UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Nº 022

AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO ESTRUTURAL DOS SISTEMAS CONSTRUTIVOS DE SOLO-CIMENTO E CONCRETO CELULAR APLICADOS EM EDIFICAÇÕES DE CASAS POPULARES NO ESTADO DO AMAZONAS

RENATO ACRIZ MENEZES

FECIV

FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

Renato Acriz Menezes

AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO ESTRUTURAL DOS SISTEMAS CONSTRUTIVOS DE SOLO-CIMENTO E CONCRETO CELULAR APLICADOS EM EDIFICAÇÕES DE CASAS POPULARES NO ESTADO DO AMAZONAS

Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Federal de Uberlândia, como parte dos requisitos para a obtenção do título de **Mestre em Engenharia Civil**.

Orientador: Prof. Dr. Paulo César Primo Agostinho

Co-orientador: Prof. Dr. Nilton de Souza Campelo

Uberlândia, 25 de agosto de 2006.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

M543a Menezes, Renato Acriz, 1971-
Avaliação de desempenho estrutural dos sistemas construtivos de solo-cimento e concreto celular aplicados em edificações de casas populares no estado do Amazonas / Renato Acriz Menezes. - 2006.
171 f. : il.

Orientador: Paulo César Primo Agostinho.
Co-orientador: Nilton de Souza Campelo.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Uberlândia. Progra-
ma de Pós-Graduação em Engenharia Civil.

Inclui bibliografia.

1. Habitações - Construção - Amazônia - Teses. - Teses. I. Agostinho, Paulo César Primo. II. Campelo, Nilton de Souza. III. Universidade Fede-ral de Uberlândia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. IV. Título.

CDU: 69(811-928.8)

Elaborada pelo Sistema de Bibliotecas da UFU / Setor de Catalogação e Classificação

Dedico este trabalho em primeiro lugar a Deus por sua fidelidade e amor, à minha amada esposa e filha fontes da minha inspiração e aos meus pais e irmão por sempre me apoiarem.

In memoriam:

Dedico este trabalho com todo amor e carinho aos meus avós Jacob Acris e Florípedes Acris, que partiram, deixando enorme saudades dos belos momentos que compartilhamos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus que iniciou este projeto (mestrado) em minha vida e sempre me acompanhou em todos os momentos. Dou graças ao Senhor pela fé, que me motiva a acreditar que Jesus Cristo morreu na cruz por nossos pecados e ressuscitou para ser Salvador e Senhor nos dando a garantia de vida eterna.

À minha amada esposa e filha, providências de Deus, que sempre estiveram ao meu lado dando-me motivação e forças nos momentos difíceis, transmitindo sentimentos de amor que me fortaleceram cada vez mais. Elas foram fundamentais, sendo delas grande parte desta conquista.

A meus amados pais, por terem sempre me ensinado os valores importantes da vida, sendo uma referência de amor e união no lar, sempre me amando incondicionalmente.

A meus amados irmãos, verdadeiros amigos, sinceros e companheiros, participantes em todos os momentos de minha vida e que sempre vibraram com as minhas conquistas.

Ao Prof. Dr. Paulo César Primo Agostinho, por todos os seus atos como orientador e amigo, tendo dedicação e paciência, contribuindo bastante para a realização deste trabalho.

Ao Prof. Dr. Nilton de Souza Campelo, co-orientador e amigo, incentivador e participante dos ensaios realizados neste trabalho.

A todos os colegas do curso de Pós Graduação em Engenharia Civil, professores e funcionários da FECIV, por toda a amizade, respeito e colaboração que marcaram para sempre minha vida nesse período que passei distante de minha família.

À empresa Coencil Construções, pelos investimentos fornecidos a esta pesquisa, sem os quais não seria possