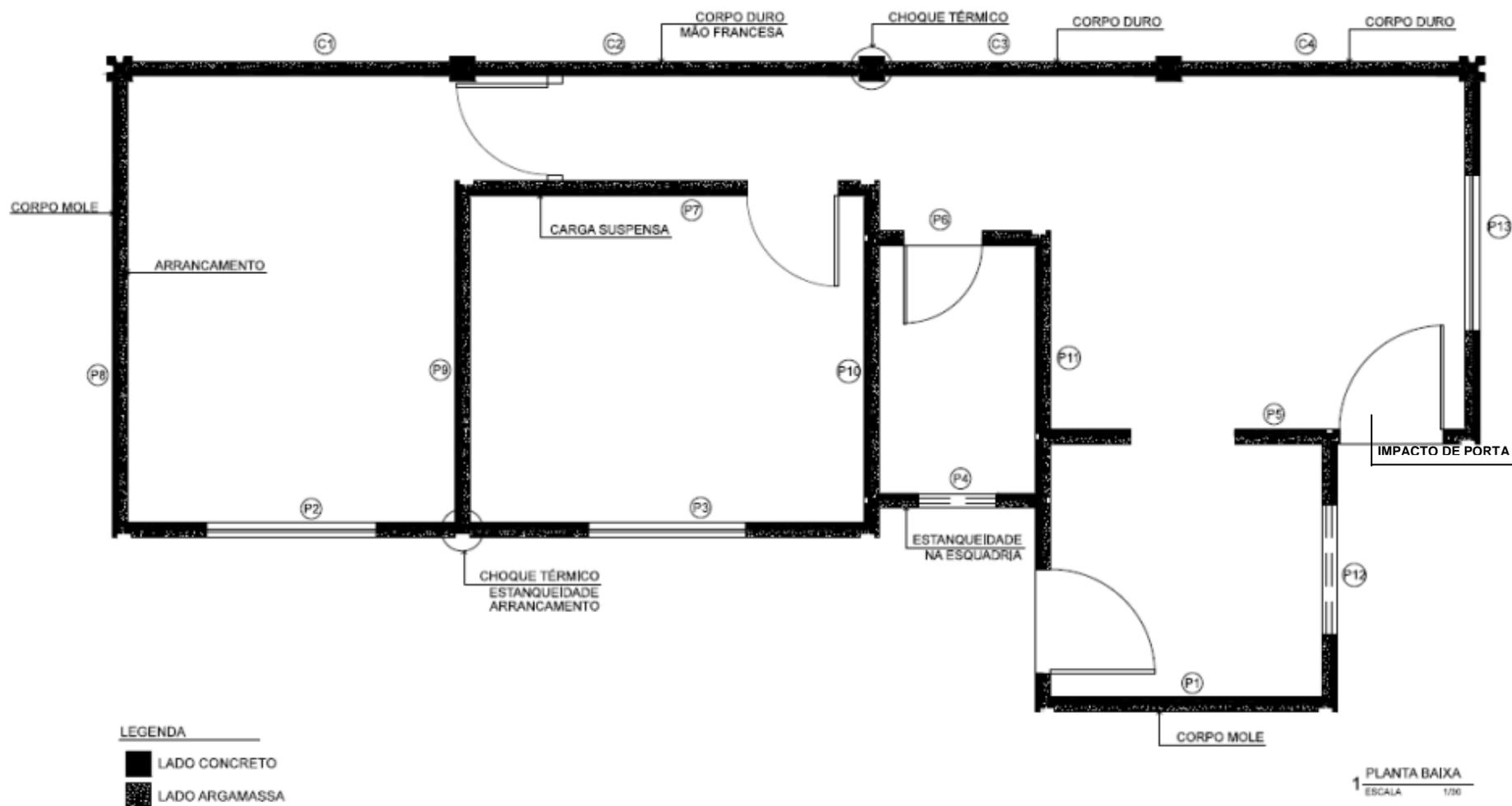


Fonte: O Autor

Os ensaios realizados nessa unidade protótipo bem como a planta baixa do protótipo estão indicados na Figura 148 demonstrando a região do protótipo em que cada teste foi realizado. A mesma imagem apresenta a constituição da face ensaiada, podendo a mesma ser em concreto armado com espessura de 3 cm ou de argamassa convencional com 1,5 cm de espessura. O protótipo, como pode ser observado, possui todas as aberturas de vão conforme a unidade padrão de Chorozinho.

A unidade recebeu a instalação de apenas uma porta e uma janela para a avaliação respectivamente dos ensaios de ações transmitidas pelo fechamento brusco de porta e estanqueidade na interface painel-esquadria. As demais aberturas de vãos permaneceram sem esquadrias.

Figura 148 – Locais de realização dos ensaios de desempenho no protótipo do sistema Olé Casas



Fonte: O Autor

6.3. Caracterização dos materiais e componentes

As avaliações de desempenho do sistema Olé foram realizadas, como dito anteriormente, através do uso de protótipo erguido no NUTEC para a maior parte dos ensaios, não sendo avaliado no protótipo o ensaio de compressão excêntrica dos painéis. Para este ensaio, foram fabricados, a mesma época da moldagem dos painéis do protótipo, oito painéis, sendo quatro com aberturas de vão de janela e quatro sem aberturas.

Todos os painéis moldados para a realização dos ensaios (compressão excêntrica e protótipo) aqui pertinentes tiveram os seus materiais caracterizados. Foram levantadas informações técnicas e realizados ensaios laboratoriais para a caracterização desses componentes.

6.3.1. Caracterização do concreto

O concreto utilizado na moldagem dos painéis seguiram dosagem para atingir nível de resistência à compressão característica, f_{ck} , igual a 25 MPa conforme prevê as recomendações da detentora da tecnologia. O cimento utilizado foi o CP II 32, com areia grossa e brita 3/4 ($D_{máx} = 19 \text{ mm}$). O traço utilizado na fabricação desse concreto é o apresentado na tabela a seguir. Foi utilizado no concreto um aditivo superplastificante do tipo BASF Glenium 51 na proporção de 0,4% sobre o peso do cimento.

Tabela 7 – Traço do concreto em massa

Cimento	Areia grossa	Brita ($D_{máx} = 19 \text{ mm}$)	Aditivo Superplastificante
1	2,44	2,56	200 ml

Fonte: O Autor

O agregado miúdo empregado no concreto foi caracterizado e encontrado os seguintes valores para a absorção de água, massa específica, massa unitária no estado solto, composição granulométrica, impurezas orgânicas húmicas, material passante na peneira 75 microm, por lavagem e teor de argila em torrões e materiais friáveis.

Tabela 8 – Características do agregado miúdo do concreto

Características do agregado miúdo	Indicador
Absorção de água	0,6%
Massa específica	2,62 g/cm ³
Massa unitária no estado solto	1,45 g/cm ³
Composição granulométrica	Areia média MF=2,39 e D _{máx} =2,4mm
Impurezas orgânicas húmicas	Menor que 300ppm
Material passante na peneira 75 micron, por lavagem	0,9%
Teor de argila em torrões e materiais friáveis	0,6%

Fonte: O Autor

O agregado graúdo empregado no concreto foi caracterizado quando aos seguintes aspectos: massa específica, massa unitária, absorção de água e reatividade álcali/agregado.

Tabela 9 – Caracterização do agregado graúdo do concreto

Características do agregado graúdo	Indicador
Massa específica	2,61 gm/cm ³
Massa unitária	1,38 g/cm ³
Absorção de água	0,5%
Reatividade álcali/agregado	Não reativo

Fonte: O Autor

O concreto produzido com esses agregados, cimento e aditivo superplastificante também foi caracterizado obtendo-se os seguintes valores para os seus indicadores de consistência do concreto no estado fresco, resistência a compressão na desforma com 24 horas, resistência à compressão aos 28 dias, absorção de água, índice de vazios, massa específica seca, massa específica saturada e massa específica real.

Para este ensaios foram moldados ao todo 30 corpos de prova cilíndricos conforme moldagem estabelecida na ABNT NBR 5738:2003 com dimensões de 10 cm de diâmetro e 20 cm de altura.

Tabela 10 – Caracterização do concreto empregado nos painéis dos ensaios

Características do concreto	Indicador
Consistência do concreto	10 ± 2 cm
Resistência à compressão na desenforma, movimentação e montagem (24 horas)	7,0 Mpa
Resistência característica à compressão aos 28 dias	25 Mpa
Absorção de água	5,04%
Índices de vazios no estado endurecido	3%
Massa específica seca	2,17 g/cm ³
Massa específica saturada	2,28 g/cm ³
Massa específica real	2,44 g/cm ³

Fonte: O Autor

6.3.2. Caracterização da argamassa

A argamassa empregada na fabricação dos painéis era composta por cimento CP II 32 e areia grossa, sendo aditivada com aditivo superplastificante na proporção de 0,4% sobre o peso do cimento. A argamassa possui um traço em massa que possibilita uma resistência à compressão na desenforma de 4 MPa. O traço em peso está indicado na tabela a seguir.

Tabela 11 – Traço em massa da argamassa

Cimento	Areia grossa	Aditivo Superplastificante
1	6,11	200 ml

Fonte: Olé Casas

A argamassa foi caracterizada quanto aos seguintes aspectos: resistência à compressão axial, variação dimensional aos 28 dias, consistência no estado fresco, massa específica no estado endurecido, massa específica saturada, massa específica real, absorção de água no estado endurecido e índice de vazios no estado endurecido. Os valores obtidos para a caracterização dessa argamassa encontram-se na tabela a seguir.

Tabela 12 – Caracterização da argamassa dos painéis ensaiados

Características da argamassa	Indicador
Resistência à compressão axial na desenforma, movimentação e montagem (24 horas)	4,0 MPa
Resistência característica à compressão aos 28 dias	8,0 MPa
Variação dimensional aos 28 dias (retração ou expansão linear)	0,1mm/m
Consistência no estado fresco	280mm
Massa específica no estado endurecido	1,96 g/cm ³
Massa específica saturada	2,15 g/cm ³
Massa específica real	2,41 g/cm ³
Absorção de água estado endurecido	9,37%
Índice de vazios no estado endurecido	18,37%

Fonte: O Autor

A argamassa empregada no preenchimento das juntas entre os painéis possuía o mesmo traço da argamassa empregada na fabricação dos painéis, porém durante as primeiras realizações dos ensaios de ação de calor, choque térmico e estanqueidade, a argamassa não apresentou comportamento satisfatório e teve que ser alterada para que suportasse a essas solicitações. Para isso a mesma teve que ser adicionada de uma solução adesiva acrílica na proporção de 1:2 (aditivo:água) e adição de fibras de polipropileno na proporção de 600g/m³ de argamassa. Essas fibras possuem comprimento de 12 mm, diâmetro de 18 µm, alongamento de 80% e resistência à tração de 300 Mpa, conforme especificações técnicas do fabricante.

A argamassa de assentamento dos painéis sobre a fundação também possuem um aditivo na composição, sendo neste caso um aditivo do tipo impermeabilizante com proporção de 2 litros para cada 50 kg de cimento empregado. A proporção de areia é a mesma utilizada na fabricação dos painéis e apresentada anteriormente.

6.3.3. Caracterização do bloco cerâmico

O bloco cerâmico empregado nos painéis possui dimensões de (7 x 19 x 19) cm, sendo posicionados na forma metálica do painel durante a moldagem com os furos na vertical e espaçamento entre si de 15 mm. Para os blocos dos painéis de ensaio foram realizados os ensaios de compressão simples dos blocos separadamente e dos primas formados por blocos. As condições desses ensaios simularam a situação real que é empregada para os blocos nos painéis do sistema Olé Casas, ou seja, sempre com os furos na posição vertical.

As Tabelas 13 e 14 apresentam os resultados obtidos para o ensaio de compressão dos blocos e prismas, respectivamente, realizado conforme a ABNT NBR 15270:2005 Parte 3: Blocos cerâmicos para alvenaria estrutural e de vedação – Métodos de ensaios.

Tabela 13 – Resistência a compressão simples dos blocos cerâmicos dos painéis de ensaio

Número do Bloco	Dimensões médias (mm)			Resistência à compressão (MPa)		Resistência característica estimada do lote, $f_{bk,est}$ (MPa)
	C	H	L	Individual	Média	
1	191	192	75	10,9	10,4	7,7
2	192	194	73	9,9		
3	191	190	74	10,2		
4	190	189	74	12,0		
5	191	194	73	8,0		
6	188	189	74	11,3		

Fonte: O Autor

Os blocos cerâmicos empregados possuem espessuras de septos superiores a 6 mm e paredes externas com espessura superior a 7mm, conforme avaliado. O desvio com relação ao esquadro desses blocos é inferior a 3 mm, e o índice de absorção dos blocos é de 11%.

Tabela 14 – Resistência a compressão dos prismas dos painéis ensaiados

Número do prisma	Dimensões médias (mm)			Resistência à compressão (MPa)		Resistência característica estimada do lote, $f_{bk,est}$ (MPa)
	C	H	L	Individual	Média	
1	190	384	72	4,4	4,9	3,8
2	190	386	71	5,0		
3	187	389	71	4,1		
4	189	384	72	4,7		
5	189	390	71	5,0		
6	190	386	72	6,1		

Fonte: O Autor

6.3.4. Caracterização do aço

O aço empregado na estrutura do painel foi o empregado conforme o projeto específico de ferragem do painel elaborado pela detentora da tecnologia, sendo composto por uma tela de aço eletrossoldada do tipo Q61 na camada de concreto com cobertura de 25 mm garantido por espaçadores plásticos, armaduras de reforços nas extremidades do painel composto por aço CA-50 e/ou CA-60, armaduras de reforço nas extremidades das aberturas de vãos composto por aço CA-60 e/ou CA-60, treliças metálicas do tipo TR 06644 e armaduras de içamento composto por aço CA-50 com diâmetro de 10 mm.

6.3.5. Caracterização dos demais componentes do sistema

As janelas empregadas pelo sistema e utilizadas durante as avaliações de desempenho são compostas por quadros em alumínio e vidro transparente com espessura de 4 mm. Essas janelas são fixadas nos painéis por meio de buchas plásticas e

parafusos número 8. A vedação da interface entre painel e esquadria é executada com silicone na face externa e interna no perímetro de toda esquadria.

As esquadrias de madeira, neste caso a porta, é composta por folha de porta do tipo Paraná com espessura de 3 cm de abrir com dobradiças. Essas portas são fabricadas e entregues na obra em conjuntos prontos constituídos de forramentos, folha de porta e ferragens. Os forramentos são fixados na estrutura do painel por meio de parafusos número 10 e os acabamentos necessários executado com argamassa. Os forramentos são em madeira de lei com seção de (3,2 x 10) cm.

A ligação entre painéis é realizada por meio dos três dispositivos de ligação de soldagem na lateral dos painéis, distribuídos ao logo da altura do mesmo. Cada painel na sua lateral possui nessas regiões de soldagem uma cantoneira exposta que está solidarizada com a armadura interna da nervura periférica do painel. Realiza-se então a solda utilizando-se uma barra chata para ligar a cantoneira de um painel com a cantoneira do outro painel adjacente. Após soldagem, a ferragem é protegida por meio de uma pintura com argamassa bicomponente industrializada, formulada em polímeros, cimento Portland e inibidores de corrosão.

Nessa junta de ligação entre os painéis existe um rebaixo que altera a espessura do painel e permite a disposição desses elementos de fixação entre os painéis. O preenchimento dessa junta foi desenvolvido durante esta pesquisa para poder atender as solicitações exigidas durante os ensaios de desempenho, principalmente aos ensaios de estanqueidade, ação do calor e choque térmico. O preenchimento desenvolvido para esta junta é constituído inicialmente por uma ponte de aderência na proporção de 1:1:1 (aditivo adesivo acrílico : água : cimento CP II 32), sendo aplicada essa mistura em toda a superfície da junta imediatamente antes do preenchimento com argamassa. Logo em seguida, após a aplicação dessa ponte de aderência, realiza-se o preenchimento da junta com uma argamassa de traço em massa de 1:6,11 (cimento : areia grossa) adicionada de fibra de polipropileno (caracterizada anteriormente) na proporção de 600g/m³. A essa argamassa também se adiciona o mesmo aditivo adesivo acrílico utilizado na ponte de aderência na proporção de 1:2 (aditivo : água). Todo o preenchimento e acabamento da junta de ligação entre os painéis é realizado com essa argamassa.

6.4. Desempenho estrutural

Segundo a ABNT NBR 15575-2:2013, as edificações habitacionais devem atender aos seguintes requisitos gerais quanto a segurança estrutural:

- a) não ruir ou perder a estabilidade de nenhuma de suas partes;
- b) prover segurança aos usuários sob ação de impactos, choques, vibrações e outras solicitações decorrentes da utilização normal da edificação, previsíveis na época do projeto;
- c) não provocar sensação de insegurança aos usuários pelas deformações de quaisquer elementos da edificação, admitindo-se tal exigência atendida caso as deformações se mantenham dentro dos limites estabelecidos nesta Norma;
- d) não repercutir em estados inaceitáveis de fissuração de vedação e acabamentos;
- e) não prejudicar a manobra normal de partes móveis, como portas e janelas, nem repercutir no funcionamento normal das instalações em face das deformações dos elementos estruturais;
- f) cumprir as disposições das ABNT NBR 5629, ABNT NBR 11682 e ABNT NBR 6122 relativamente às interações com o solo e com o entorno da edificação.

Desta maneira, seguindo as avaliações propostas pela ABNT NBR 15575-2:2013 foram realizados os ensaios de compressão excêntrica, resistência a impacto de corpo mole, corpo duro, cargas verticais concentradas, ações transmitidas por impactos nas portas e verificações da resistência a cargas de rede de dormir para comprovar o desempenho estrutural aprovado do sistema construtivo Olé Casas quanto as exigências estabelecidas na Diretriz SINAT N° 002.

6.4.1. Ensaio de compressão excêntrica

6.4.1.1. Características do ensaio

O ensaio de compressão excêntrica foi realizado conforme determina o Anexo A e Anexo B da norma ABNT NBR 15575-2:2013. Esse ensaio foi realizado no laboratório da Divisão de Materiais (DIMAT) do NUTEC, o qual possui um pórtico

metálico de suporte para a aplicação de altas cargas, bem como uma laje de concreto armado de reação. A Figura 149 ilustra o pórtico existente no laboratório do NUTEC e a sua laje de reação.

Figura 149 - Pórtico e laje de reação do NUTEC



Fonte: O Autor

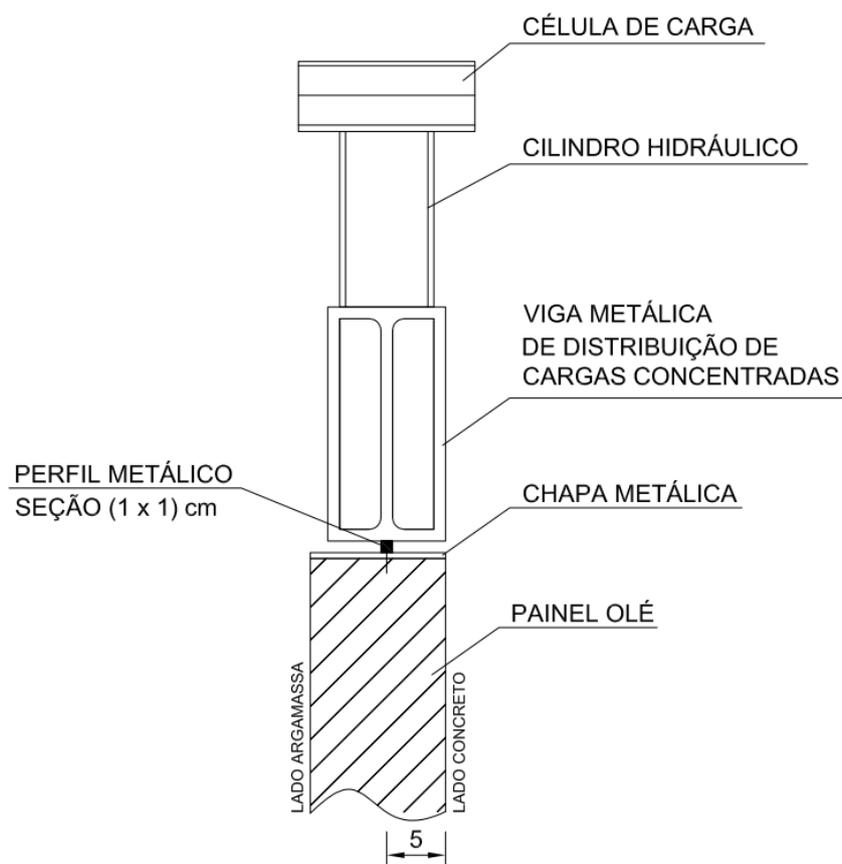
Para a realização do ensaio foram utilizados os seguintes equipamentos, instrumentos e programas computacionais a seguir descritos:

- a) 2 relógios comparadores Mitutoyo Série 3 com graduação de 0,01 mm;
- b) 1 transdutor HBM WA 50 mm com graduação de 0,001 mm;
- c) 3 células de carga 500 kN HBM U5;
- d) 3 cilindros hidráulicos Enerpac RC 506 com capacidade de 50 toneladas e curso de 159 mm;
- e) 1 bomba hidráulica manual de aço, Enerpac Série P, com dispositivo divisor para acoplamento de mangueiras hidráulicas dos três cilindros hidráulicos;
- f) 1 equipamento de hardware de aquisição de dados Spider 8 HBM;
- g) 1 software de aquisição de dados Catman;
- h) 2 perfis metálicos com capacidade de carga de 150 toneladas para distribuição do carregamento.

Os painéis ensaiados para esta avaliação foram em número de três unidades sem aberturas de vãos, possuindo todos 207 cm de largura, 283 cm de altura e espessura

de 11,5 cm. A camada de argamassa da estrutura do painel com 1,5 cm de espessura não foi considerada como componente estrutural do mesmo, sendo considerado apenas a camada de 7 cm de bloco cerâmico e a camada de 3 cm de concreto armado, totalizando um painel estrutural com 10 cm de espessura. Devido as dimensões dos painéis, os mesmo tiveram que ser ensaiados na direção perpendicular ao eixo principal do pórtico. A resistência a compressão foi avaliada com a excentricidade máxima estabelecida pela ABNT NBR 15575-2:2013 de 1 cm aplicada para o lado que possui os blocos cerâmicos. A aplicação dessa excentricidade foi garantida por meio do uso de uma chapa metálica solidarizada a uma barra retangular com seção de (1 x 1) cm e comprimento de 285 cm. A Figura 150 ilustra o esquema de montagem do ensaio quanto aos componentes mecânicos na parte superior do painel.

Figura 150 – Esquema de montagem na parte superior do painel Olé para o ensaio de compressão excêntrica (medidas em cm)



Fonte: O Autor

Sobre esta barra metálica com seção (1 x 1) cm foi posicionada uma viga metálica de distribuição das cargas concentradas proveniente dos cilindros hidráulicos.

A quantidade de cilindros hidráulicos igual a três foi utilizada seguindo as recomendações estabelecidas na ABNT NBR 8949:1985, desta maneira, foi necessário adquirir mais um cilindro hidráulica uma vez que o laboratório só dispunha de duas unidades. Esses macacos hidráulicos estavam todos conectados a uma mesma bomba hidráulica de aplicação de pressão hidroestática manual. Essa conexão dos três cilindros hidráulicos a uma única bomba foi possível devido a aquisição de divisor de pressão hidráulica. A figura a seguir ilustra o esquema de montagem na parte superior do painel apresentado anteriormente.

Figura 151 – Esquema de montagem do painel sob o pórtico de reação

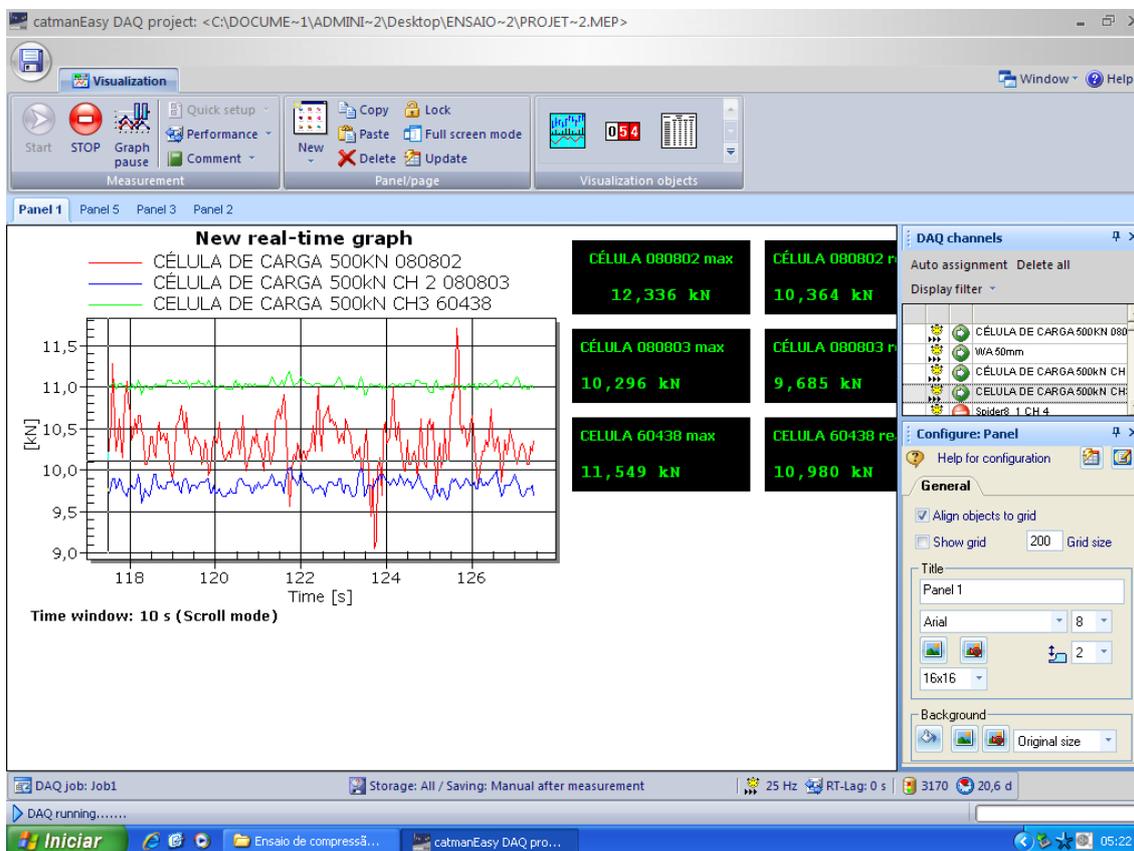


Fonte: O Autor

Sobre cada cilindro hidráulico, estava acoplada uma célula de carga responsável pela medição da força aplicada pelos cilindros. Estas células estavam conectadas por meio de cabos lógicos ao equipamento de aquisição de dados Spider 8 HBM, o qual enviava os sinais em tempo real para o microcomputador com o software de leitura dos dados Catman. Esse software possibilitava medidas de leitura das cargas proveniente das três células em tempo real na tela do computador mostrando valores

instantâneos, valores máximos e o valor total da carga aplicada pelos três cilindros conforme mostrado na Figura 152.

Figura 152 – Leitura de células de carga pelo software Catman



Fonte: O Autor

Para a obtenção dos encurtamentos laterais do painel durante a realização do ensaio, os mesmos receberam dispositivos metálicos, projetados pelo autor e executados por um metalúrgico, fixados por meio de parafusos e buchas número 10 conforme mostra a imagem a seguir. Esses dispositivos na parte inferior do painel serviram para apoiar os relógios comparadores analógicos e na parte superior fixar uma barra metálica abrangendo toda a altura do painel. Esses relógios comparadores não possuíam qualquer tipo de conexão com o microcomputador que estava conectado as células de carga, sendo, portanto a leitura dos dados era executada manualmente. A flecha do painel, por sua vez, era medida por meio de um transdutor conectado ao hardware de aquisição de dados Spider 8, informando através do computador os deslocamentos ocorridos. A Figura 153 também mostra o posicionamento do transdutor HBM WA 50 para medição das flechas.

Figura 153 – Instrumentos de medição de encurtamentos laterais e deslocamentos e seus dispositivos de suporte



Fonte: O Autor

Na região inferior do painel em contato com o a laje de reação foi inserida uma chapa metálica idêntica a posicionada na parte superior do painel como pode ser observado na Figura **153**. Após a conclusão de todas as etapas anteriormente descritas, o painel estava apto para o início da realização do ensaio.

A atuação do carregamento ocorreu em três etapas principais sendo as duas primeiras caracterizadas por carregamento e descarregamento da força não atingindo 50% da carga de ruptura provável. O incremento de carga aplicado durante estas duas etapas foi de 10% do valor da carga de ruptura provável com intervalo de tempo entre cada incremento de 5 minutos. Esses estágios iniciais correspondem a fase de acomodação do corpo de prova, sendo observadas também possíveis instabilidades que possam afetar a execução do ensaio conforme recomendações da ABNT NBR 8949:1985. O terceiro e último estágio consistiu na aplicação da carga com iguais

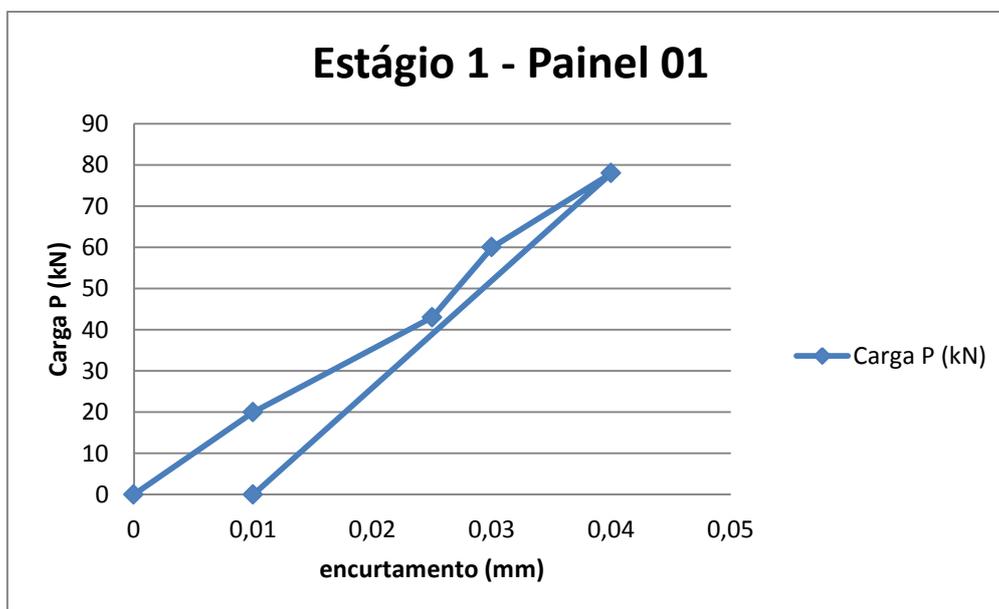
incrementos e tempos de espera até a ruptura do painel passando pelo estágio de serviço.

6.4.1.2. Resultados

Os resultados aqui apresentados estão compostos em sua maioria em formatos de gráfico, tornando o entendimento dos dados obtidos mais compreensível do que se fossem apresentados em formato tabelas com números.

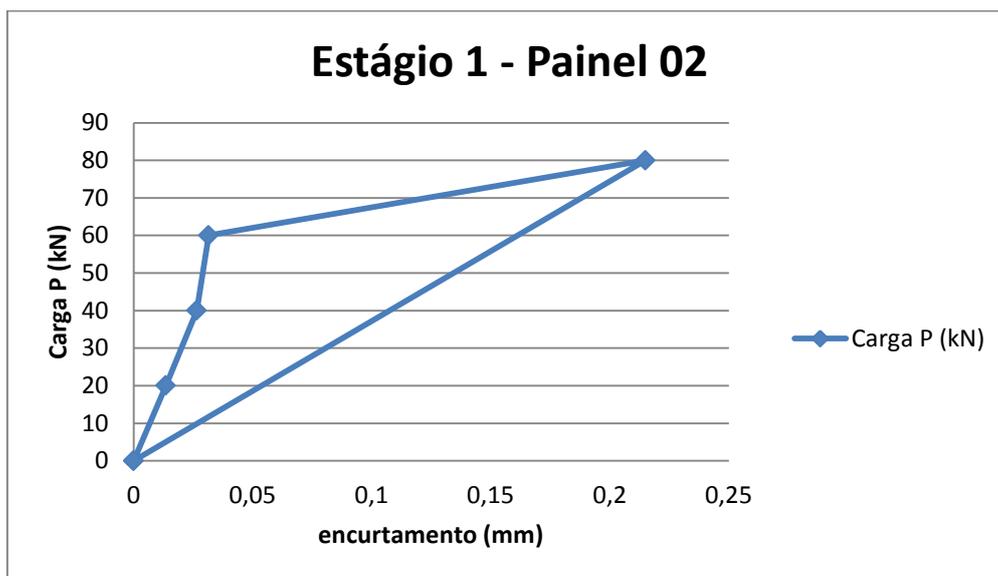
A seguir são apresentados os resultados obtidos para o primeiro estágio de carregamento dos três painéis ensaiados.

Gráfico 1 – Carga x Encurtamento do estágio 1 no corpo de prova 01



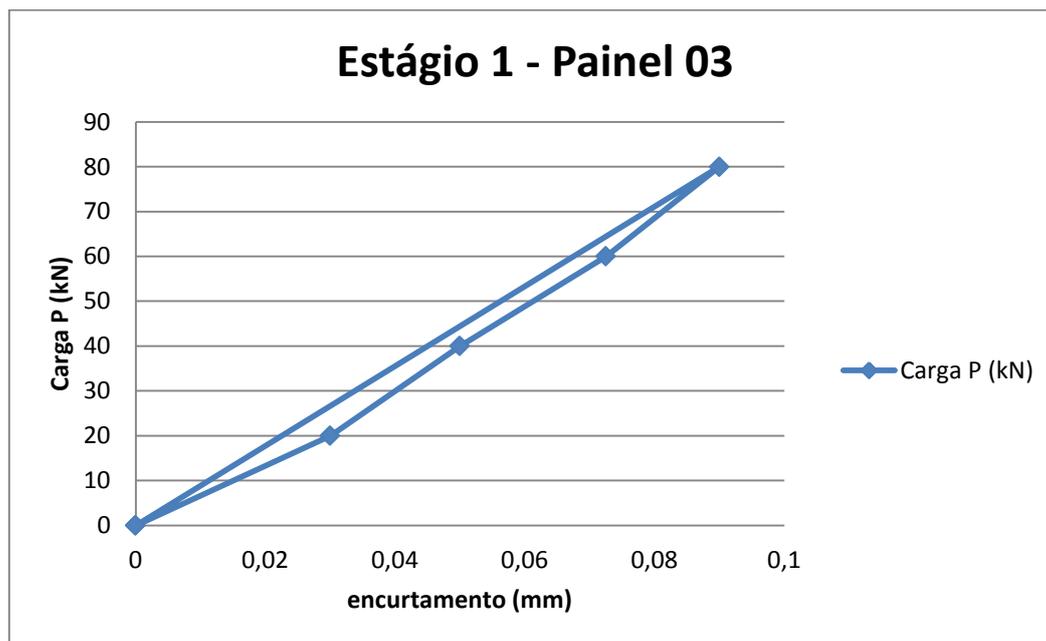
Fonte: O Autor

Gráfico 2 – Carga x Encurtamento do estágio 1 no corpo de prova 02



Fonte: O Autor

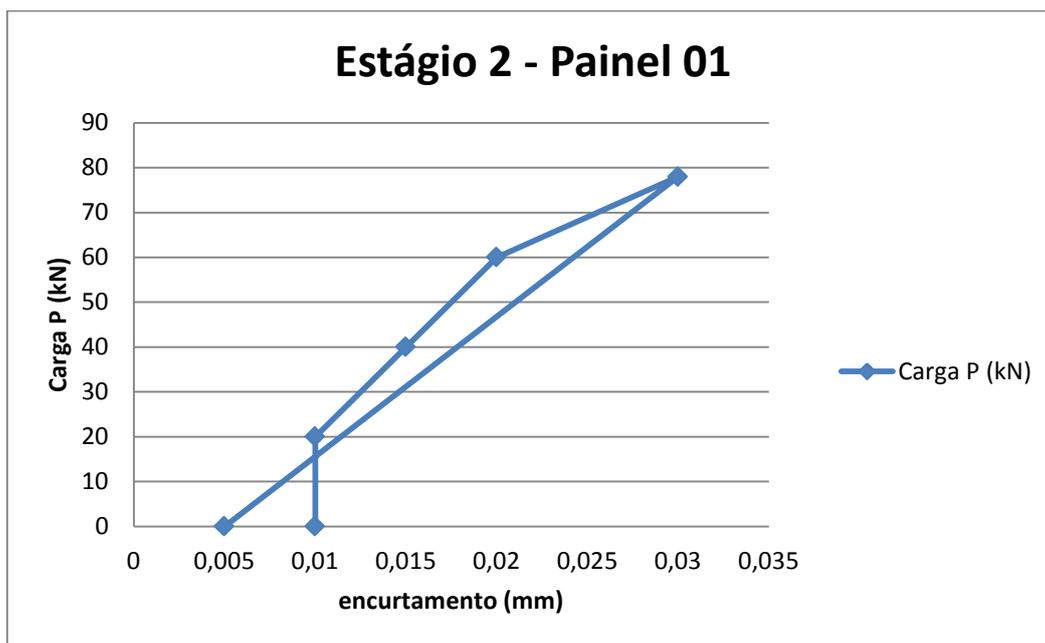
Gráfico 3 – Carga x Encurtamento do estágio 1 no corpo de prova 03



Fonte: O Autor

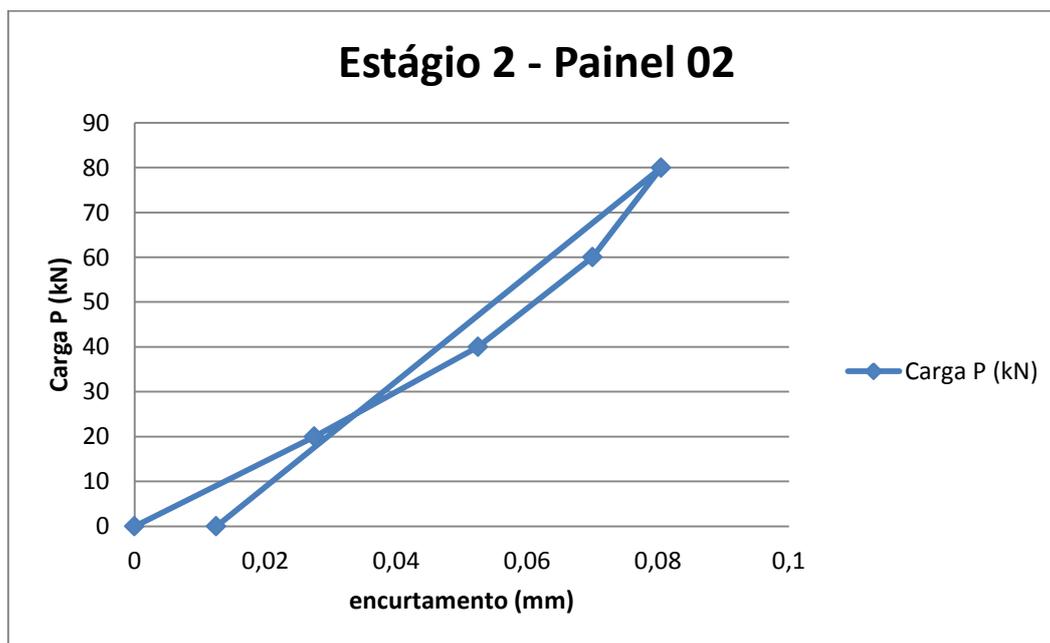
A seguir os dados obtidos para o segundo estágio 2 de carregamento durante o ensaio de compressão excêntrica dos painéis do sistema Olé Casas.

Gráfico 4 – Carga x Encurtamento do estágio 2 no corpo de prova 01



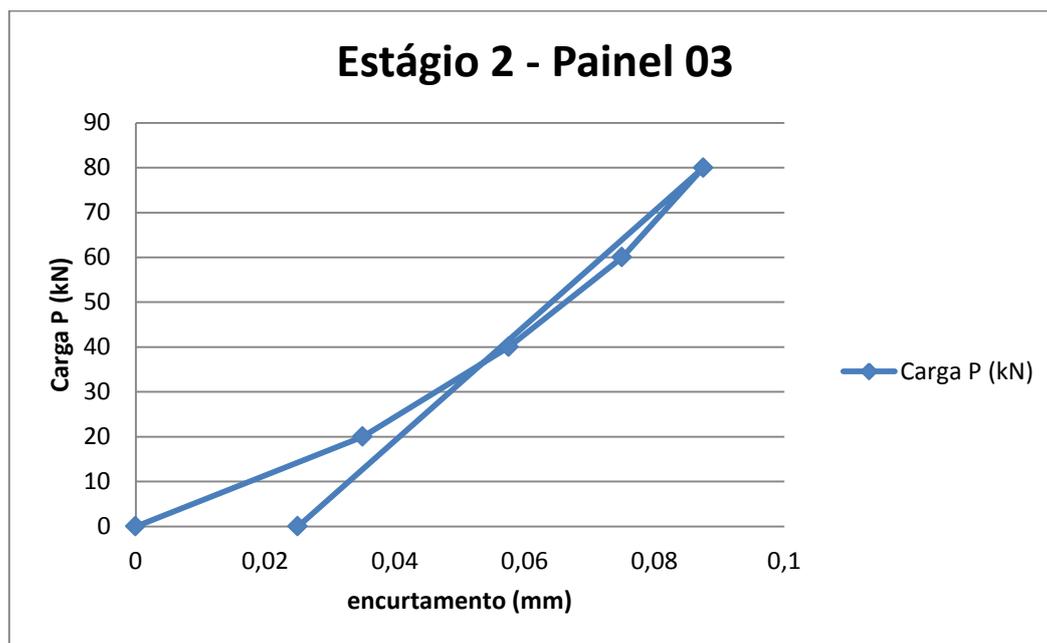
Fonte: O Autor

Gráfico 5 – Carga x Encurtamento do estágio 2 no corpo de prova 02



Fonte: O Autor

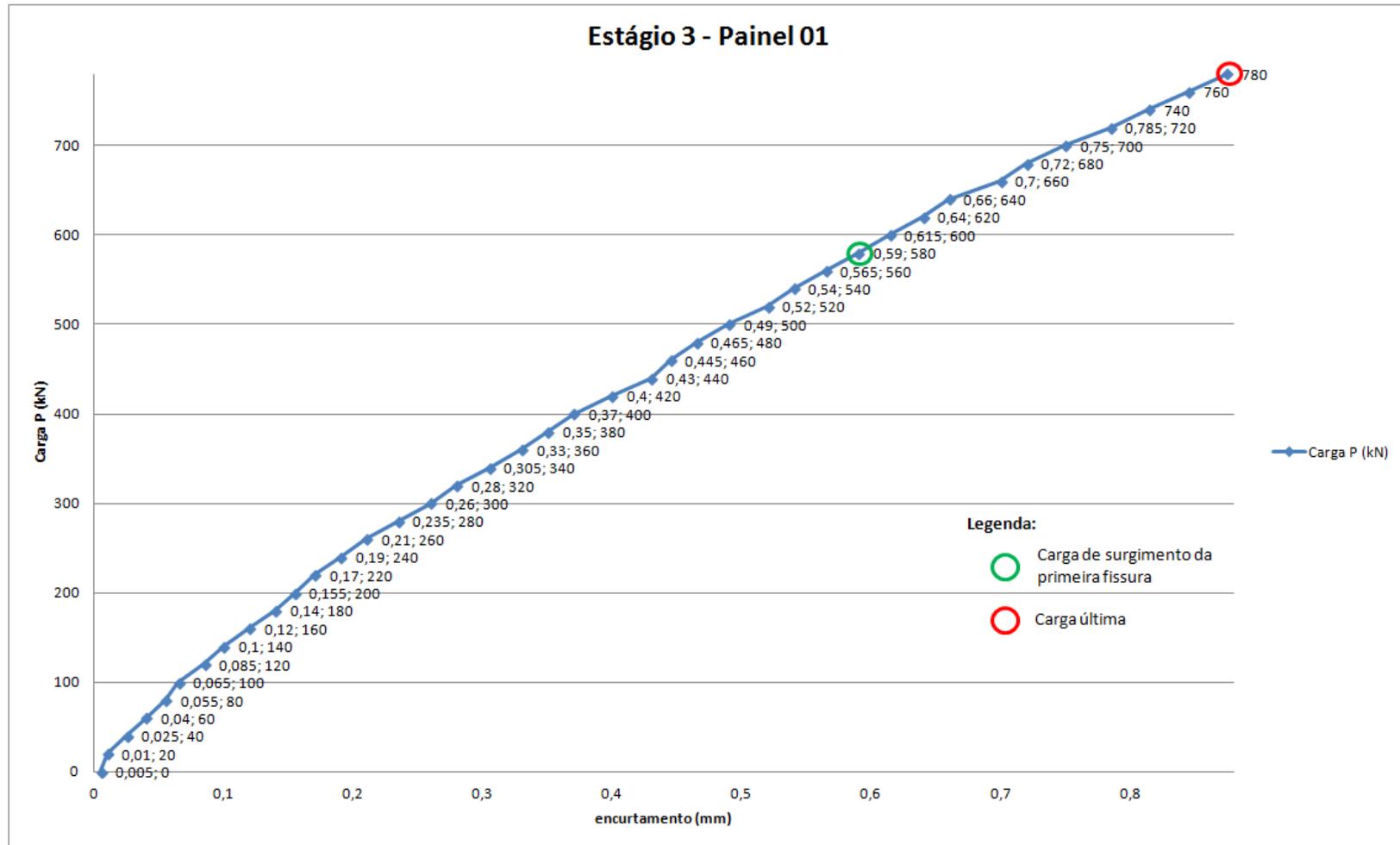
Gráfico 6 – Carga x Encurtamento do estágio 2 no corpo de prova 03



Fonte: O Autor

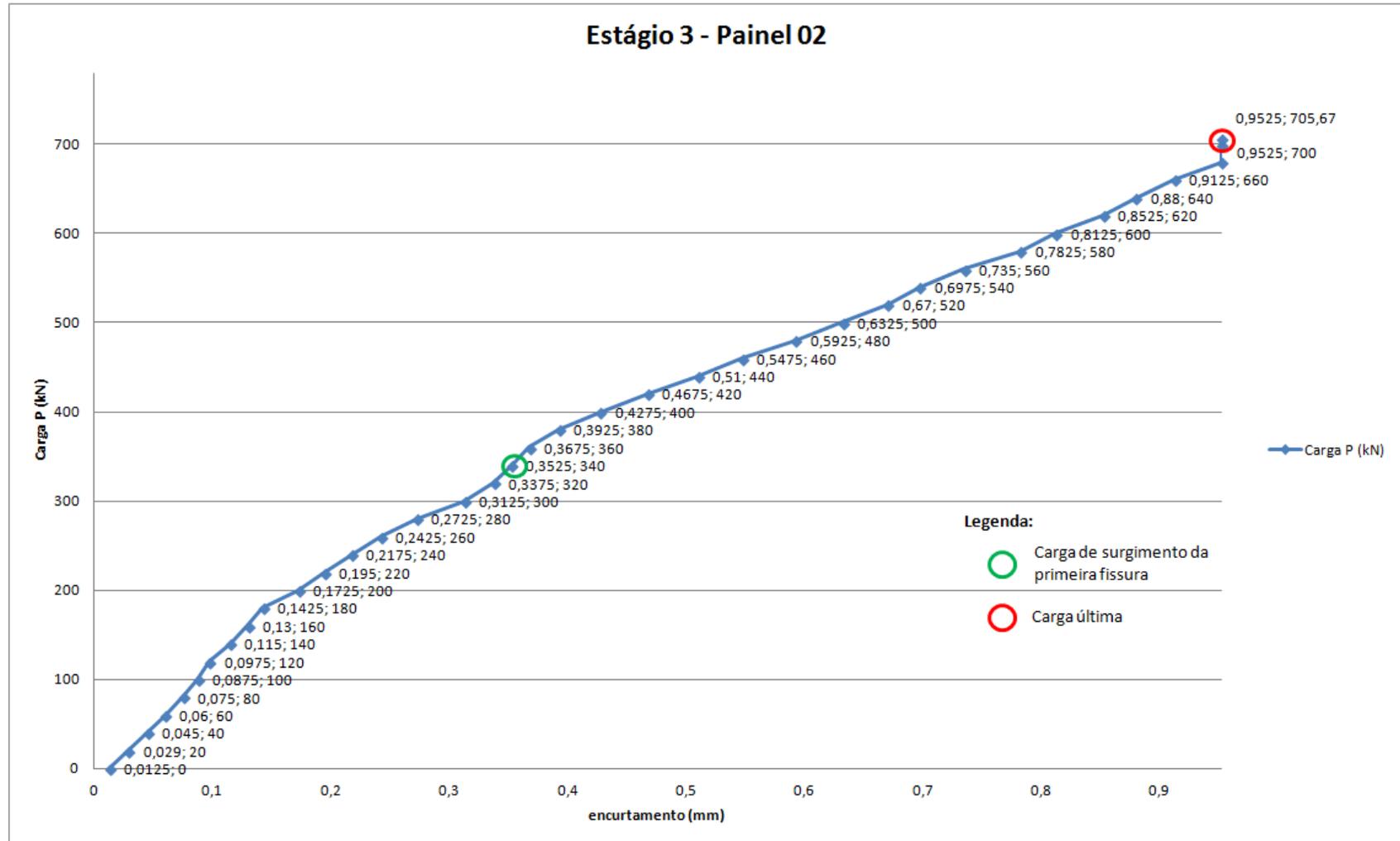
Por último, os resultados obtidos para o terceiro estágio aplicado nos corpos de prova passando pelo estágio de serviço atingindo a ruptura dos painéis conforme determina a ABNT NBR 15575-2:2013. Sendo apresentados inicialmente os gráficos de carga em função do encurtamento lateral e em seguida, os gráficos de carga em função da flecha obtida, sendo indicado também os valores das cargas de primeira fissura e carga última.

Gráfico 7 – Carga x Encurtamento do estágio 3 no corpo de prova 01 com indicação da carga de primeira fissura e carga última



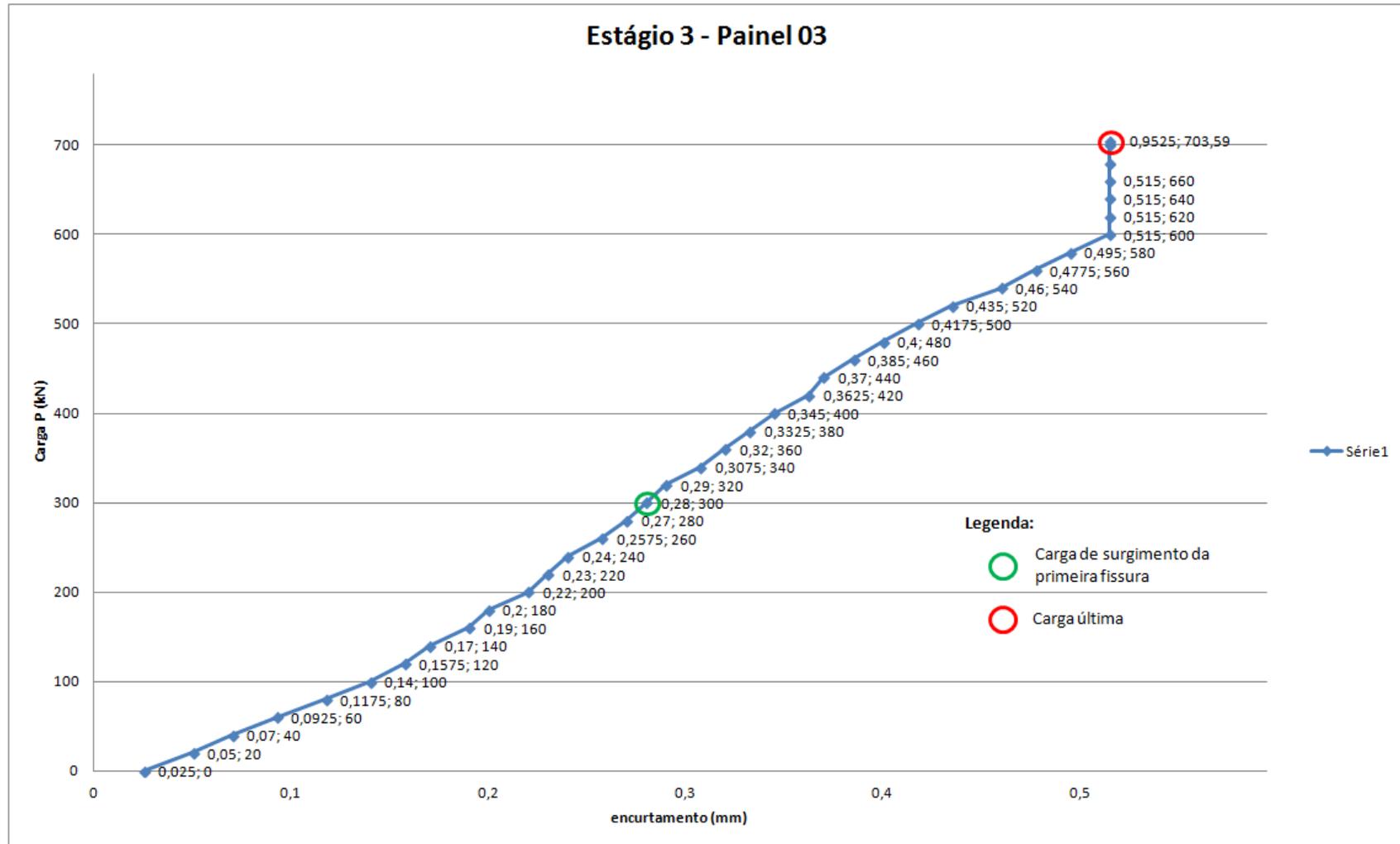
Fonte: O Autor

Gráfico 8 – Carga x Encurtamento do estágio 3 no corpo de prova 02 com indicação da carga de primeira fissura e carga última



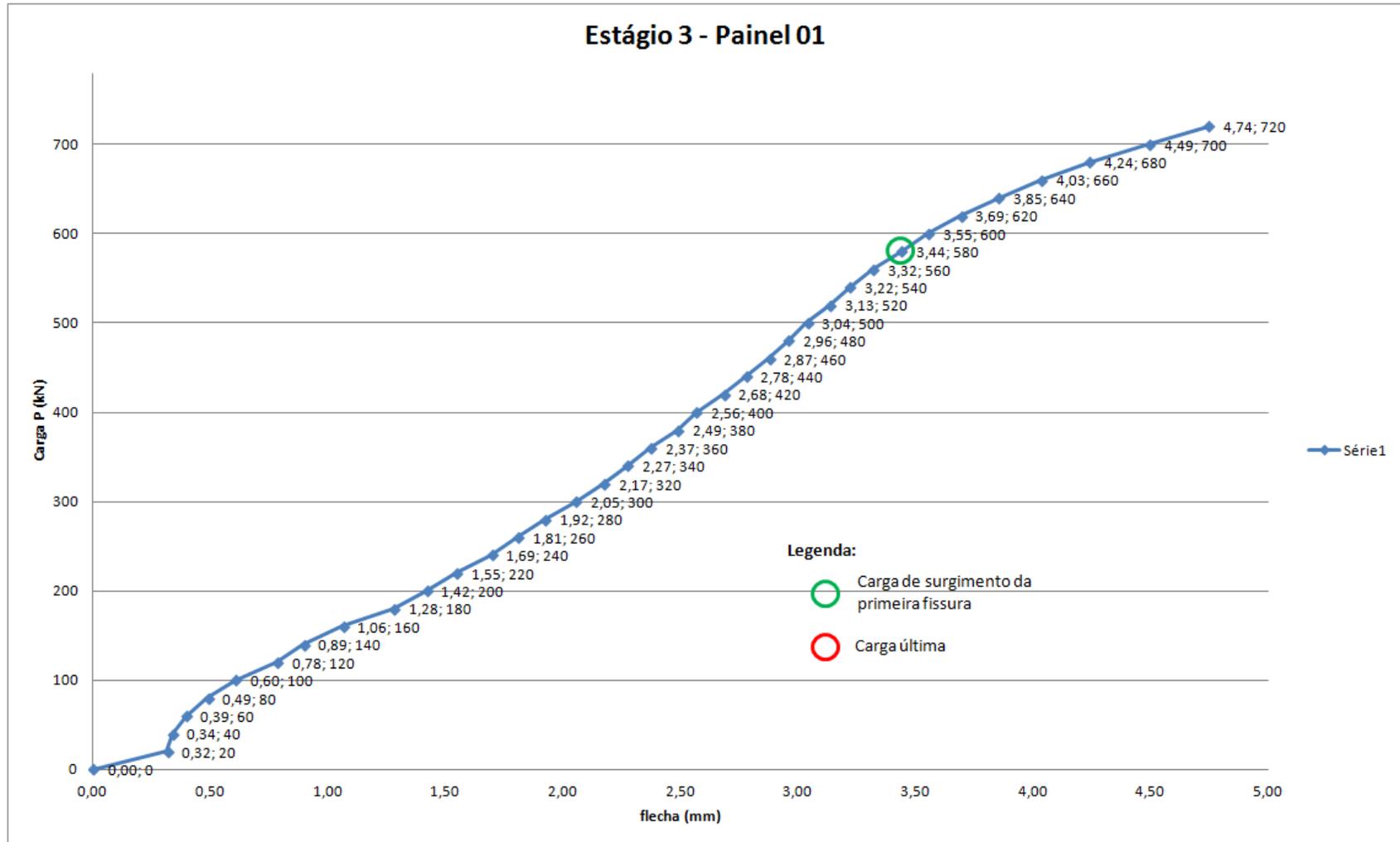
Fonte: O Autor

Gráfico 9 – Carga x Encurtamento do estágio 3 no corpo de prova 03 com indicação da carga de primeira fissura e carga última



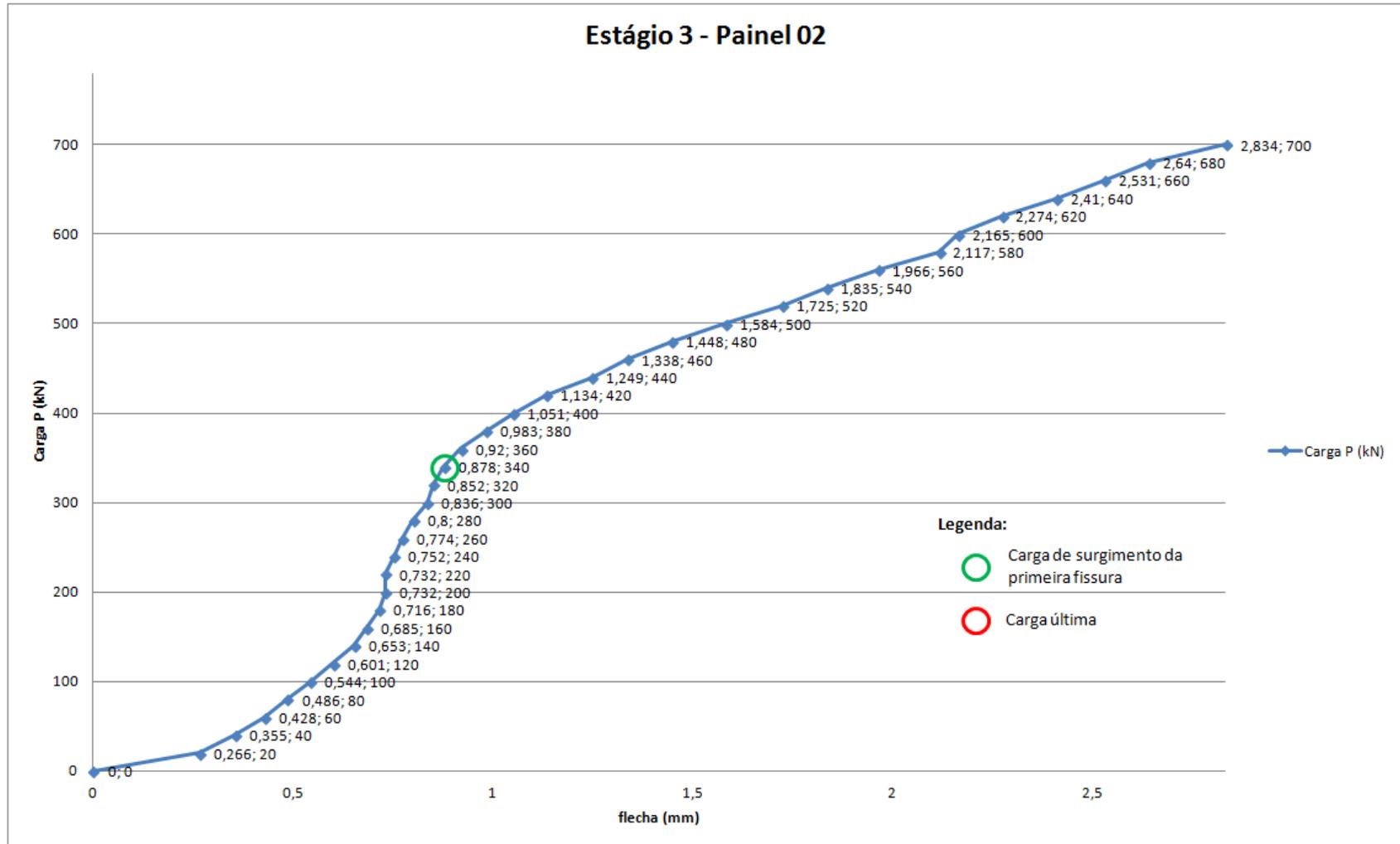
Fonte: O Autor

Gráfico 10 – Carga x Flecha no estágio 3 do corpo de prova 01



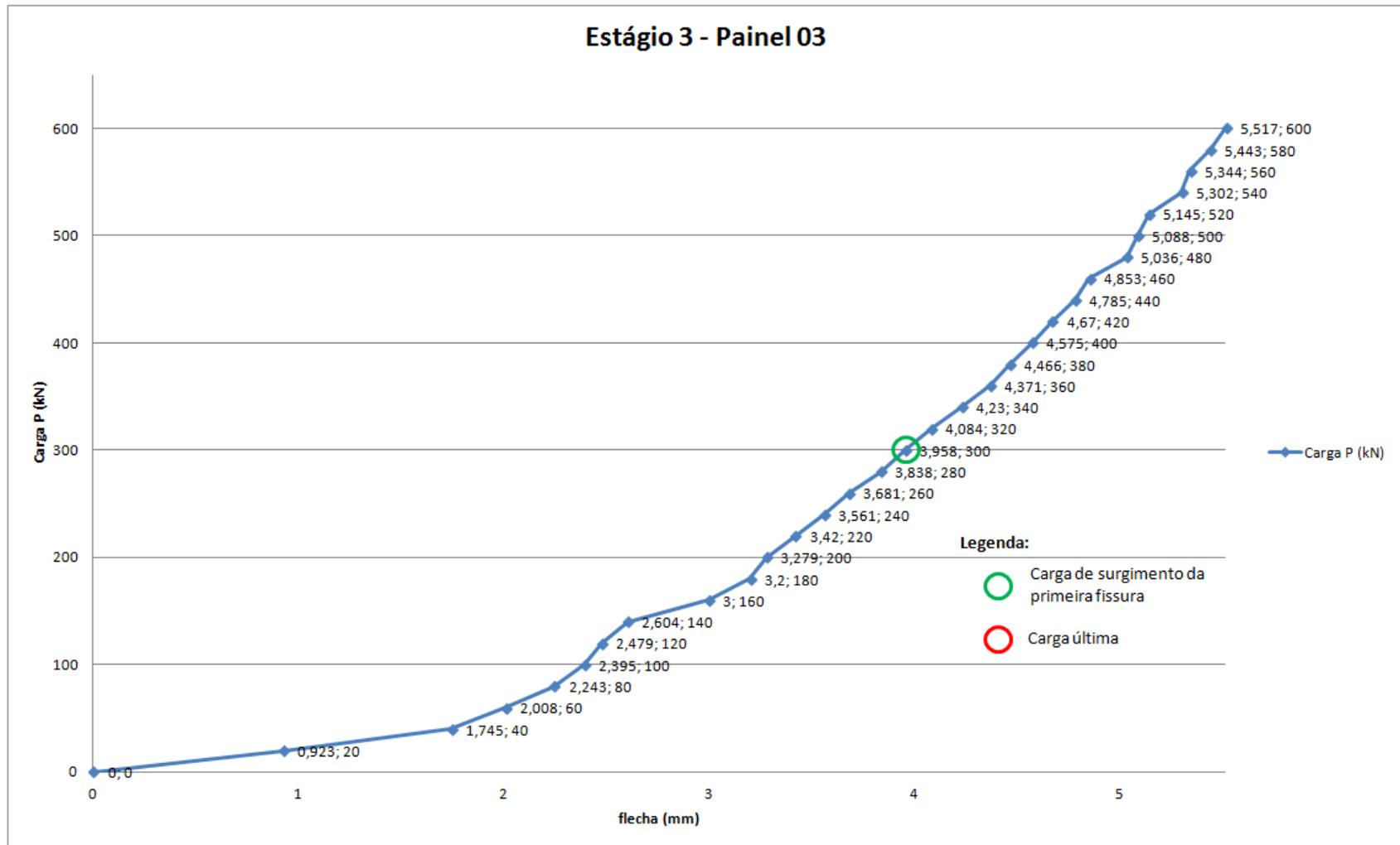
Fonte: O Autor

Gráfico 11 – Carga x Flecha no estágio 3 do corpo de prova 02



Fonte: O Autor

Gráfico 12 – Carga x Flecha no estágio 03 do corpo de prova 03



Fonte: O Autor

Conforme apresentado nos seis últimos gráficos anteriores, existem valores de carga próximos a carga de ruptura dos corpos de prova que não possuem valores correspondentes de encurtamento ou flecha, pois durante a realização dos ensaios nesses momentos os equipamentos medidores de deslocamento eram retirados evitando possíveis danos aos mesmos.

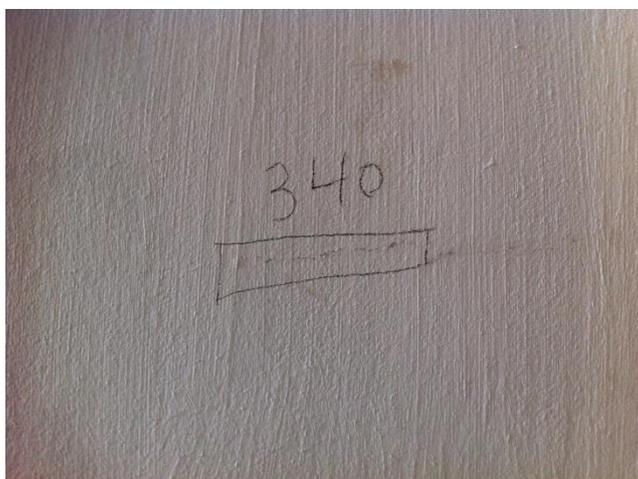
A ocorrência de eventos nos painéis foram observados ao atingirem a carga de primeiro dano da estrutura. As imagens a seguir mostram as fissuras ocorridas nos painéis durante essas cargas, sendo indicado no próprio painel com o uso de giz o tamanho nessa fissura e o valor da carga de ocorrência.

Figura 154 – Ocorrência de fissura na carga de primeiro dano do corpo de prova 01 pelo lado da argamassa do painel (comprimento de fissura = 30 cm)



Fonte: O Autor

Figura 155 – Ocorrência de fissura na carga de primeiro dano do corpo de prova 02 pelo lado da argamassa do painel (comprimento de fissura = 15 cm)



Fonte: O Autor

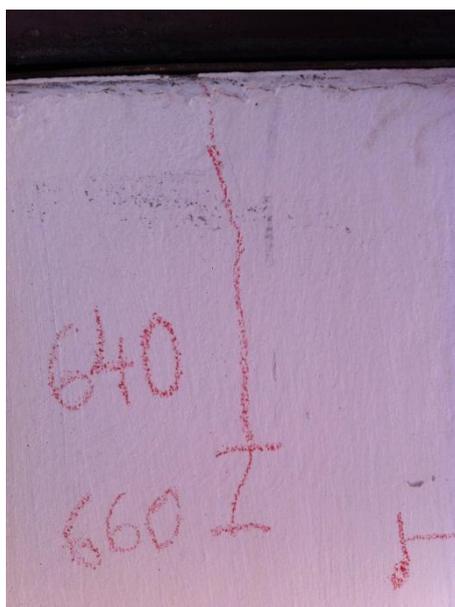
Figura 156 – Ocorrência de fissura na carga de primeiro dano do corpo de prova 03 na interface concreto-bloco cerâmico do painel (comprimento de fissura = 20 cm)



Fonte: O Autor

Os modos de ruptura dos três corpos de prova analisados são apresentados nas ilustrações a seguir sendo observada uma predominância pela falha na interface entre bloco e concreto.

Figura 157 – Modo de ruptura do corpo de prova 01 durante o estado último de resistência (região central superior do painel)



Fonte: O Autor

Figura 158 – Modo de ruptura do corpo de prova 02 durante o estado último de resistência (interface concreto-blocos cerâmicos)



Fonte: O Autor

Figura 159 – Modo de ruptura do corpo de prova 03 durante o estado último de resistência (interface concreto-blocos cerâmicos)



Fonte: O Autor

A Tabela 15 resume os modos de ruptura dos corpos de prova, bem como as cargas de primeira fissura e cargas últimas suportadas pelos corpos-de-prova ensaiados quanto a resistência à compressão excêntrica.

Tabela 15 – Valores de carga de primeiro dano e última dos painéis ensaiados à compressão excêntrica

Corpo de prova	Modo de ruptura	Carga primeiro dano		Carga última	
		kN	kN/m	kN	kN/m
	Região central superior do				
Painel 01	painel pelo lado da argamassa	580	280,2	780	376,8
Painel 02	Interface concreto-blocos cerâmicos	340	164,3	705	340,6
Painel 03	Interface concreto-blocos cerâmicos	300	144,9	703	339,6

Fonte: O Autor

Com os valores obtidos da realização do ensaio de compressão excêntrica nos três corpos de prova, realizou-se o emprego da equação apresentada no Anexo A da norma ABNT NBR 15575-2:2013 para a obtenção da resistência última de projeto, R_{ud} . O valor calculado considerou $\xi = 1,5$ e $\gamma_m = 1,5$, obtendo-se um valor de R_{ud} igual a 119 kN/m.

A carga atuante conforme memorial de cálculo elaborado pelo Ph.D. Luís Alberto Carvalho para o sistema construtivo Olé Casas é de 13,1 kN/m. Levando em consideração um fator de majoração das cargas igual a 1,4, obtem-se um valor máximo último de projeto de 18,3 kN/m, ou seja, a carga máxima atuante nos painéis do sistema é inferior a resistência última obtida através da equação de norma por meio dos ensaios realizados. Desta maneira, comprova-se a resistência do sistema construtivo Olé Casas quanto as solicitações para o estado limite último (ELU).

Quanto ao estado último de serviço, o valor da resistência última de serviço (ELS), foi calculada com base na equação apresentada no Anexo B da norma ABNT NBR 15575-2:2013. O valor obtido para R_{sd} foi de 43,4 kN/m, ou seja superior as cargas atuantes previstas para o sistema construtivo em questão. A partir dos deslocamentos apresentados nos gráficos anteriores observa-se também que não ocorreram deslocamentos superiores aos permitidos por norma ($h/500$) durante os ensaios, ou seja, deslocamentos maiores que 5,7 mm. Desta maneira, os painéis do

sistema construtivo Olé atendem ao estado limite de utilização solicitado conforme a Diretriz SINAT N° 002.

6.4.2. Resistência ao impacto de corpo mole

6.4.2.1. Características do ensaio

O ensaio de resistência ao impacto de corpo mole foi realizado no protótipo montado conforme descrito e apresentado anteriormente. Este ensaio foi avaliado sob duas perspectivas, sendo a primeira com avaliação da resistência dos painéis do sistema pelo lado do concreto e a segunda pelo lado da argamassa. Para a realização desse ensaio foram utilizadas as recomendações estabelecidas no Anexo C da norma ABNT NBR 15575-2:2013.

O ensaio foi realizado utilizando um saco de couro cilíndrico preenchido com areia e raspa de madeira com massa total aferida de 40 kg. Por meio da lança do guindaste acoplado ao caminhão utilizado nas montagens das habitações do sistema Olé Casas foi possível posicionar o saco em diferentes alturas para avaliação da resistência de impacto sobre diferentes valores de energias de impacto em joules: 120 J, 180 J, 240 J, 360 J, 480 J, 720 J e 960 J. Sobre a carroceria do caminhão foi posicionada uma régua para verificação da altura de lançamento garantindo as energias de impacto determinadas por norma. Enquanto o saco era lançado contra uma face do painel, a outra face do painel possuía um transdutor HBM WA 50, posicionado no mesmo alinhamento do centro de massa do saco para aferição do deslocamento instantâneo ocorrido durante o impacto do corpo mole contra o painel pré-fabricado.

As imagens a seguir ilustram o esquema de ensaio para a realização do ensaio de resistência ao impacto de corpo mole pelo lado da região de impacto do saco e medidor digital de deslocamento.

Figura 160 – Esquema de ensaio de corpo mole pelo lado do painel que recebe o impacto



Fonte: O Autor

Figura 161 – Esquema de ensaio de corpo mole pelo lado do painel oposto ao do impacto



Fonte: O Autor

6.4.2.2. Resultados

A tabela a seguir apresenta os resultados obtidos para o ensaio de resistência ao impacto de corpo mole com região de colisão do saco contra o lado constituído por concreto no painel. Esses valores foram obtidos a partir da análise dos arquivos de dados gerados pelo programa computacional Catman que realiza a leitura dos dados captados pelo hardware Spider 8 conectado por sua vez ao transdutor HBM WA 50.

Tabela 16 – Resultados do ensaio de impacto de corpo mole pelo lado do concreto do painel

Energia de impacto	Pontos	Deslocamento horizontal d_h (mm)	Deslocamento residual horizontal d_{rh} (mm)	Observação visual
120 J	1	0,549	0,041	Não houve ocorrências de fissuras, trincas, destacamentos e ruínas
180 J	1	0,539	0,047	Não houve ocorrências de fissuras, trincas, destacamentos e ruínas
240 J	1	0,675	0,057	Não houve ocorrências de fissuras, trincas, destacamentos e ruínas
360 J	1	0,863	0,088	Não houve ocorrências de fissuras, trincas, destacamentos e ruínas
480 J	1	0,909	0,089	Não houve ocorrências de fissuras, trincas, destacamentos e ruínas
720 J	1	1,203	0,141	Houve ocorrências de fissuras
960 J	1	1,396	0,209	Houve ocorrências de fissuras

Fonte: O Autor

Os resultados obtidos neste ensaio atenderam aos requisitos de desempenho estabelecidos na ABNT NBR 15575:2013, sendo nesta norma estipulados valores limites para $d_h < h/250$, onde h é a altura do painel e neste caso igual a 2550 mm, e $d_{hr} < h/1250$. Os requisitos calculados conforme as normas são, portanto $d_h = 10,2$ mm e $d_{hr} = 2,04$ mm. Como podem ser observados na tabela anterior, todos os valores obtidos durante o ensaio foram inferiores a esses valores máximos permitidos. Desta maneira o painel do sistema construtivo Olé Casas atende o nível de desempenho “I” e “S” estabelecido por norma para o impacto de corpo mole sobre a face do painel com camada de concreto.

A seguir os resultados obtidos para o ensaio realizado na face do painel com camada de argamassa.

Tabela 17 – Resultados obtidos para o ensaio de impacto de corpo mole pelo lado da argamassa do painel

Energia de impacto	Pontos	Deslocamento horizontal d_h (mm)	Deslocamento residual horizontal d_{rh} (mm)	Observação visual
120 J	1	0,669	0,036	Não houve ocorrências de fissuras, trincas, destacamentos e ruínas
180 J	1	0,607	0,047	Não houve ocorrências de fissuras, trincas, destacamentos e ruínas
240 J	1	0,899	0,083	Não houve ocorrências de fissuras, trincas, destacamentos e ruínas
360 J	1	0,868	0,088	Não houve ocorrências de fissuras, trincas, destacamentos e ruínas
480 J	1	1,061	0,094	Não houve ocorrências de fissuras, trincas, destacamentos e ruínas

Energia de impacto	Pontos	Deslocamento horizontal d_h (mm)	Deslocamento residual horizontal d_{rh} (mm)	Observação visual
720 J	1	1,814	0,162	Houve ocorrências de fissuras
960 J	1	1,853	0,256	Houve ocorrências de fissuras

Fonte: O Autor

Os deslocamentos observados para este ensaio também foram inferiores aos limites estabelecidos por norma conforme apresentado anteriormente, uma vez que todos os painéis do protótipo possuem a mesma altura (h). Conclui-se, portanto que os painéis do sistema Olé Casas atendem o nível de desempenho “T” e “S” com impacto sobre face externa com camada de argamassa.

As fissuras observadas para a realização desse ensaio nos dois painéis (lado do concreto e lado da argamassa) não foram significativas e evoluíram apenas da energia de impacto de 720 J para a de 960 J. As imagens a seguir mostram as fissuras ocorridas nos painéis ensaiados.

Figura 162 – Fissura ocorrida na ligação do painel com o pilar pré-moldado após a energia de 960 J com impacto pelo lado do concreto



Fonte: O Autor

Figura 163 – Fissura ocorrida na ligação do painel com painel adjacente após a energia de 960 J com impacto pelo lado da argamassa



Fonte: O Autor

6.4.3. Resistência ao impacto de corpo duro

6.4.3.1. Características do ensaio

O ensaio de resistência ao impacto de corpo duro foi realizado conforme estabelece o Anexo D da ABNT NBR 15575-2:2013. Para este ensaio foram utilizadas duas esferas maciças de aço com pesos aferidos sendo aplicados 10 impactos com alturas de 0,75 m e 2,00 m para as esferas de 500 g e 1000 g, respectivamente. Os pontos de impacto foram distintos totalizando um número de 20 pontos de impacto sobre o painel. Essas colisões foram realizadas pelo lado da argamassa dos painéis. Para o lançamento das esferas foi utilizada uma estrutura metálica fixada na fundação do protótipo, andaimes, cabo de aço e régua metálica graduada para posicionar a correta altura de lançamento da esfera maciça. As imagens a seguir ilustram o esquema de ensaio e as regiões após os 10 impactos da esfera.

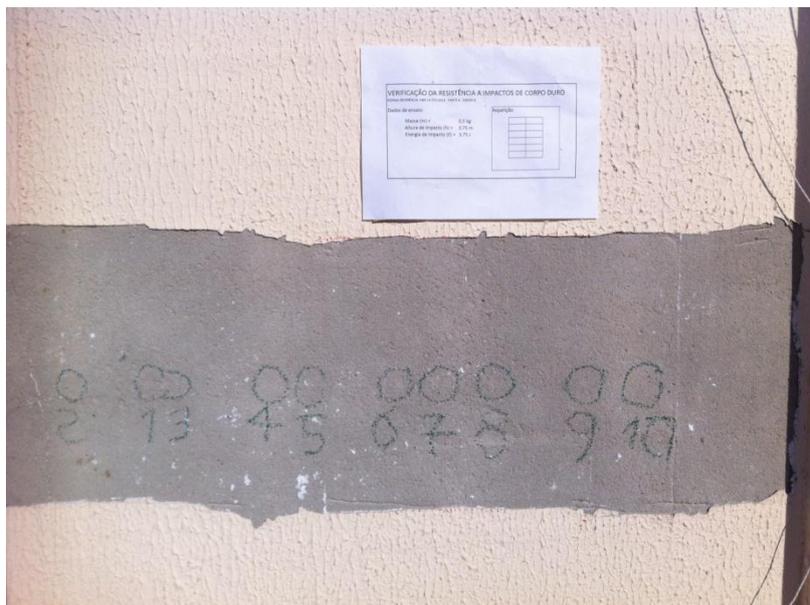
As profundidades das moças formadas após o impacto da esfera maciça foram medidas por meio de um esquadro metálico acoplado a um paquímetro digital com resolução de 0,01 mm.

Figura 164 – Esquema de ensaio de impacto de corpo duro



Fonte: O Autor

Figura 165 – Pontos de impacto do corpo duro



Fonte: O Autor

6.4.3.2. Resultados

Os resultados obtidos estão apresentados na tabela a seguir, sendo primeiramente mostrados os resultados para a energia de impacto de 3,75 J e em seguida para a energia de 20 J.

Tabela 18 – Resultados obtidos do ensaio de impacto de corpo duro

Energia de impacto	Pontos	Profundidade das mossa (mm)
3,75 J (h = 0,75 m)	1	1,26
	2	1,23
	3	1,03
	4	1,20
	5	1,54
	6	1,22
	7	1,53
	8	1,47
	9	0,86
	10	1,10
20 J (h = 2,00 m)	1	1,87
	2	2,07
	3	1,95
	4	1,78
	5	2,43
	6	1,75
	7	3,35
	8	1,64
	9	1,74
	10	1,57

Fonte: O Autor

Conforme estabelecido pela Tabela 6 da ABNT NBR 15575-2:2013 os critérios de desempenho estabelecem que para a energia de 3,75 J não deve ocorrer falhas no painel devido ao impacto da esfera lançada, sendo esta a situação observada durante a realização do ensaio. Para os dez pontos avaliados para a energia de impacto de corpo duro de 3,75 J não foram observadas falhas. Para a energia de impacto de 20 J também não foram observadas ruínas e transpassamento da esfera maciça contra o

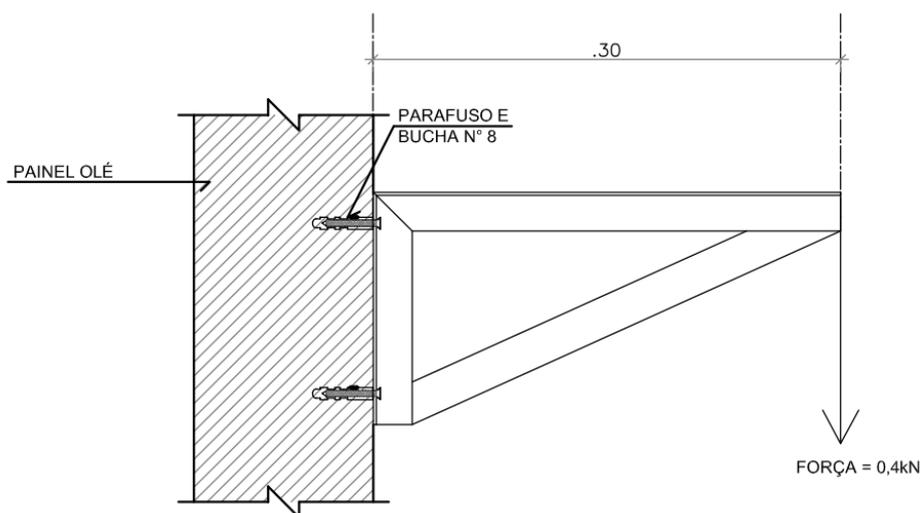
painel. Desta maneira, o sistema construtivo Olé Casas atende aos requisitos e critérios de desempenho estabelecidos atendendo com nível de desempenho “I” e “S”.

6.4.4. Cargas verticais concentradas

6.4.4.1. Características do ensaio

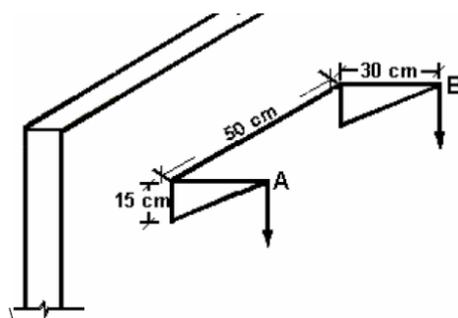
Este ensaio foi realizado conforme recomendações estabelecidas no Anexo D da norma ABNT NBR 15575-4:2013. O ensaio foi realizado utilizando uma mão-francesa metálica confeccionada conforme determina a Figura A.1 do Anexo D da referida norma. Esta mão francesa foi fixada ao painel do sistema Olé pelo lado da argamassa utilizando parafuso e bucha número 8, como mostrado na imagem a seguir.

Figura 166 – Esquema de fixação da mão-francesa no painel Olé



Fonte: O Autor

Figura 167 – Mão-francesa padronizada



Fonte: Anexo D ABNT NBR 15575-4:2013

Foram aplicadas cargas de 50 N em 50 N, sem golpes, em cada ponto A e B, aguardando-se um intervalo de 3 minutos, até atingir uma carga total de 0,8 kN, mantendo-a por um período de 24 horas. O deslocamento horizontal d_h e o deslocamento horizontal residual d_{hr} foram medidos através de relógios comparadores posicionados na outra face do painel ensaiado em três regiões distintas. Esses relógios comparadores foram apoiados em estrutura metálica fixada na fundação do protótipo por meio de parafusos conforme mostra a imagem a seguir.

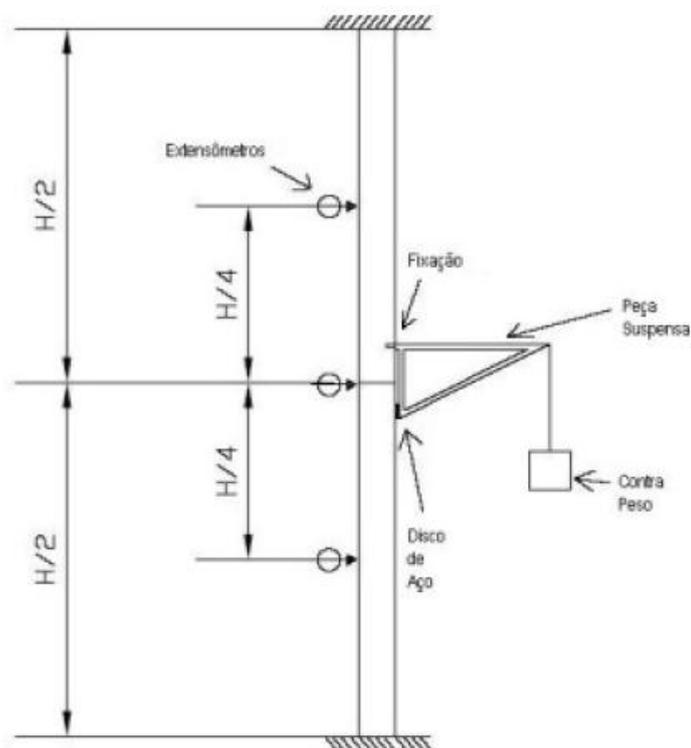
Figura 168 – Relógios para medição dos deslocamentos durante o ensaio de peças suspensas



Fonte: O Autor

O posicionamento dos relógios comparadores de deslocamento foi realizado seguindo recomendações do estudo desenvolvido por Melo (2009), sendo as medidas calculadas conforme mostra a imagem a seguir.

Figura 169 – Posicionamento dos relógios comparadores de deslocamento



Fonte: Melo (2009)

A imagem a seguir mostra a mão-francesa fixada no painel com o carregamento realizado por meio de anilhas metálicas com o seu peso aferido.

Figura 170 – Ensaio de mão francesa com pesos metálicos para aplicação da carga



Fonte: O Autor

6.4.4.2. Resultados

O deslocamento horizontal (d_h) máximo medido foi de 1,05 mm e o deslocamento horizontal residual (d_{hr}) foi de 0,11 mm e durante o ensaio também não ocorreram falhas. Como pode se observar os deslocamentos d_h e d_{hr} são inferiores a $h/500$ e $h/2500$, respectivamente, atendendo desta maneira aos critérios normativos estabelecidos.

6.4.5. Ações transmitidas por impactos nas portas

6.4.5.1. Características do ensaio

Este ensaio foi realizado conforme determina o Anexo F, subitem F.4, da norma ABNT NBR 15930-2:2011 referente a verificação da resistência ao fechamento brusco da folha de porta. O ensaio ocorreu realizando o fechamento brusco da porta por meio de dispositivo mostrado a seguir composto por um peso de 0,15 kN conectado a porta por meio de um cabo de aço. A soltura desse peso, aferido antes da realização do ensaio, em queda livre foi realizada por 10 vezes consecutivas conforme determina a referida norma. O sistema de fixação da porta e seu batente no painel foram descrito anteriormente.

Figura 171 – Esquema de ensaio de verificação das ações transmitidas por impacto de portas



Fonte: O Autor

6.4.5.2. Resultados

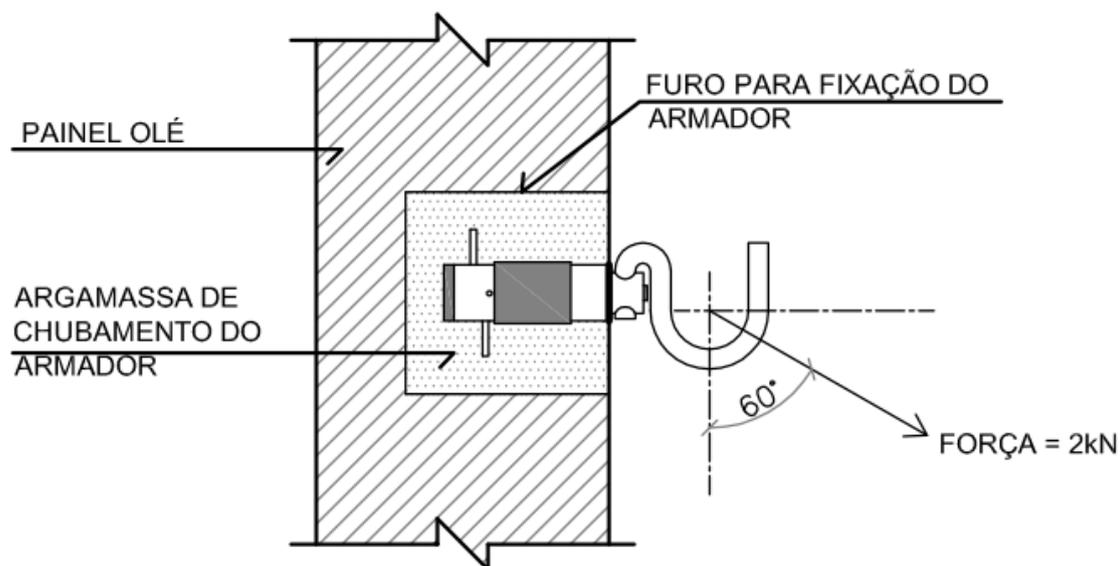
Após a realização do ensaio não foram observadas falhas, rupturas, fissurações, destacamentos no encontro com o marco, cisalhamento nas regiões de solidarização do marco e destacamento em juntas entre componente das paredes. Desta maneira o painel de parede do sistema construtivo Olé Casas atende aos critérios estabelecidos quanto a ações transmitidas por portas.

6.4.6. Verificação da resistência a cargas de rede de dormir

6.4.6.1. Características do ensaio

Este ensaio foi realizado conforme determina o item 7.3.1 da norma ABNT NBR 15575-4:2013 referente a verificação da capacidade de suporte de cargas uso para rede de dormir. Este ensaio foi realizado aplicando-se uma carga de 2 kN com um ângulo de 60° em relação à face do painel por meio de um cabo de aço fixo ao armador de rede empregado nas obras do sistema construtivo em questão. O armador de rede foi instalado conforme determina as recomendações do sistema, sendo executado inicialmente o furo manual no painel e depois fixado o armado metálico através de uma argamassa de cimento e areia na proporção em massa de 1:3,5. O armador foi fixado a uma altura de 1,80 m do nível do piso. A imagem a seguir mostra um desenho esquemático do ensaio realizado e em seguida uma segunda imagem mostra o ensaio sendo realizado.

Figura 172 – Detalhe esquemático do ensaio de rede de dormir



Fonte: O Autor

Figura 173 – Ensaio de rede de dormir em execução



Fonte: O Autor

6.4.6.2. Resultados

Durante e após a realização do ensaio não foram observados destacamentos do dispositivo de fixação ou falhas no painel pré-fabricado. Conclui-se portanto que o

sistema construtivo Olé Casas atende ao critério estabelecido para o caso de rede de dormir em relação ao dispositivo de fixação utilizado pelo sistema.

6.5. Estanqueidade à água

6.5.1. Estanqueidade à água nas ligações entre painéis

6.5.1.1. Características do ensaio

A estanqueidade à ação da água foi avaliada primeiramente sobre juntas de ligação entre painéis. A junta escolhida foi uma constituída pela ligação entre três painéis e localizada na planta baixa do protótipo mostrada anteriormente. O ensaio de estanqueidade com uso da caixa de estanqueidade foi avaliado sob duas situações nessa ligação: antes o teste da ação de calor e choque térmico e após a realização desse teste.

Conforme dito anteriormente, o ensaio de estanqueidade à água foi realizado na junta de ligação entre painéis com preenchimento com argamassa tradicional, porém o ensaio não obteve sucesso, apresentando ocorrência de manchas e infiltração de água. Desta maneira, foi necessário o desenvolvimento de novo tipo de argamassa e novos procedimentos de preenchimento de junta conforme descrito anteriormente. Esta nova junta desenvolvida foi a que apresentou os resultados para o ensaio de estanqueidade à água que serão mostrados e discutidos a seguir. Para a realização desse ensaio o painel recebeu também uma pintura com textura acrílica igualmente ao realizado nas unidades habitacionais comercializadas pelo sistema.

O ensaio de estanqueidade foi realizado conforme critérios e requisitos estabelecidos na ABNT NBR 15575-4:2013. A câmara de ensaio foi posicionada e fixada firmemente contra o corpo da parede, de forma que a interface entre os dois ficou completamente vedada. Foi aplicada uma vazão de água regular de 3 litros/m²min e uma pressão 50 Pa de ar na câmara de ensaio por meio de um compressor, durante um período de 7 horas para cada ciclos. Foram aplicados ao todo dois ciclos de 7 horas antes da realização do ensaio de choque térmico e dois ciclos após a sua realização. A imagem a seguir ilustra o esquema do ensaio realizado.

Figura 174 – Esquema de ensaio de estanqueidade à água



Fonte: O Autor

6.5.1.2. Resultados

Os resultados obtidos da realização desses ensaios estão apresentados nos quadros a seguir.

Quadro 11 – Resultados do 1º ciclo de estanqueidade à água antes do choque térmico

1º ciclo de estanqueidade antes do choque térmico	
Data da fabricação dos painéis	02/07/2012
Data da realização	31/10/2012
Hora de início	7h15min
Hora do término	14h15min
Após 4 horas de ensaio	A amostra não apresentou nenhum vazamento, infiltração ou mancha de umidade na face interna do painel
Após 7 horas de ensaio	A amostra não apresentou nenhum

1º ciclo de estanqueidade antes do choque térmico	
	vazamento, infiltração ou mancha de umidade na face interna do painel

Fonte: O Autor

Quadro 12 – Resultados do 2º ciclo de estanqueidade à água antes do choque térmico

2º ciclo de estanqueidade antes do choque térmico	
Data da fabricação dos painéis	02/07/2012
Data da realização	01/11/2012
Hora de início	8h00min
Hora do término	15h00min
Após 4 horas de ensaio	A amostra não apresentou nenhum vazamento, infiltração ou mancha de umidade na face interna do painel
Após 7 horas de ensaio	A amostra não apresentou nenhum vazamento, infiltração ou mancha de umidade na face interna do painel

Fonte: O Autor

Quadro 13 – Resultados do 1º ciclo de estanqueidade à água após choque térmico

1º ciclo de estanqueidade após choque térmico	
Data da fabricação dos painéis	02/07/2012
Data da realização	08/11/2012
Hora de início	8h15min
Hora do término	15h15min
Após 4 horas de ensaio	A amostra não apresentou nenhum vazamento, infiltração ou mancha de umidade na face interna do painel

1º ciclo de estanqueidade após choque térmico	
Após 7 horas de ensaio	A amostra não apresentou nenhum vazamento, infiltração ou mancha de umidade na face interna do painel

Fonte: O Autor

Quadro 14 – Resultados do 2º ciclo de estanqueidade à água após choque térmico

2º ciclo de estanqueidade após choque térmico	
Data da fabricação dos painéis	02/07/2012
Data da realização	09/11/2012
Hora de início	9h00min
Hora do término	16h00min
Após 4 horas de ensaio	A amostra não apresentou nenhum vazamento, infiltração ou mancha de umidade na face interna do painel
Após 7 horas de ensaio	A amostra não apresentou nenhum vazamento, infiltração ou mancha de umidade na face interna do painel

Fonte: O Autor

Os resultados obtidos indicaram que o sistema construtivo Olé Casas atendem aos critérios estabelecidos quando a ação da água de chuva pela norma ABNT NBR 15575-4:2013 satisfazendo o nível de desempenho “S”.

6.5.2. Estanqueidade à água na interface painel-esquadria

6.5.2.1. Características do ensaio

A estanqueidade à água na interface painel-esquadria foi avaliada através do teste de estanqueidade com o posicionamento da câmara sobre uma esquadria inferior ao seu tamanho abrangendo assim todo o perímetro da esquadria e, portanto a interface

em questão. Os procedimentos de ensaio utilizados foram idênticos ao da estanqueidade nas ligações entre painéis, com a diferença de que essa região não foi submetida a ação do calor e choque térmico. A Figura 175 a seguir mostra o esquema de montagem para a realização desse ensaio.

Figura 175 – Esquema de ensaio de estanqueidade para avaliação da interface painel-esquadria



Fonte: O Autor

6.5.2.2. Resultados

Os resultados obtidos após a realização desse ensaio estão listados nos quadros a seguir.

Quadro 15 – Resultados do 1º ciclo do ensaio de estanqueidade na interface painel-esquadria

1º ciclo de estanqueidade na interface painel-esquadria	
Data da fabricação dos painéis	02/07/2012
Data da realização	26/09/2012
Hora de início	7h00min
Hora do término	14h00min

1º ciclo de estanqueidade na interface painel-esquadria	
Após 4 horas de ensaio	A amostra não apresentou nenhum vazamento, infiltração ou mancha de umidade na face interna do painel
Após 7 horas de ensaio	A amostra não apresentou nenhum vazamento, infiltração ou mancha de umidade na face interna do painel

Fonte: O Autor

Quadro 16 – Resultados do 2º ciclo do ensaio de estanqueidade na interface painel-esquadria

2º ciclo de estanqueidade na interface painel-esquadria	
Data da fabricação dos painéis	02/07/2012
Data da realização	27/09/2012
Hora de início	7h20min
Hora do término	14h20min
Após 4 horas de ensaio	A amostra não apresentou nenhum vazamento, infiltração ou mancha de umidade na face interna do painel
Após 7 horas de ensaio	A amostra não apresentou nenhum vazamento, infiltração ou mancha de umidade na face interna do painel

Fonte: O Autor

Avaliando os resultados obtidos para o ensaio de estanqueidade na interface painel-esquadria, conclui-se que os painéis do sistema construtivo Olé Casas atendem ao requisito estanqueidade à água de chuva no conjunto painel-esquadria com nível de desempenho “S”.

6.6. Durabilidade

6.6.1. Ação do calor e choque térmico na junta entre painéis

6.6.1.1. Características do ensaio

Foi realizada a verificação da ação do calor e choque térmico para se avaliar o comportamento da junta entre painéis quando submetidos a essas solicitações. O ensaio consistiu na aplicação de 10 ciclos sucessivos de calor proveniente de um painel radiante constituído por lâmpadas incandescentes (84 x 60 Watts) e resfriamento por meio de jatos d'água. A elevação da temperatura foi executada até $80 \pm 3^{\circ}\text{C}$ e mantida por período de uma hora. Imediatamente após a suspensão do calor, realizou-se o resfriamento da superfície por meio da água até uma temperatura de $20 \pm 3^{\circ}\text{C}$ conforme estabelece a ABNT NBR 15575-4:2013. A verificação da temperatura é realizada através do posicionamento, conforme norma, de cinco termopares conectados a leitores digitais portáteis. O ensaio de ação de calor e choque térmico foi realizado na mesma região do protótipo que recebeu previamente os dois primeiros ciclos do ensaio de estanqueidade à água. A imagem a seguir mostra o esquema de ensaio realizado.

Figura 176 – Esquema de ensaio de ação de calor e choque térmico



Fonte: O Autor

Como a ligação avaliada é constituída por três painéis, conforme mostrado na planta baixa do protótipo, não possível a instalação de medidores de deslocamento

para observação durante a realização desse ensaio, sendo, portanto avaliado o comportamento da junta entre painéis quando submetidos a ação do calor e choque térmico.

6.6.1.2. Resultados

Os resultados obtidos da realização desse ensaio estão apresentados a seguir.

Quadro 17 – Resultados obtidos após a realização do ensaio de ação de calor e choque térmico

Ação do calor e choque térmico (junta entre painéis)	
Data da fabricação dos painéis	02/07/2012
Data da realização	06/11/2012 a 07/11/2012
Quantidade de ciclos em 06/11/2012	5 ciclos
Quantidade de ciclos em 07/11/2012	5 ciclos
Após 5 ciclos	A amostra não apresentou ocorrência de nenhuma fissura, trincas ou deteriorações (lado interno e externo)
Após 10 ciclos	A amostra não apresentou ocorrência de nenhuma fissura, trincas ou deteriorações (lado interno e externo)

Fonte: O Autor

Desta maneira, observa-se que os painéis do sistema construtivo Olé Casas atende ao critério estabelecido na ABNT NBR 15575-4:2013, quanto a ação de calor e choque térmico, sendo portanto aprovado quanto a este requisito.

6.6.2. Ação do calor e choque térmico na junta entre painéis e pilar pré-moldado

6.6.2.1. Características do ensaio

A interface entre painel e pilar pré-moldado foi avaliada quanto a ação de calor e choque térmico com metodologia semelhante a anteriormente apresentada. A imagem a seguir apresenta o esquema de ensaio realizado para esta avaliação.

Figura 177 – Esquema de ensaio de ação de calor e choque térmico na ligação pilar-painel



Fonte: O Autor

6.6.2.2. Resultados

Os resultados obtidos estão apresentados no quadro a seguir.

Quadro 18 – Resultados obtidos do ensaio de ação de calor e choque térmico na ligação pilar-painel

Ação do calor e choque térmico (pilar-painel)	
Data da fabricação dos painéis	02/07/2012
Data da realização	08/11/2012 a 09/11/2012
Quantidade de ciclos em	5 ciclos

Ação do calor e choque térmico (pilar-painel)	
08/11/2012	
Quantidade de ciclos em	5 ciclos
09/11/2012	
Após 5 ciclos	A amostra não apresentou ocorrência de nenhuma fissura, trincas ou deteriorações (lado interno e externo)
Após 10 ciclos	A amostra não apresentou ocorrência de nenhuma fissura, trincas ou deteriorações (lado interno e externo)

Fonte: O Autor

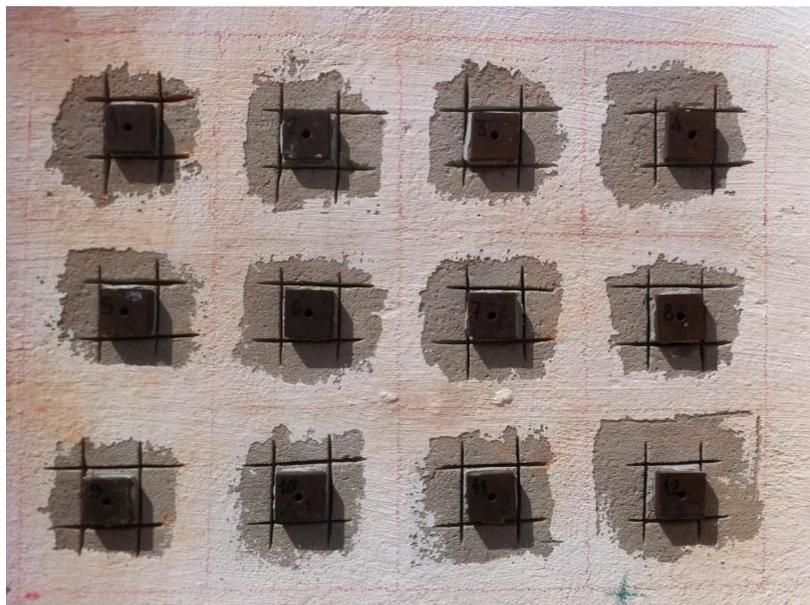
Observa-se com os resultados obtidos que a ligação dos painéis do sistema Olé Casas com os pilares pré-moldados também atendem aos critérios estabelecidos na ABNT NBR 15575-4:2013.

6.6.3. Arrancamento de revestimento

6.6.3.1. Características do ensaio

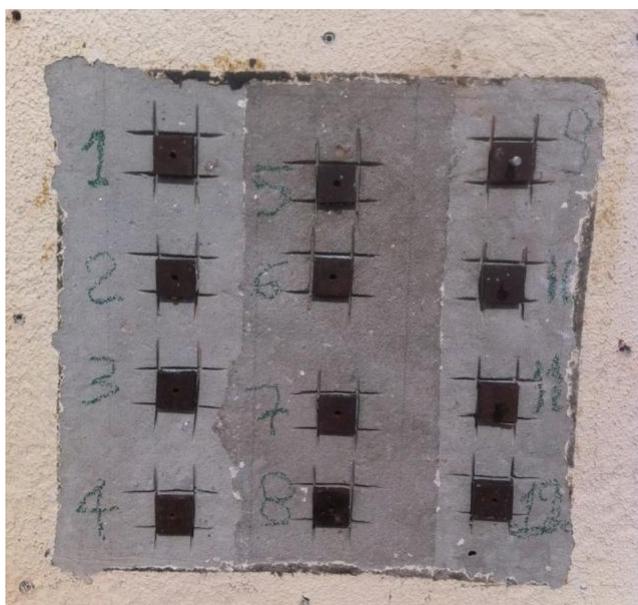
Foi realizado ensaio de arrancamento de revestimento conforme estabelecido na ABNT NBR 13528:2010 em duas regiões da unidade protótipo localizada no NUTEC. O primeiro teste de arrancamento foi realizado em um painel que não sofreu a ação dos ensaios de envelhecimento acelerado tais como estanqueidade à água, ação do calor e choque térmico. Este painel está indicado na planta baixa do protótipo, sendo a sua denominação P8 e a face de realização do ensaio o lado da argamassa. O segundo teste de arrancamento foi realizado na região que sofreu envelhecimento acelerado com atuação da estanqueidade, ação do calor e choque térmico. O local de realização desse ensaio foi na região da junta entre painéis, também indicado na planta baixa do protótipo. As imagens a seguir mostram essas duas regiões na unidade habitacional de teste e os corpos de prova preparados para a realização do ensaio.

Figura 178 – Ensaio de arrancamento do revestimento em região do protótipo sem envelhecimento acelerado



Fonte: O Autor

Figura 179 – Ensaio de arrancamento do revestimento em região do protótipo com envelhecimento acelerado



Fonte: O Autor

Para a realização desses ensaios foram consideradas as condições de temperatura igual a 30°C e a idade do revestimento superior a 28 dias. O substrato dos painéis era constituído por blocos cerâmicos e para a fixação das placas metálicas para arrancamento do revestimento foi utilizada cola epóxi bicomponente.

6.6.3.2. Resultados

Os resultados obtidos para esses ensaios realizados estão apresentados a seguir. Nas tabelas a seguir, a coluna indicativas de “Bloco” e “Junta” indicam o local em que a pastilha foi colada, sendo o primeiro na superfície do bloco e o segundo na junta entre blocos. Em algumas situações as pastilhas foram coladas parte sobre o bloco e parte sobre a junta.

Tabela 19 – Resultados do teste de arrancamento na região sem envelhecimento

Corpo de prova				Local do ensaio		Carga de ruptura (N)	Tensão de Ruptura (MPa)
Nº	c (mm)	l (mm)	Área (mm ²)	Bloco	Junta		
1	50,77	55,48	2816,72	X	X	550	0,20
2	56,91	59,45	3383,30	X	X	1010	0,30
3	58,3	56,98	3321,93	X		980	0,30
4	51,18	51,76	2649,08	X	X	540	0,20
5	56,05	57,65	3231,28	X		1660	0,51
6	58,46	60,05	3510,52	X		1600	0,46
7	54,87	59,09	3242,27	X		1110	0,34
8	55,5	56,14	3115,77	X	X	890	0,29
9	61,38	57,14	3507,25	X		820	0,23
10	61,17	58,73	3592,51	X		1550	0,43
11	58,65	59,35	3480,88	X		800	0,23
12	59,47	58,44	3475,43	X		820	0,24

Fonte: O Autor

A seguir são apresentados os tipos de rupturas observados para os corpos de prova arrancados da região sem envelhecimento.

Tabela 20 – Tipos de ruptura no teste de arrancamento sem envelhecimento

Corpo de prova				Forma de ruptura (%)					
Nº	c (mm)	l (mm)	Área (mm ²)	Sub.*	Sub/Arg.*	Arg.*	Arg.*/Cola	Cola	Cola/Pasta
1	50,77	55,48	2816,72			100			
2	56,91	59,45	3383,30			100			
3	58,3	56,98	3321,93		100				
4	51,18	51,76	2649,08			90	10		
5	56,05	57,65	3231,28		100				

Corpo de prova				Forma de ruptura (%)					
Nº	c (mm)	l (mm)	Área (mm ²)	Sub.*	Sub/Arg.*	Arg.*	Arg.*/Cola	Cola	Cola/Pasta
6	58,46	60,05	3510,52		100				
7	54,87	59,09	3242,27		100				
8	55,5	56,14	3115,77			100			
9	61,38	57,14	3507,25		100				
10	61,17	58,73	3592,51		90	10			
11	58,65	59,35	3480,88		100				
12	59,47	58,44	3475,43		100				

*Sub. = Substrato; Arg. = Argamassa. Fonte: O Autor

Tabela 21 – Resultados do teste de arrancamento na região com envelhecimento

Corpo de prova				Local do ensaio		Carga de ruptura (N)	Tensão Ruptura (MPa)
Nº	c (mm)	l (mm)	Área (mm ²)	Bloco	Junta		
1	48,94	48,45	2371,14	X	X	1145	0,48
2	47,33	46,35	2193,75	X	X	1116	0,51
3	50,69	47,71	2418,42	X	X	1143	0,47
4	49,53	48,09	2381,90	X	X	744	0,31
5	49,82	50	2491,00	X	X	1620	0,65
6	49,78	50,92	2534,80	X	X	1557	0,61
7	49,26	48,47	2387,63	X	X	998	0,42
8	47,36	48,41	2292,70	X	X	1700	0,74
9	50,82	49,9	2535,92	X	X	723	0,29
10	49,23	50,13	2467,90	X	X	895	0,36
11	47,09	48,36	2277,27	X	X	1340	0,59
12	49,76	51,62	2568,61	X	X	1874	0,73

Fonte: O Autor

Tabela 22 – Tipos de ruptura no teste de arrancamento com envelhecimento

Corpo de prova				Forma de ruptura (%)					
Nº	c (mm)	l (mm)	Área (mm ²)	Sub.*	Sub/Arg.*	Arg.*	Arg.*/Cola	Cola	Cola/Pasta
1	48,94	48,45	2371,14			100			
2	47,33	46,35	2193,75			100			
3	50,69	47,71	2418,42			100			
4	49,53	48,09	2381,90			100			
5	49,82	50	2491,00			100			

Corpo de prova				Forma de ruptura (%)					
Nº	c (mm)	l (mm)	Área (mm ²)	Sub.*	Sub/Arg.*	Arg.*	Arg.*/Cola	Cola	Cola/Pasta
6	49,78	50,92	2534,80		100				
7	49,26	48,47	2387,63		100				
8	47,36	48,41	2292,70		100				
9	50,82	49,9	2535,92			100			
10	49,23	50,13	2467,90			100			
11	47,09	48,36	2277,27			100			
12	49,76	51,62	2568,61		100				

*Sub. = Substrato; Arg. = Argamassa.

Fonte: O Autor

Como podem ser observados nas tabelas anteriores, os valores de resistência ao arrancamento são superiores aos mínimos estabelecidos por norma. Observa-se também que a região da junta entre painéis com ação do envelhecimento acelerado apresentou valores de tensão de ruptura (MPa) superiores aos valores da região sem envelhecimento. Em parte, tal fato pode ser explicado devido a composição da argamassa de preenchimento da junta, pois esta possui composição diferente das outras regiões do painel, sendo constituída por cimento e areia com aditivo adesivo acrílico e adicionada de fibras de polipropileno.

6.7. Desempenho térmico

O desempenho térmico foi avaliado por meio da análise do estudo elaborado pelo arquiteto Alexandre Gomes de Oliveira. O estudo realizou a verificação do atendimento do desempenho térmico do sistema construtivo Olé Casas aos critérios mínimos estabelecidos na ABNT NBR 15575 por meio do uso do método de avaliação simplificado.

A transmitância térmica (U) obtida pelo estudo para as paredes externas foi inferior ao critério normativo, sendo esses valores, respectivamente, 2,58 W/m²K e 3,70 W/m²K. Esse valor obtido possibilita a utilização do sistema construtivo nas zonas bioclimáticas Z3 a Z8, ficando as regiões Z1 e Z2 fora da zona de atuação do sistema.

A capacidade térmica (CT) do sistema também atendeu ao critério normativo, sendo o valor obtido pelo estudo de 140,2 kJ/m²K superior ao valor de

norma $130,0 \text{ kJ/m}^2\text{K}$. Essa condição possibilita a utilização do sistema construtivo nas zonas bioclimáticas Z1 a Z8.

O estudo finaliza concluindo que o sistema construtivo Olé Casas constituído por painéis pré-moldados em alvenaria com blocos cerâmicos e concreto armado, acoplado ao subsistema cobertura, pode ser utilizado nas zonas bioclimáticas Z3 a Z8 estabelecidas por norma, desde que sejam utilizadas cores claras na superfície das paredes externas.

6.8. Desempenho acústico

O desempenho acústico do sistema construtivo Olé Casas foi avaliado através do estudo realizado pelo Dr. Adeildo Cabral da Silva, o seu estudo de campo concluiu que os painéis do sistema atendem aos critérios mínimos estabelecidos pela ABNT NBR 15575-4. O ensaio de campo foi realizado considerando uma habitação localizada em área sujeita a situação de ruídos enquadrada na Classe II para as paredes de vedação externa. A parede de geminação entre as habitações também foi avaliada sendo determinada para essa a diferença padronizada de nível ponderado entre ambientes. A tabela a seguir apresentam os resultados obtidos para o estudo realizado.

Tabela 23 – Resultados obtidos para avaliação de desempenho acústico do sistema Olé Casas

Elemento	Valor mínimo estabelecido pela ABNT NBR 15575-4 (dB)	Resultado de ensaio (dB)
Parede entre unidades	45	45
Fachadas	25	35

Fonte: Relatório Técnico 2013 (Dr. Adeildo Cabral da Silva)

6.9. Resistência ao fogo

O ensaio de resistência ao fogo do painel do sistema construtivo Olé foi realizado no Laboratório de Segurança ao Fogo do Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT). Conforme dito anteriormente, o autor conduziu o processo de montagem do corpo de prova para a realização do ensaio. O corpo de prova ensaiado era constituído por dois painéis com largura de 1,30 m e altura de 2,60 m e um pilar pré-moldado do

sistema com 2,65 m de altura, sendo inserido dentro de um pórtico metálico conforme mostrado na imagem a seguir.

Figura 180 – Pórtico para posicionamento do corpo de prova do ensaio de resistência ao fogo no IPT



Fonte: O Autor

A montagem do corpo de prova iniciou pelo posicionamento do primeiro painel e em seguida pelo pilar pré-moldado, sendo os mesmos fixados temporariamente pela sua extremidade superior ao pórtico.

Figura 181 – Posicionamento do primeiro painel do pilar pré-moldado no pórtico



Fonte: O Autor

Em seguida, o segundo painel foi posicionado e as laterais preenchidas com blocos cerâmicos e uma cobertura de manta de lã de cerâmica refratária. O pórtico foi

então levado com o corpo de prova montado para a câmara de ação do fogo. Após a moldagem do corpo de prova, o mesmo permaneceu em cura por 3 (três) dias até a realização do ensaio.

Figura 182 – Corpo de prova montado aguardando cura para a realização do teste de resistência ao fogo



Fonte: O Autor

O ensaio foi realizado conforme a ABNT NBR 5628:2001 e apresentou resultado os seguintes resultados:

- a) corpo de prova se manteve estanque durante os 30 minutos de ensaio;
- b) o isolamento térmico na face não exposta a ação do fogo foi garantido não sendo observadas temperaturas superiores a 140 °C na média ou 180 °C em qualquer ponto;
- c) a integridade do corpo de prova foi garantida e o mesmo se manteve estável durante o período de realização do ensaio, sendo também submetido a ação de carga de compressão simples após a realização do ensaio e manteve-se estável.

Com esses resultados, conclui-se que os painéis do sistema construtivo Olé Casas atende ao critério estabelecido na Diretriz SINAT Nº 002 quanto à resistência ao fogo.

7. PROPOSIÇÃO DE SISTEMA PARA EDIFICAÇÃO TÉRREA MAIS UM PAVIMENTO

7.1. Introdução

A verificação realizada no Capítulo 6 deste trabalho propiciou a validação necessária e atendimento às exigências da Diretriz SINAT N° 002 para o sistema construtivo Olé Casas gerando subsídios iniciais para a edificação sobrado. Desta maneira, o presente capítulo tem como objetivo apresentar um modelo de edificação do tipo térrea mais um pavimento detalhando os seus principais subsistemas constituintes.

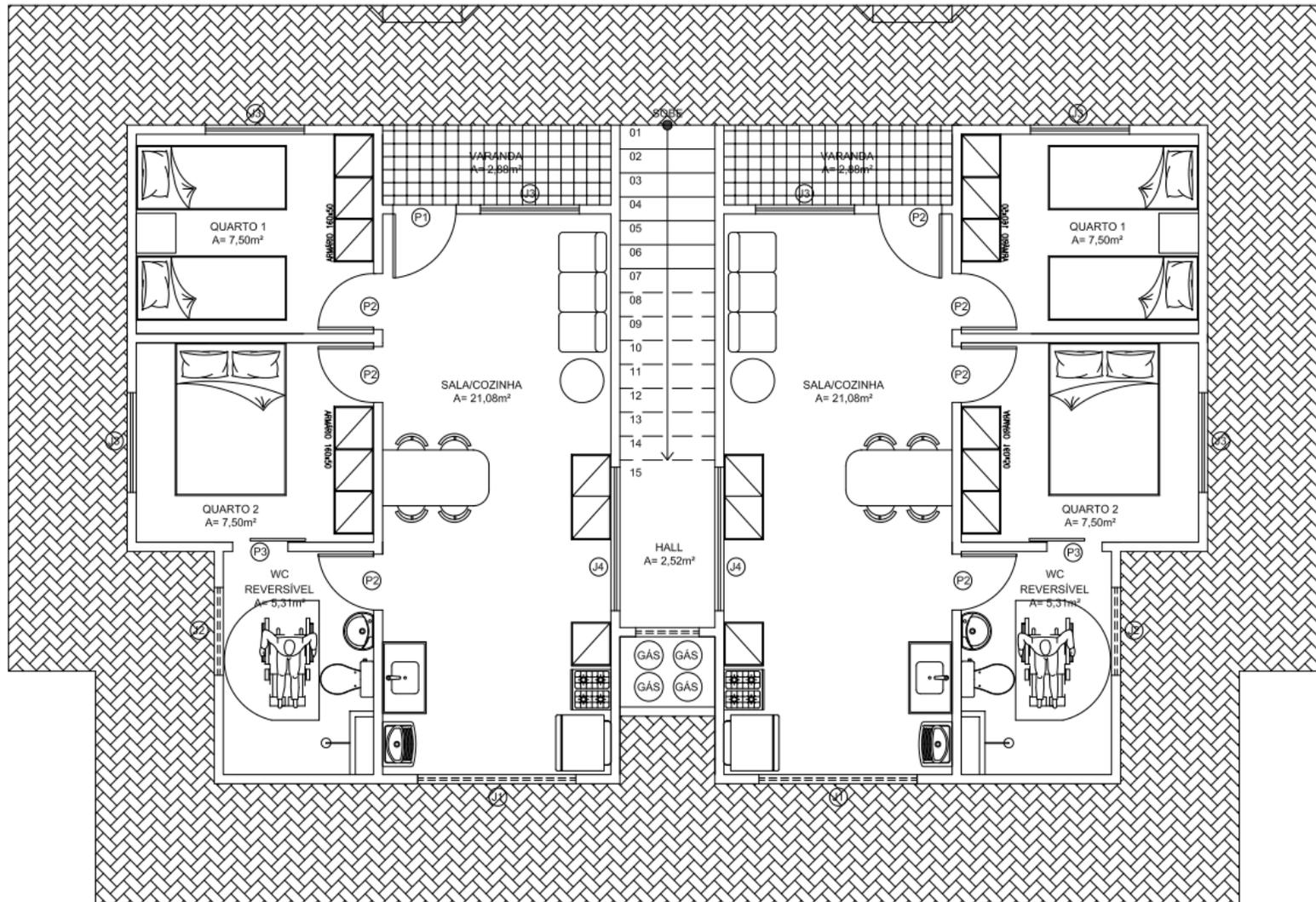
7.2. Planta Baixa e Painéis

A planta baixa proposta para esta edificação encontra-se apresentada a seguir e a sua elaboração seguiu diretrizes de projeto idênticas às utilizadas para o desenvolvimento do projeto térreo executado pela detentora da tecnologia no município de Chorozinho no estado do Ceará. Essas diretrizes atendem aos requisitos básicos tais como quantidade de abertura, percentual de abertura em relação a área de piso (área de abertura superior a 1/6 da área de piso para quartos e cozinha e 1/8 para banheiros), além de seguir também recomendações técnicas da detentora da tecnologia no que diz respeito ao tamanho e características dos painéis a serem empregados na edificação.

A seguir algumas diretrizes indicadas pela Olé Casas e que foram seguidas para a elaboração do projeto térreo mais um pavimento:

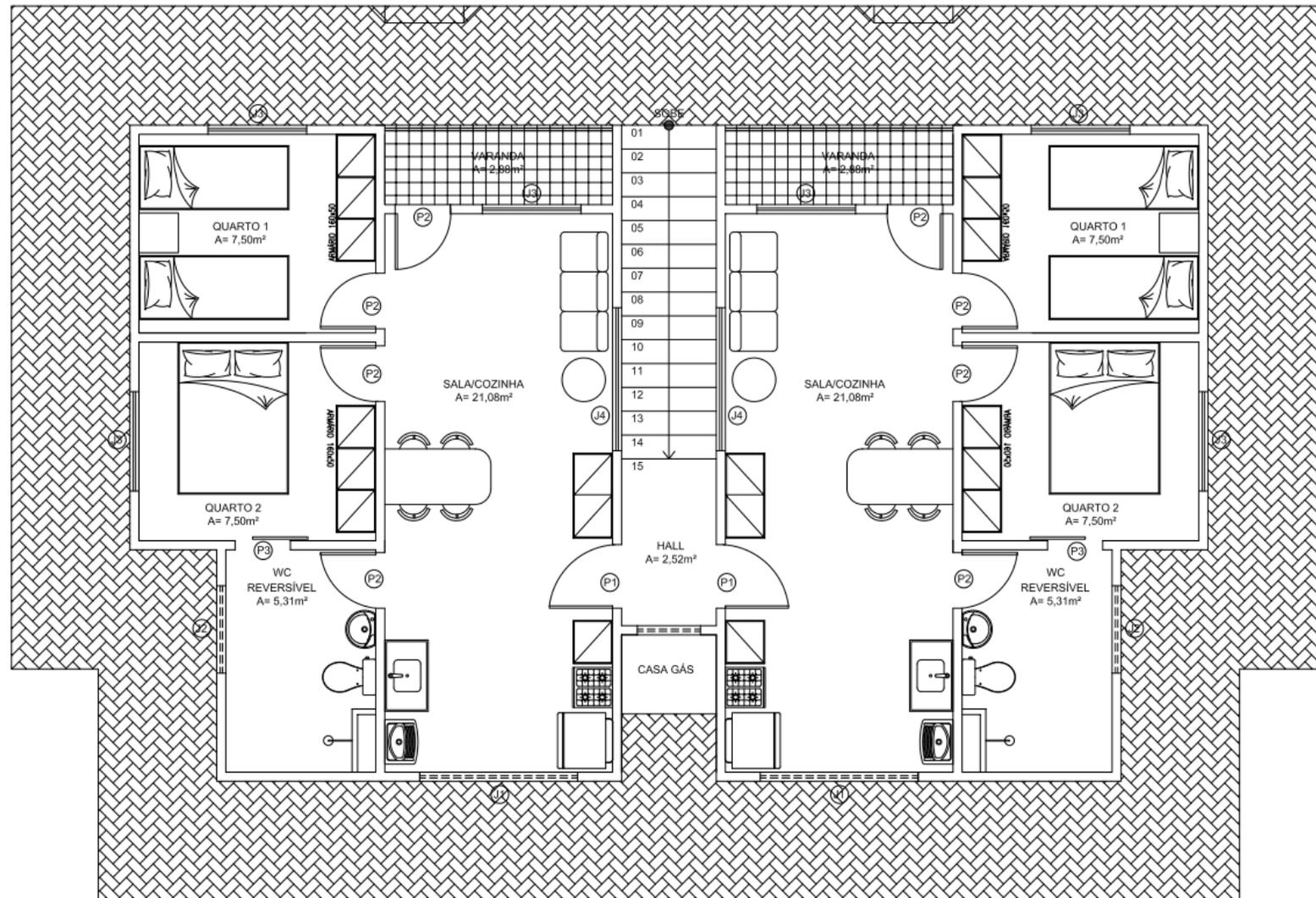
- a) comprimento máximo dos painéis pré-fabricados: 6,00 m;
- b) altura máxima dos painéis pré-fabricados: 4,00 m;
- c) evitar o uso de pilares pré-moldados;
- d) painéis com muitas aberturas (porta e janela posicionados próximos) devem ser evitados. Número máximo de painéis permitidos por unidade habitacional com essas características: 1 (uma) unidade;
- e) utilizar ao máximo as ligações de encontro entre os painéis do tipo “topo” evitando as ligações que produzem rebaixo para posterior preenchimento e acabamento com argamassa;
- f) instalações hidráulicas devem ser concentradas em um único painel;
- g) otimizar projeto para menor quantidade de painéis possíveis.

Figura 183 – Planta baixa do pavimento térreo da edificação proposta



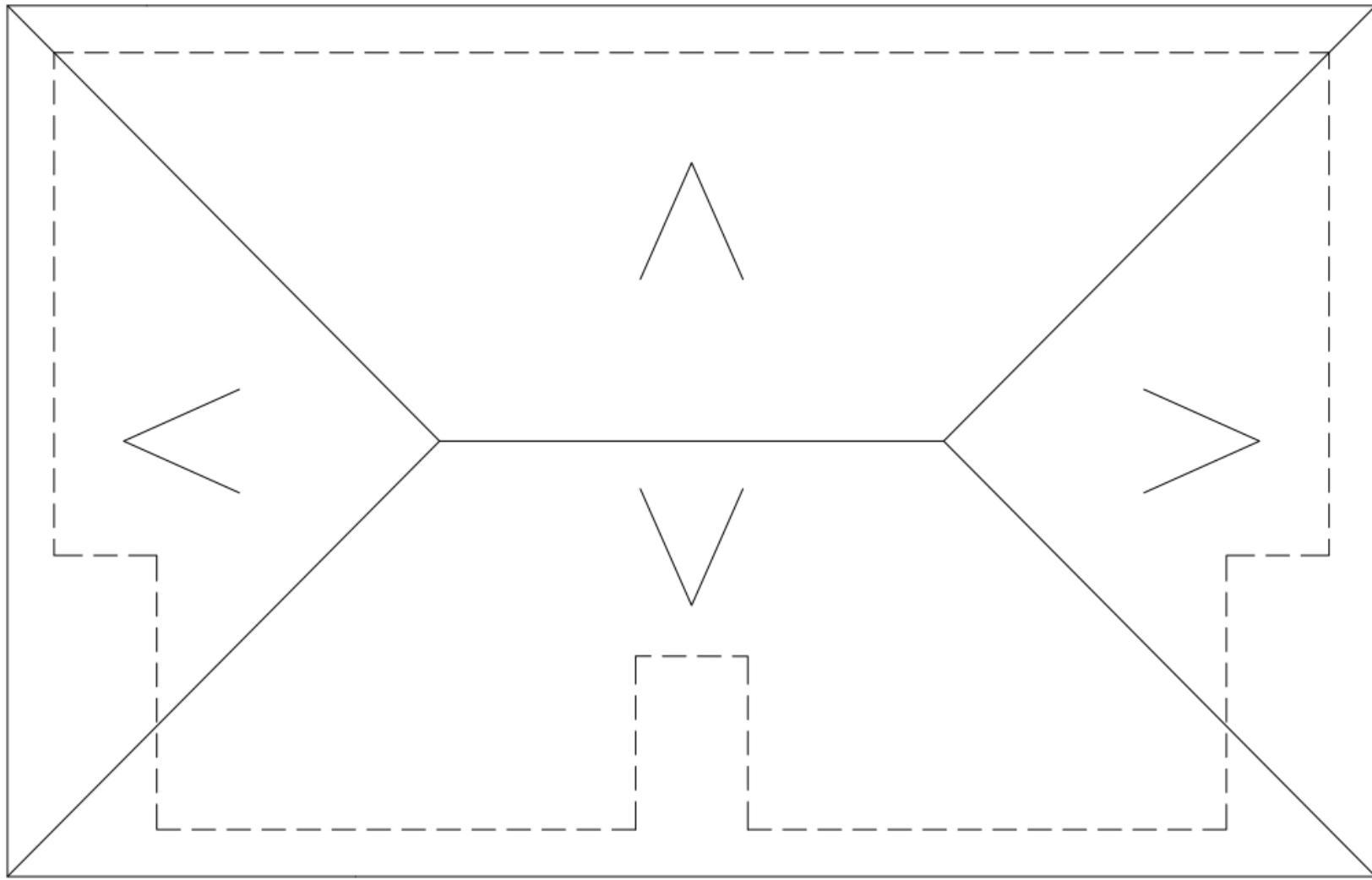
1 PLANTA PAV. TÉRREO
ESCALA

Figura 184 – Planta baixa do pavimento superior da edificação proposta



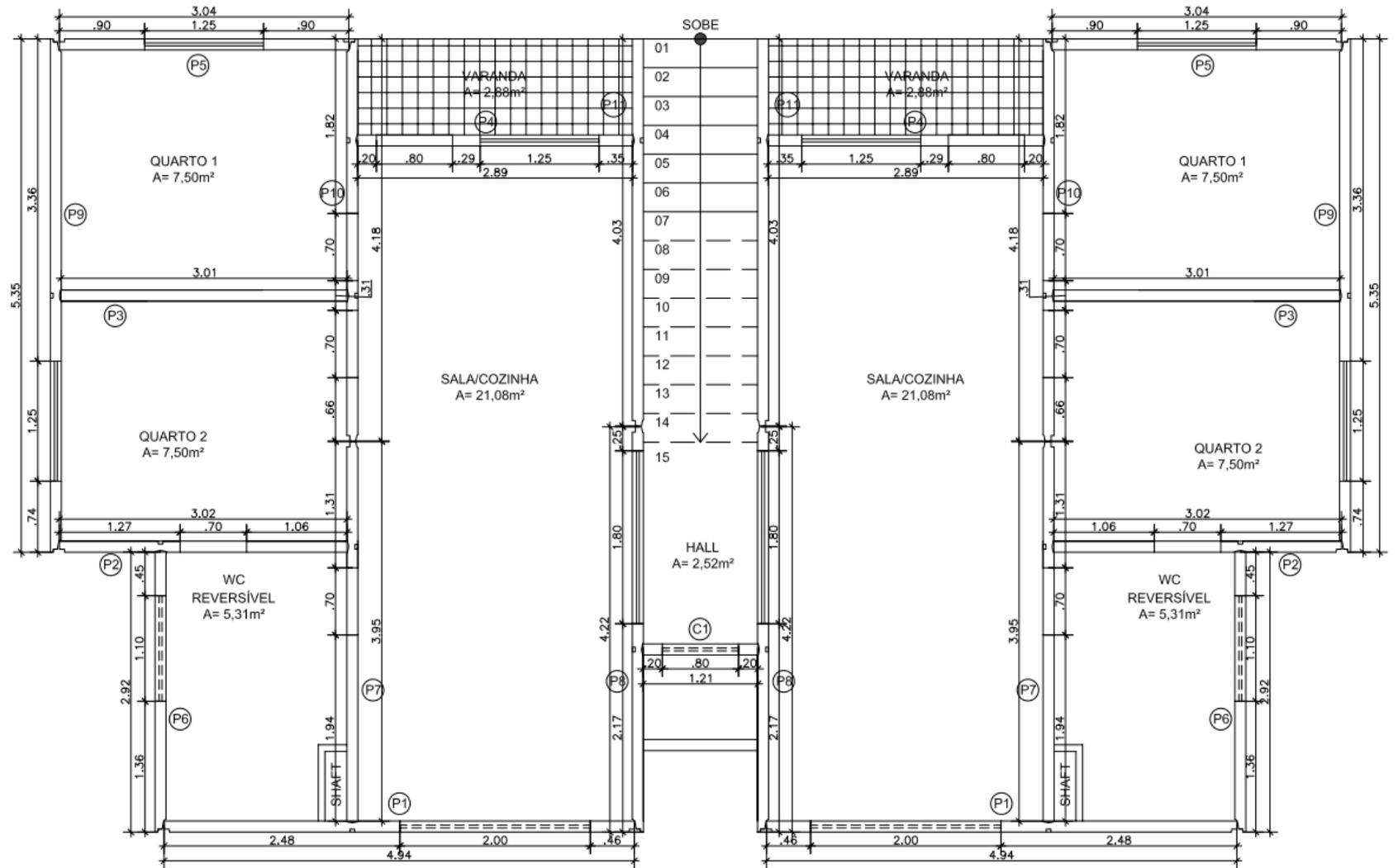
2 PLANTA PAV. SUPERIOR
ESCALA

Figura 185 – Planta de cobertura da edificação proposta



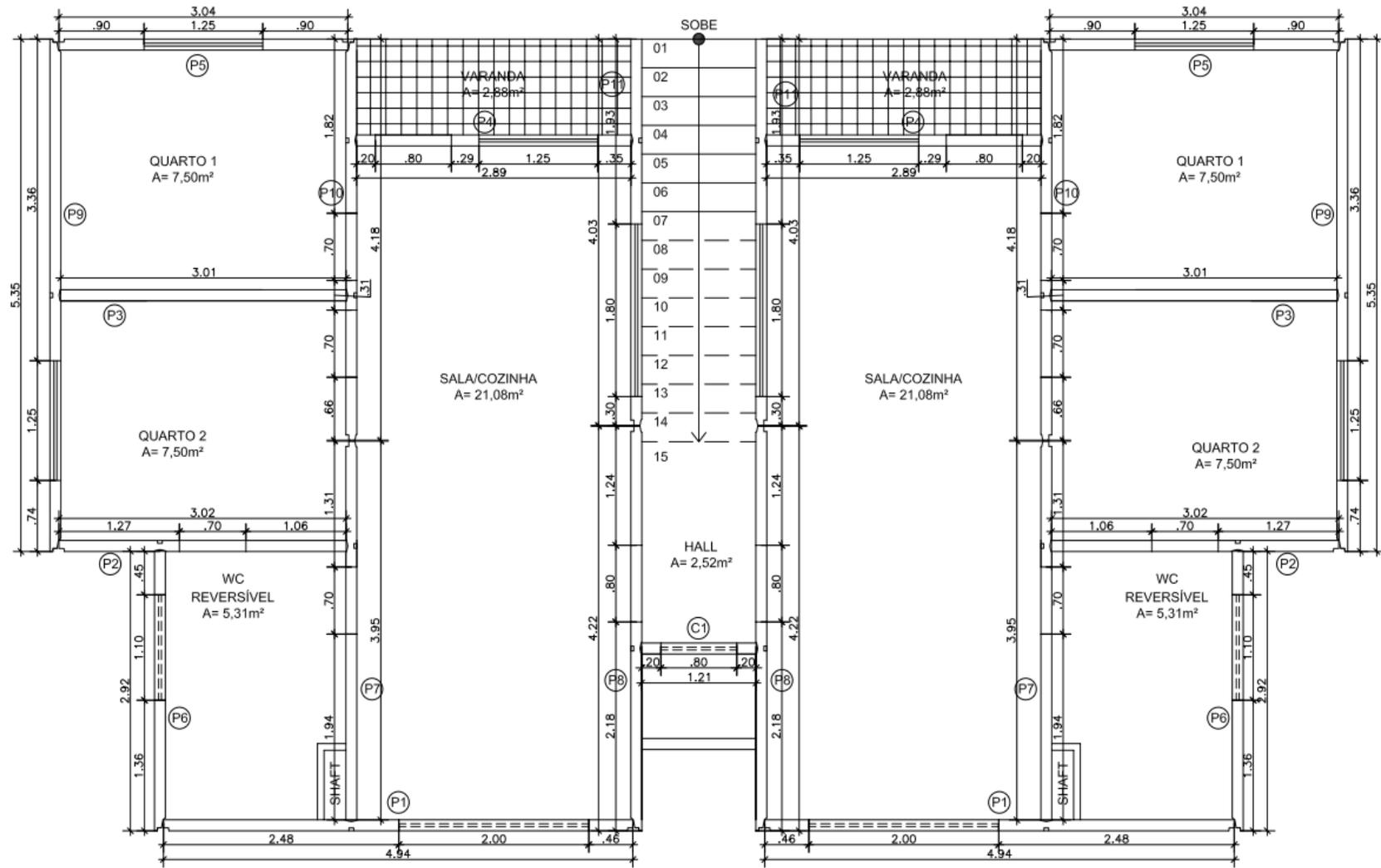
3 PLANTA COBERTA
ESCALA

Figura 186 – Planta baixa do pavimento térreo da edificação proposta com adaptação ao sistema Olé Casas



4 PLANTA PAV. TÉRREO
ESCALA

Figura 187 – Planta baixa do pavimento superior da edificação proposta com adaptação ao sistema Olé Casas



5 PLANTA PAV. SUPERIOR
ESCALA

Fonte: O Autor

A edificação proposta, como indicado nas plantas baixa, possui 11 (onze) painéis por unidade habitacional e ao todo 44 painéis para a conformação do edifício. Os painéis estão numerados em cada uma das unidades pela letra “P” e o número correspondente, variando de P1 até P11. O comprimento dos painéis também está indicado pelas cotas, assim também como a largura das aberturas correspondentes aos vãos de janelas e portas.

A unidade em questão é constituída por uma sala, cozinha e área de serviço integradas com 21,08 m² de área, um quarto com acesso ao banheiro (Quarto 2) com 7,50 m², um banheiro com 5,31 m², um quarto (Quarto 1) com 7,50 m² e uma varanda com 2,88 m². A área total da unidade habitacional é, portanto igual a 44,27 m². A área comum da edificação é composta por uma escada localizada na região central entre o conjunto de duas unidades (térrea e superior) e um hall de acesso às habitações do pavimento superior com 2,52 m².

Em relação ao protótipo construído para a realização deste trabalho, a unidade proposta, possui 4 (quatro) painéis a menos por unidade habitacional e área útil superior otimizando assim o processo de montagem da edificação.

A parede hidráulica do projeto proposto é a parede P7, a qual contém as instalações hidráulicas que atendem a cozinha e área de serviço por um lado e pelo outro lado alimenta o banheiro. Próximo a parede P7, pelo lado do banheiro, existe um shaft previsto para a descida das colunas sanitárias e hidráulicas, sendo este fechado posteriormente com o uso de divisórias leves resistente a ação da água montadas no local.

O banheiro do pavimento inferior permite acesso a cadeirante desde que seja aumentada a abertura da porta de entrada conforme determina a norma de acessibilidade ABNT NBR 9050:2005. A área interna desse banheiro permite a manobra de giro do cadeirante estabelecido também na referida norma.

Não foram utilizados nesse projeto, pilares pré-moldados do sistema, sendo todas as ligações entre painéis constituídas por painéis adjacentes conectados por meio de ligações com solda elétrica. As ligações entre painéis são idênticas às utilizadas e apresentadas na planta do protótipo erguido dentro das instalações do NUTEC.

A cobertura da edificação possui quatro caimentos e é apoiada sobre as empenas dos painéis pré-fabricados posicionados no andar superior.

7.3. Lajes

O subsistema de laje de piso adotado para esta edificação é o de pré-lajes maciças fabricadas no canteiro. Essas pré-lajes depois fabricadas e curadas são posicionadas sobre os painéis do andar térreo e em seguida recebem uma armadura complementar, tubulações das instalações elétricas e uma camada complementar de concreto fluído.

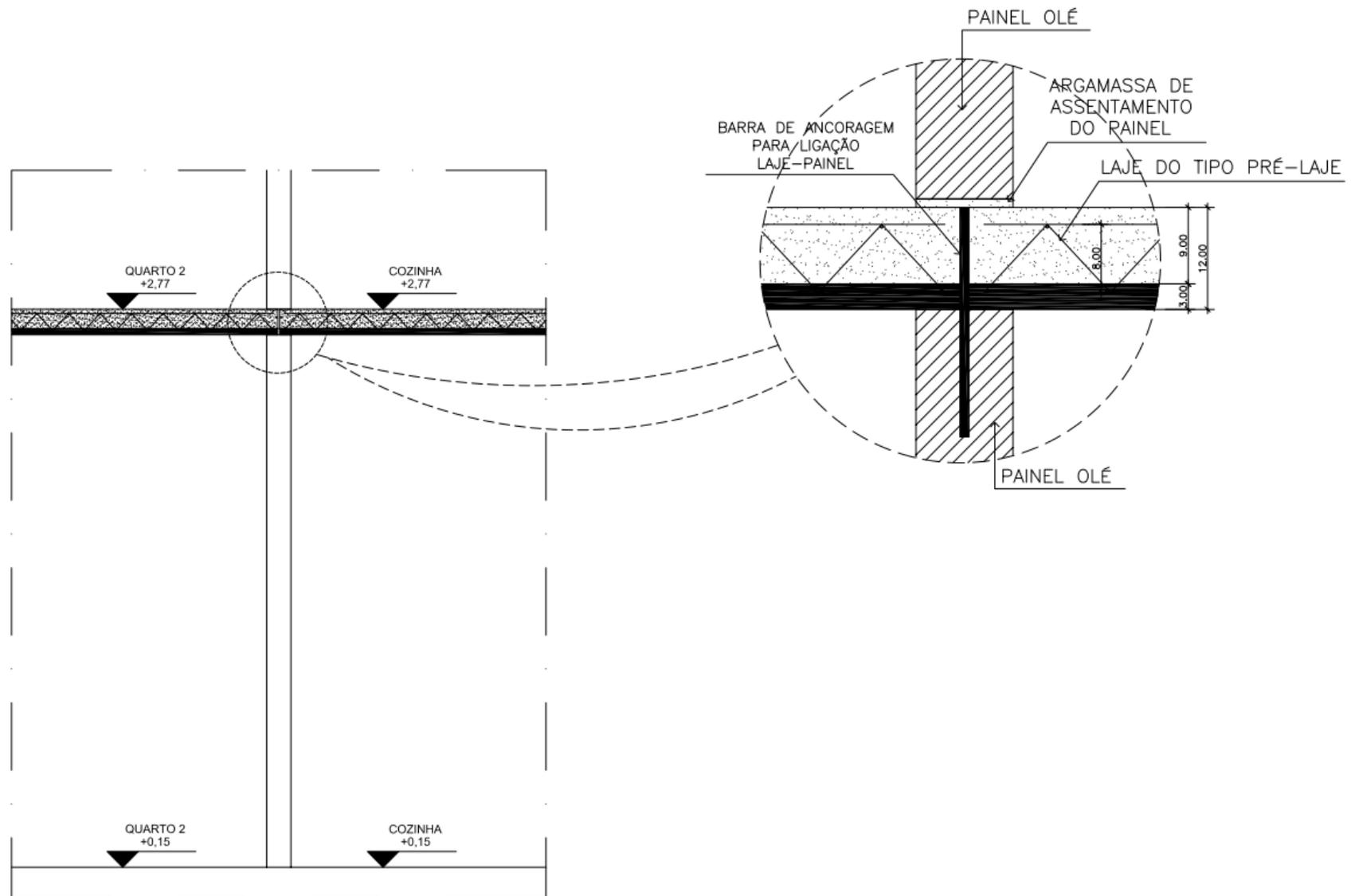
Essas depois de concretadas possuem espessura de 12 cm. A diferença de piso a piso da edificação é de 2,62 m, com altura dos painéis de 2,50 m. A pré-laje por ser fabricada em pista de concreto permite um acabamento inferior da placa que não necessita de revestimentos ou forros, podendo apenas ser realizada a pintura. As instalações elétricas embutidas na laje também permitem a não utilização de forros.

A conexão das lajes com os painéis do andar inferior é garantida por meio de barras metálicas de aço CA-50 e diâmetro 10 mm posicionadas nos painéis durante a moldagem dos mesmos. Essas barras de espera são ancoradas nas armaduras da laje e concretadas junto com a camada complementar da pré-laje. O posicionamento dessas barras é realizado nas regiões próximas as extremidades dos painéis e distribuídos ao logo do mesmo com espaçamento entre outra barra adjacente inferior a 1,5 m.

A ligação dos painéis superiores com a laje de piso é realizada por meio da aplicação de uma argamassa aditivada com impermeabilizante com espessura de 1 cm, conforme indicado no detalhe a seguir.

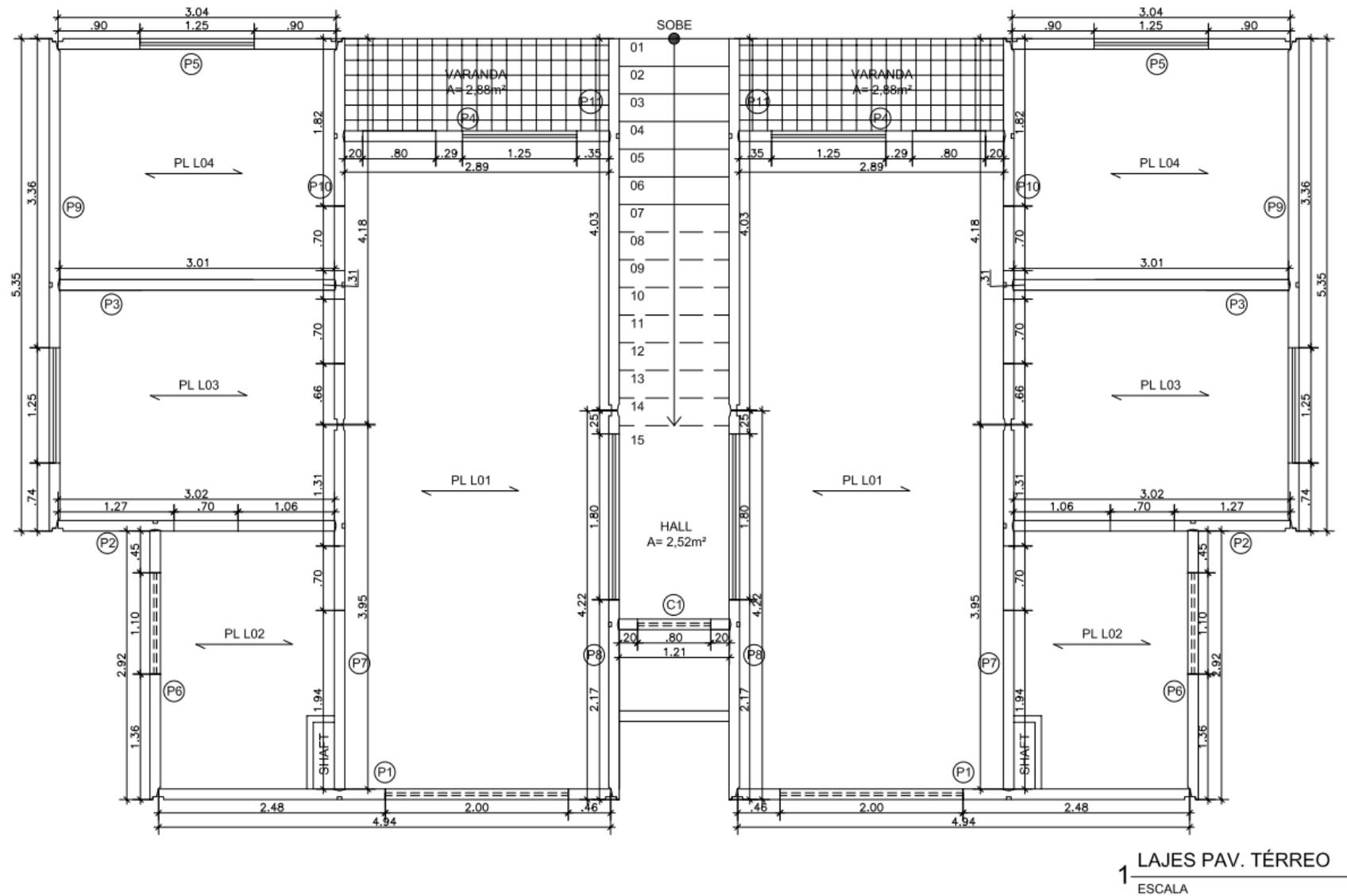
As pré-lajes são do tipo unidirecionais e apoiadas sempre na direção do menor vão otimizando assim a sua estrutura metálica interna. Cada unidade habitacional do pavimento térreo possui 4 (quatro) lajes principais de teto sendo completamente coberta por essas lajes. As unidades do pavimento superior possuem apenas uma faixa de laje com largura de 2,50 m na região da sala para posicionamento da caixa d'água de 2000 litros, sendo o forro da unidade constituído por régua de PVC.

Figura 188 – Detalhe da interface painel-laje proposta



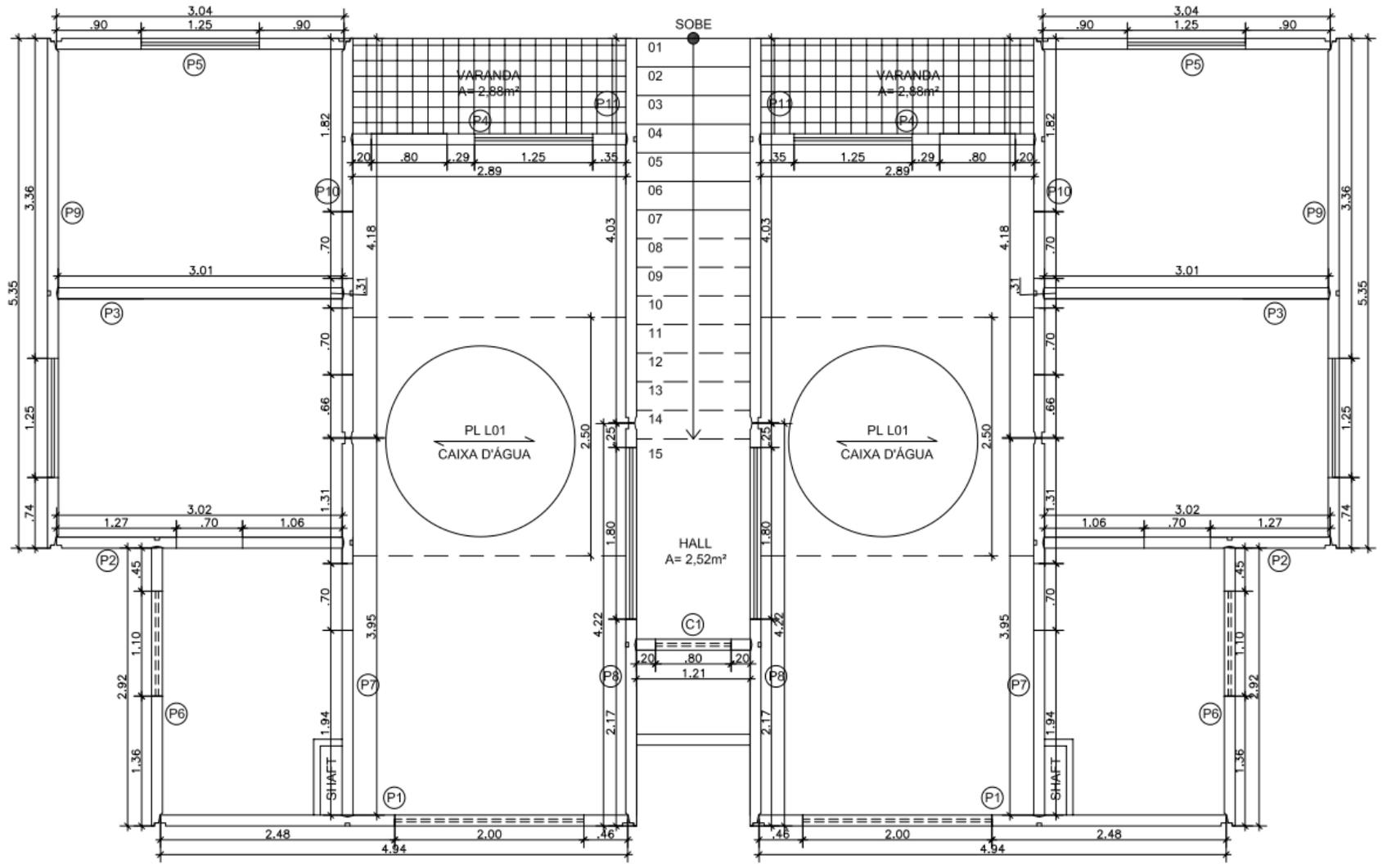
Fonte: O Autor

Figura 189 – Direcionamento das lajes no pavimento térreo da edificação proposta



Fonte: O Autor

Figura 190 – Direcionamento das lajes no pavimento superior da edificação proposta para posicionamento da caixa d'água



2 LAJES PAV. SUPERIOR
ESCALA

Fonte: O

Autor

7.4. Escada

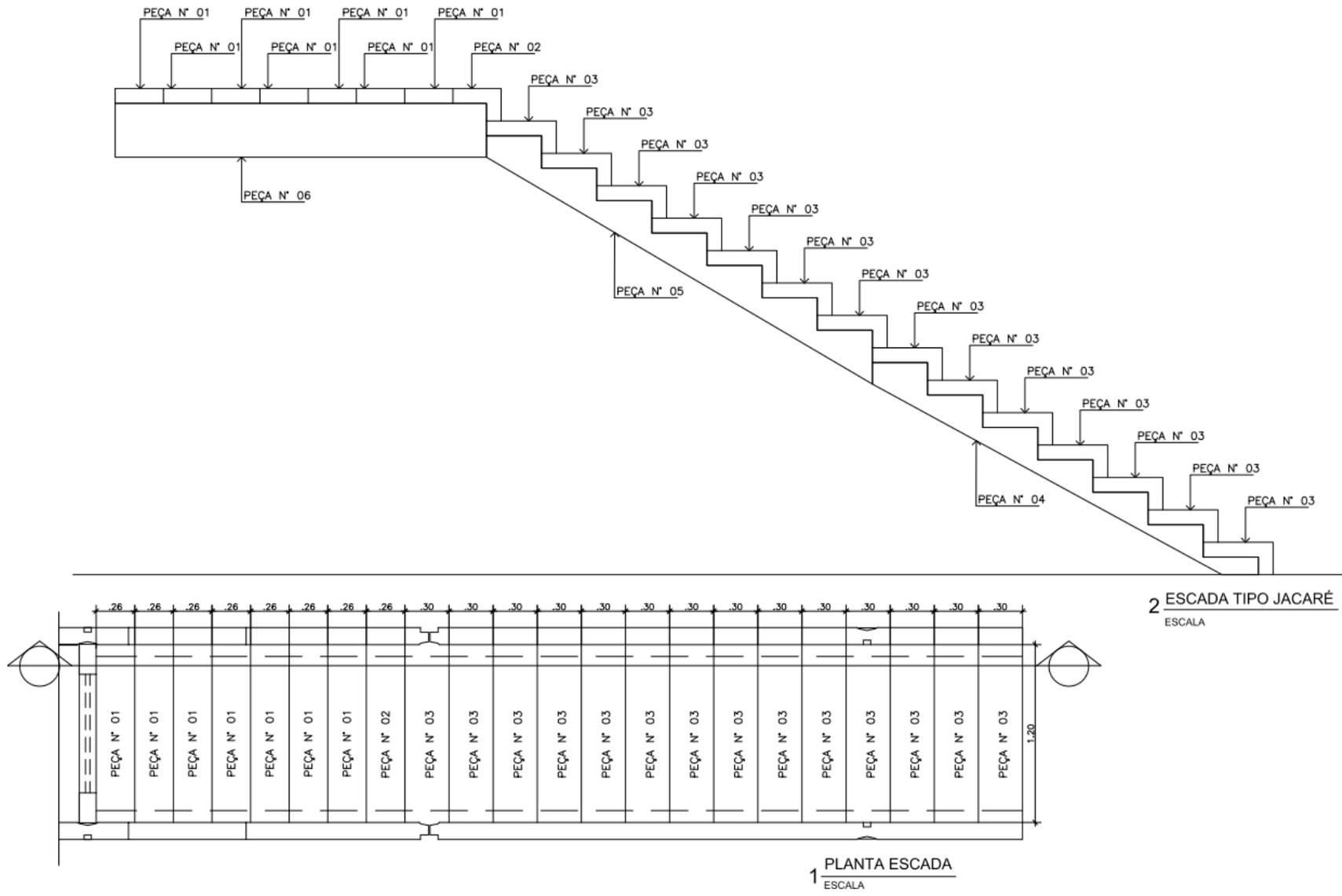
Para o modelo proposto foi adotada uma escada pré-fabricada do tipo jacaré com fabricação dentro do canteiro de obras por meio de formas metálicas. A escada é composta por elementos pré-moldados que conformam os degraus, vigas de sustentação dentadas e reta e patamar do hall. Os tamanhos desses componentes foram estipulados com base no peso dos mesmos de maneira que pudessem ser transportados e montados no local definitivo com uso apenas de mão de obra, não sendo necessário o uso de guindaste, gruas ou caminhões guidauto para a sua montagem.

A imagem a seguir mostra o detalhamento da escada pré-fabricada com a indicação de todas as peças constituintes da sua estrutura.

A escada é composta por 4 (quatro) vigas laterais que dão sustentação aos degraus também pré-fabricados. Para montagem do lance principal de degraus são necessários 14 degraus pré-fabricados comuns (Peça Nº 03) e 1 (um) degrau pré-fabricado de acesso a laje do hall (Peça Nº 02). O patamar também é constituído por 7 (sete) faixas de concreto armado pré-fabricado (Peça Nº 01) apoiadas sobre 2 (duas) vigas fixadas ao painel (Peça Nº 06).

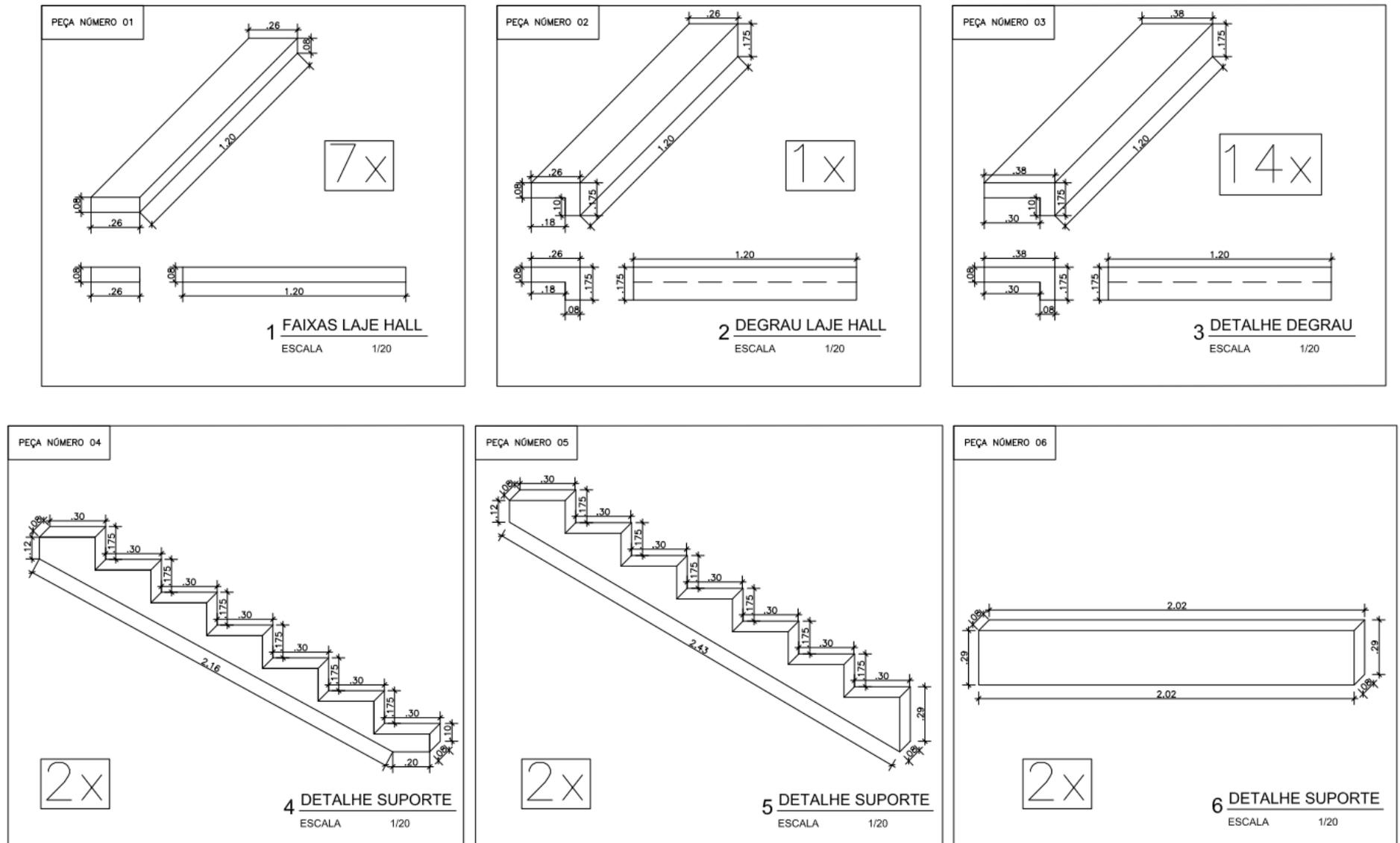
A fixação dessas vigas de sustentação dos degraus e patamar pré-fabricados é realizada por meio de chumbadores denominados parobolt. Esses fixadores são inseridos em furos deixados nas vigas de sustentação durante a sua moldagem. Para a inserção dos parabolts na estrutura do painel, são realizados furos por meio da utilização de broca rotativa.

Figura 191 – Escada pré-fabricada do tipo jacaré para a edificação proposta



Fonte: O Autor

Figura 192 – Componentes da escada pré-fabricada proposta para a edificação



Fonte: O Autor

7.5. Coberta

A cobertura proposta para essa edificação é composta por estrutura metálica leve e telha térmica também leve do tipo sanduíche conforme apresentada no Capítulo 3 deste trabalho. Desta maneira, foram escolhidas as tecnologias construtivas Telhado Metálico (subitem 3.4.1 do Capítulo 3) para a estrutura da cobertura e Telha Térmica TermoHouse (subitem 3.4.2 do Capítulo 3) para a telha da edificação proposta. A integração dessas duas tecnologias construtivas compõe um subsistema cobertura com fácil processo de montagem e leveza sobre a estrutura portante da edificação.

7.6. Demais subsistemas

Os demais subsistemas adotados são os mesmos observados para as edificações executadas com o sistema Casas Olé. Os revestimentos nas áreas molhadas são compostos por placas cerâmicas e impermeabilização com emulsão asfáltica. O forro da unidade habitacional do pavimento superior possui régua de PVC com instalações elétricas situadas sobre esse. As instalações sanitárias são externas ao painel e cobertas com coberturas plásticas de encaixe de fácil acesso caso seja necessário a realização de eventuais manutenções. A pintura interna e externa é realizada com textura acrílica, podendo receber também na pintura interna tinta látex com emassamento PVA. As esquadrias são metálicas de alumínio com vidro de 4 mm de espessura para o caso das janelas e em madeira para o caso das portas, podendo a porta de acesso a unidade habitacional ser também em alumínio com vidro. O piso é revestido com placas cerâmicas assentadas com argamassa colante tipo AC II e juntas entre placas preenchidas com rejunte industrializado.

8. VERIFICAÇÃO DE CAPACIDADE ESTRUTURAL DO SISTEMA OLÉ PARA EDIFICAÇÃO TÉRREO MAIS UM PAVIMENTO

A edificação proposta no capítulo anterior desse trabalho foi avaliada pelo autor quanto a sua capacidade estrutural de suportar as cargas atuantes sendo consideradas as condições impostas para o modelo quanto aos seus subsistemas. O intuito desse capítulo é validar através de análises quantitativas a utilização do sistema construtivo Olé para unidades do tipo térreo mais um pavimento.

O procedimento de cálculo utilizado consistiu inicialmente na identificação das cargas atuantes sobre o sistema com base na descrição apresentada no capítulo anterior. Desta maneira, foram identificadas as seguintes cargas sobre a edificação:

- a) Peso da telha de cobertura;
- b) Peso da coberta com estrutura metálica;
- c) Peso dos painéis do pavimento superior;
- d) Peso das lajes maciças;
- e) Peso da caixa d'água;
- f) Forros;
- g) Sobrecarga atuante.

A verificação aqui realizada considerou a região com maior atuação de carga na edificação, ou seja, os painéis auto-portantes próximos à região da caixa d'água do prédio. O procedimento de cálculo realizado buscou a obtenção do valor de carga atuante majorada em kN/m para a devida comparação com o valor de resistência última obtido no capítulo 6 deste trabalho ($R_{ud} = 119,0$ kN/m).

O peso das telhas foi obtido com base nas especificações técnicas do fabricante Danica para o seu produto Telha Térmica TermoHouse. Igualmente processo foi realizado para o cálculo do peso da coberta do fabricante Telhado Metálico.

Os painéis Olé Casas tiveram o peso calculado a partir de uma planilha eletrônica elaborada pelo autor conforme mostra a imagem a seguir. Esta planilha desenvolvida calcula a massa dos painéis do sistema Olé em função de algumas variáveis de entrada, sendo elas: área total do painel, área de aberturas, quantidade de aberturas, quantidade de blocos cerâmicos e ferragens utilizadas. Com a entrada dessas

informações nos campos destacados em amarelo, a planilha retorna o valor da massa do painel em quilogramas conforme mostrado no campo destacado em azul.

Figura 193 – Planilha eletrônica para o cálculo da massa dos painéis do sistema construtivo Olé Casas

SISTEMA CONSTRUTIVO OLÉ					
PESO DOS PAINÉIS					
CARACTERÍSTICAS DO PAINEL					
PAINEL	P02	PESO	1388,89 kg		
DIMENSÕES:					
ÁREA TOTAL			7,8179	m ²	
ÁREA ABERTURAS			1,44	m ²	
ÁREA LÍQUIDA			6,3779	m ²	
ESPESSURA			0,115	m	
VOLUME			0,7334585	m ³	
QUANTIDADE DE ABRTURAS (JANELA)			1	und	
QUANTIDADE DE ABRTURAS (PORTA)			0	und	
BLOCOS CERÂMICOS					8,81%
Dimensões bloco	dim1	dim2	dim3	volume (m ³)	
	0,07	0,19	0,19	0,002527	
Peso 1 bloco (7x19x19)cm				peso (kg)	
				1,8	
Peso específico (kg/m ³)				peso (kg/m ³)	
				712,31	
Qntd de blocos				68	
Volume dos blocos				0,172	
Peso dos blocos				122,40	
FERRAGENS					1,04%
<u>Ferros:</u>					
Descrição	Qntd	Comp.	Comp. Total	Peso/m	Peso total
Ferro 4.2	3	1	3	0,109	0,327
Ferro 4.2	8	1	8	0,109	0,872
Ferro 6.3				0,245	0
Ferro 10.0	2	1,8	3,6	0,617	2,2212
Ferro 10.0	3	0,4	1,2	0,617	0,7404
TOTAL F					4,1606
<u>Telas:</u>					
Descrição		Area	Peso/m ²	Peso total	
Tela Q61		6,16	0,97	5,9752	
TOTAL TL					5,9752
<u>Cantoneiras:</u>					
Descrição	Qntd	Comp.	Comp. Total	Peso/m	Peso total
C. 1"x1"3/16'	3	0,1	0,3	1,73	0,519
TOTAL C					0,519
<u>Treliça:</u>					
Descrição	Qntd	Comp.	Comp. Total	Peso/m	Peso total
TG8L	3	1,7	5,1	0,735	3,7485
TG8L	0	0	0	0,735	0
TG8L	0	0	0	0,735	0
TG8L	0	0	0	0,735	0
TOTAL TR					3,7485
PESO FERRAGENS					14,4033
Peso específico do aço (kg/m ³)				7850	
Volume de aço na peça (m ³)				0,00183482	
ARGAMASSA					55,71%
Peso específico da argamassa (kg/m ³)				2100	
Volume de argamassa				0,368	
Peso da argamassa				773,75	
CONCRETO					34,44%
Peso específico do concreto (kg/m ³)				2500	
Volume de concreto				0,191	
Peso do concreto				478,34	

Fonte: O Autor

Essa planilha eletrônica foi utilizada calculando-se o peso máximo possível para os painéis do sistema Olé Casas, ou seja, considerando uma parede sem vãos, altura igual a 3,80 m e largura de 3,0 m. Com esse valor de massa, obteve-se então uma taxa linear de massa por metro de painel do sistema para a pior situação passível de ocorrência.

O peso das lajes foi calculado seguindo as recomendações da ABNT NBR 6120:2000 utilizando o peso específico do concreto armado igual a 25 kN/m³. As mesmas recomendações dadas pela referida norma foram utilizadas para a consideração dos valores de peso dos forros, sobrecarga, piso cerâmico e argamassa atuantes na edificação.

A tabela a seguir apresenta os valores e o memorial de cálculo realizado para a obtenção das cargas atuantes por área (kN/m²) sobre a edificação proposta.

Tabela 24 – Memorial de cálculo das cargas atuantes sobre edificação proposta

Item	Carga	Unidade	Valor	Memorial de Cálculo
1	Telha			
1.1	Massa da telha	kg/m ²	9,00	A
1.2	Peso da telha	kN/m ²	0,09	A*0,01 = B
2	Estrutura coberta			
2.1	Peso da estrutura	kN/m ²	0,10	C
3	Painéis			
3.1	Massa dos painéis Olé	kg/m	618,10	D
3.2	Peso dos painéis Olé	kN/m	6,18	D*0,01 = E
4	Lajes			
4.1	Concreto armado	kN/m ³	25,00	F
4.2	Espessura da laje	m	0,12	G
4.3	Peso da laje por área	kN/m ²	3,00	F*G = H
5	Caixa d'água e laje de apoio			
5.1	Peso da caixa d'água	kN	20,00	I
5.2	Área da laje de apoio	m ²	7,30	J

Item	Carga	Unidade	Valor	Memorial de Cálculo
5.3	Peso da caixa por área	kN/m ²	2,74	I / J = K
5.4	Peso da laje por área	kN/m ²	3,00	H
5.5	Peso resultante	kN/m ²	5,74	K + H = L
6	Sobrecarga			
6.1	Peso por área conforme NBR 6120	kN/m ²	2,00	M
7	Forros			
7.1	Peso por área conforme NBR 6120	kN/m ²	0,50	N
8	Revestimentos de piso			
8.1	Lajotas cerâmicas	kN/m ³	18	O
8.2	Espessura do piso	m	0,01	P
8.3	Peso por área das lajotas	kN/m ²	0,18	O*P = Q
8.4	Argamassa de assentamento do revestimento	kN/m ³	19	R
8.5	Espessura da argamassa	m	0,01	S
8.6	Peso por área de argamassa	kN/m ²	0,19	R*S = T
8.7	Peso revestimentos	kN/m ²	0,37	Q + T = U

Fonte: O Autor

A partir dessas cargas por área, calcularam-se as cargas distribuídas ao longo do comprimento dos painéis tendo como modelo estrutural a distribuição de cargas para os componentes biapoiados, ou seja, lajes unidirecionais. O vão considerado em questão, região sobre a caixa d'água, possui comprimento de 3,12 m e, portanto uma faixa de 1,56 m distribui a carga para os painéis imediatamente inferiores. A tabela a seguir apresenta o cálculo realizado para a obtenção do valor da carga atuante por metro linear de painel. As cargas foram classificadas em permanentes, indicadas pela letra “g”, e acidentais, indicadas pela letra “q”.

Tabela 25 – Memorial de cálculo das cargas atuantes sobre os painéis por metro linear

Item	Tipo de carregamento	Carga	Carga por área (kN/m ²)	Carga por comprimento (kN/m)	Memorial de Cálculo
1	g	Telha	0,09	0,14	B*1,56
2	g	Estrutura coberta	0,10	0,16	C*1,56
3	g	Painéis	-	6,18	E
4	g	Lajes	3,00	4,68	H*1,56
5	g	Caixa d'água e laje de apoio	5,74	8,95	L*1,56
6	q	Sobrecarga	2,00	3,12	M*1,56
7	g	Forros	0,50	0,78	N*1,56
8	g	Revestimentos	0,37	0,58	U*1,56
			TOTAL	24,59	

Fonte: O Autor

Conforme apresentado na tabela anterior, o valor da carga atuante sobre os painéis do sistema construtivo Olé Casas para a edificação proposta é igual a 24,59 kN/m. Para o cálculo da carga máxima atuante considera-se uma majoração superior a 40% desse valor obtido, ou seja, um coeficiente de majoração de 1,4. Desta maneira, obtém-se uma carga máxima atuante, S_d , de 34,42 kN/m. Conforme valor obtido no Capítulo 6 deste trabalho por meio de ensaios laboratoriais e utilização da equação estabelecida pela ABNT NBR 15575-2:2013, o valor da resistência última, R_{ud} , dos painéis do sistema construtivo Olé é igual a 119,0 kN/m. Desta maneira, conclui-se que $S_d < R_{ud}$, indicando que os painéis do sistema construtivo Olé Casas atendem ao requisito desempenho estrutural com avaliação no estado limite último.

O estado limite de serviço para esse modelo proposto também é atendido conforme estabelece o normativo, pois de acordo com valor obtido no Capítulo 6, o valor da resistência de serviços dos painéis do sistema construtivo Olé Casas, R_{sd} , é igual a 43,4 kN/m, sendo esse valor superior ao valor obtido através do cálculo das cargas, S_k , para o modelo proposto e igual a 24,59 kN/m.

A tabela a seguir resume os valores obtidos para a verificação dos estados limites para o modelo proposto de edificação térreo mais um pavimento.

Tabela 26 – Resumo de verificações obtidas para o modelo térreo mais um pavimento proposto

Estado limite	Solicitações do modelo proposto (kN/m)	Resistências do sistema construtivo (kN/m)	Critério atendido
Serviço (ELS)	$S_k = 24,59$	$R_{sd} = 43,4$	$S_k < R_{sd}$
Último (ELU)	$S_d = 34,42$	$R_{ud} = 119,0$	$S_d < R_{ud}$

Fonte: O Autor

9. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O sistema construtivo Olé Casas, objeto de estudo desse trabalho, foi avaliado quanto ao seu desempenho, tendo sido avaliado quanto aos seguintes aspectos:

- a) caracterização dos materiais componentes;
- b) caracterização dos componentes;
- c) resistência a compressão excêntrica do painel;
- d) resistência a impacto de corpo mole;
- e) resistência a impacto de corpo duro;
- f) resistência a cargas verticais concentradas ou cargas suspensas;
- g) resistência a ações transmitidas por impacto nas portas;
- h) resistência a cargas de “rede de dormir”;
- i) estanqueidade à água de chuva nas ligações entre painéis (antes e após ação do calor e choque térmico);
- j) estanqueidade à água de chuva na interface painel-esquadria;
- k) desempenho térmico;
- l) desempenho acústico;
- m) ação de calor e choque térmico nas ligações entre painéis;
- n) ação de calor e choque térmico nas ligações entre painéis e pilares pré-moldados;
- o) estudo comparativo entre resistência de arrancamento do revestimento em regiões com e sem envelhecimento acelerado; e
- p) segurança ao fogo.

Em todos esses requisitos avaliados durante esse trabalho por meio de ensaios de laboratório e de campo, o sistema construtivo Olé Casas atendeu as exigências estabelecidas na Diretriz SINAT Nº 002, Revisão 01. Concluiu-se, portanto a partir dos resultados obtidos, a validade do sistema construtivo em questão, tornando-o propenso a ser utilizado no desenvolvimento de uma edificação do tipo térreo mais um pavimento, principalmente, devido à capacidade estrutural obtida durante o ensaio de compressão excêntrica sobre os painéis autoportantes do sistema.

Após a validação dos itens acima mencionados, propôs-se um modelo de edificação térrea mais um pavimento seguindo as diretrizes de projeto de arquitetura utilizadas para a elaboração de projetos da detentora da tecnologia.

O modelo proposto foi avaliado, principalmente, quanto à capacidade de suporte dos painéis sob as condições das cargas atuantes. Observou-se que essas cargas atuantes majoradas atingiram apenas 29% da capacidade estrutural dos painéis, conforme resistência do painel obtida durante o ensaio de compressão excêntrica e utilização da equação proposta pelo Anexo A da norma ABNT NBR 15575-2:2013. Desta maneira, conclui-se que o sistema construtivo Olé Casas produz painéis de estrutura mista de concreto e blocos cerâmicos capazes de atender as solicitações das edificações do tipo térreo mais um pavimento tal como o modelo proposto por este trabalho, sendo os demais requisitos atendidos e avaliados durante o Capítulo 6 desse trabalho.

Esse estudo possibilita conhecimentos para pesquisas futuras relativas ao emprego dos painéis do sistema Olé Casas em estruturas que exijam esforços e solicitações superiores aos observados na edificação do tipo térreo e tipo térreo mais um pavimento, podendo se citar como exemplo edificações de múltiplos pavimentos compostas por painéis autoportante do sistema.

REFERÊNCIAS

ABIKO, Alex Kenya, CARDOSO; CARDOSO, Adauto Lúcio. **Procedimento de Gestão Habitacional para População de Baixa Renda**. Coleção Habitare v.5. Porto Alegre, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5628**: componentes construtivos estruturais: determinação da resistência ao fogo. São Paulo, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5629**: execução de tirantes ancorados no terreno. São Paulo, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739**: concreto: ensaios de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. São Paulo, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118**: projeto de estrutura de concreto: procedimento. São Paulo, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6120**: cargas para o cálculo de estruturas e edificações. São Paulo, 2000.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6122**: projeto e execução de fundações. São Paulo, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6023**: informação e documentação: referências: elaboração. São Paulo, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7211**: agregados para concreto: especificação. São Paulo, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7358**: espuma rígida de poliuretano para fins de isolamento térmica: determinação das características de inflamabilidade. São Paulo, 1989.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8949**: paredes de alvenaria estrutural: ensaio à compressão simples: método de ensaio. São Paulo, 1985.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8953**: concreto para fins estruturais: classificação pela massa específica, por grupos de resistência e consistência. São Paulo, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9050**: acessibilidade à edificações, mobiliário, espaços e equipamentos urbanos. São Paulo, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9062**: projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado. São Paulo, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10636**: paredes divisórias sem função estrutural: determinação da resistência ao fogo: método de ensaio. São Paulo, 1989.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11578**: cimento Portland composto: especificação. São Paulo, 1991.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11682**: estabilidade de encostas. São Paulo, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12654**: controle tecnológico de materiais componentes do concreto: procedimento. São Paulo, 2000.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12655**: concreto de cimento Portland: preparo, controle e recebimento: procedimento. São Paulo, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13321**: membrana acrílica para impermeabilização. São Paulo, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13528**: revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas: determinação da resistência de aderência à tração. São Paulo, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14037**: diretrizes para elaboração de manuais de uso, operação e manutenção das edificações: requisitos para elaboração e apresentação dos conteúdos. São Paulo, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14860-1**: laje pré-fabricada: pré-laje: requisitos. Parte 1: lajes unidirecionais. São Paulo, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15200**: projeto de estruturas de concreto em situação de incêndio. São Paulo, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-3**: desempenho térmico de edificações parte 3: zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. São Paulo, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-1**: edificações habitacionais: desempenho: parte 1: requisitos gerais. São Paulo, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-2**: edificações habitacionais: desempenho: parte 2: requisitos para os sistemas estruturais. São Paulo, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-4**: edificações habitacionais: desempenho: parte 4: requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas. São Paulo, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-5**: edificações habitacionais: desempenho: parte 5: requisitos para os sistemas de coberturas. São Paulo, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15696**: fôrmas e escoramentos para estruturas de concreto: projeto, dimensionamento e procedimentos executivos. São Paulo, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15930-2**: portas de madeira para edificações parte 2: requisitos. São Paulo, 2011.

AZEVEDO, Sérgio de, ARAÚJO, Maria Bernadette. **Questões metodológicas sobre o “déficit habitacional”: o perigo das abordagens corporativas**. Cadernos Metrópole. São Paulo, 2007.

BARTH, Fernando, et al.. **Análise da modulação em projetos de habitação popular com vedações industrializadas**. Brasil - Florianópolis, SC. 2003. 1 arq. htm. In: I Congresso Brasileiro sobre Habitação Social – Ciência e Tecnologia Florianópolis, 27 a 29 de agosto 2003.

BROWN, S. et al. **Administração da produção de operações: um enfoque estratégico na manufatura e nos serviços**. 2ed. Rio de Janeiro: Editora Campus, 2006.

BRUMATTI, Dioni O. **Uso de pré-moldados: estudo e viabilidade**. Monografia. Universidade Federal de Minas Gerais. Vitória, 2008.

CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO. **Desempenho de Edificações Habitacionais: guia orientativo para atendimento à norma ABNT NBR 15575/2013**. Gadioli Cipolla Comunicação. Fortaleza, 2013.

CHIAVENATO, Idalberto. **Introdução à Teoria Geral Administração: uma visão abrangente da moderna administração das organizações**. Editora Elsevier. Rio de Janeiro, 2003.

DUARTE, Ronaldo Bastos. **Elementos de avaliação da industrialização na construção por sistemas no Rio Grande do Sul**. Dissertação de mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 1982.

FRANCO, L.S.. **Aplicação de diretrizes de racionalização construtiva para a evolução tecnológica dos processos construtivos em alvenaria estrutural não armada**. 319p. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade da São Paulo, São Paulo, 1992.

FRANSOZO, Hélder Luis. et. al. **Eficiência térmica de habitação de baixo custo estruturada em aço**. Artigo científico. Ouro Preto, 2005.

FREITAS, Antonio Carlos Lima Pedreira de. Construções industrializadas para edifícios habitacionais. Brasil - São Paulo, SP. 1988. p. 39-42. In: Encontro Nacional da Construção, 9º, São Paulo, 1988. Artigo técnico.

FORMOSO, Carlos Torres; BERR, Letícia Ramos. **Método para avaliação da qualidade de processos construtivos em empreendimentos habitacionais de interesse social.** Ambiente Construído. Porto Alegre, 2012.

FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO. **Déficit Habitacional no Brasil.** Brasil – Rio de Janeiro, 2011.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios 2008.** Brasil, 2008.

ISOESTE. **Sistemas de cobertura.** Manual técnico. Anápolis, 2013.

KALIL, Sílvia Maria Baptista. **Alvenaria estrutural.** Manual técnico. Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2005.

KONCZ, T.. **Manual de la construcción prefabricada.** 2.ed. Hermann Blume, 3v. Madrid, 1975.

MAMEDE, Fabiana Cristina. **Utilização de pré-moldados em edifícios de alvenaria estrutural.** Dissertação de mestrado. Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo. São Carlos, 2001.

MELO, Aluísio Braz, LIMA FILHO, Marçal Rosas Florentino. **Avaliação de desempenho estrutural de protótipo com paredes construídas em blocos EVA.** Artigo científico. Ambiente Construído. Porto Alegre, 2009.

MENDES, Gustavo. **Escada pré-moldada jacaré x concreto in-loco.** Artigo técnico. São Paulo, 2006.

MINISTÉRIO DAS CIDADES. **Diretrizes Para Avaliação Técnica de Produtos. Diretriz SINAT Nº 002.** Revisão 01. Brasília, 2012.

MINISTÉRIO DAS CIDADES. **Regimento Geral do Sistema Nacional de Avaliações Técnicas de produtos inovadores.** Brasília, 1998.

MINISTÉRIO DAS CIDADES. **Documento de Avaliação Técnica Nº 008.** Brasília, 2011.

MINISTÉRIO DAS CIDADES. **Documento de Avaliação Técnica Nº 009-A.** Brasília, 2012.

MINISTÉRIO DAS CIDADES. **Documento de Avaliação Técnica Nº 012.** Brasília, 2012.

MINISTÉRIO DAS CIDADES. **Documento de Avaliação Técnica Nº 013.** Brasília, 2012.

NARDIN, Juliana de. **Considerações sobre o atual déficit habitacional brasileiro.** Brasil - Maringá, PR. 2009. 11 p.. Encontro Tecnológico da Engenharia Civil e Arquitetura, VII, 2009, Maringá, Brasil.

ORDÓÑEZ, J.A.F., et al. **Pré-fabricación: teoría y práctica**. Barcelona, Editores Técnicos Asociados. 2v, 1974.

PARSEKIAN, Guilherme Aris, et. al. **Estado da arte do cálculo das lajes pré-fabricadas com vigotas de concreto**. 1º Encontro Nacional de Pesquisa-Projeto-Produção em Concreto Pré-Moldado. São Carlos, 2005.

RAMIRES, Julio Cesar de Lima. **O processo de verticalização das cidades brasileiras**. Universidade Federal de Uberlândia. Minas Gerais, 2000.

SABBATINI, Fernando Henrique. **Desenvolvimento de métodos, processos e sistemas construtivos – formulação e aplicação de uma metodologia**. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica da USP. São Paulo, 1989.

SEBBEN, Mariele Bernardo. **Treinamento de mão de obra e a rotatividade na construção civil**. XXVII Encontro Nacional de Engenharia de Produção. Foz do Iguaçu, 2007.

THOMAZ, Ercio. **Tecnologia, gerenciamento e qualidade na construção**. Editora Pini. São Paulo, 2001.

VALLE, Ivan Manoel Rezende do. **A pré-fabricação de dois sistemas de cobertura com madeira de florestas plantadas. Estudos de casos: os assentamentos rurais Pirituba II e Sepé Tiaraju**. Tese de doutorado. Universidade de São Paulo. São Carlos, 2011.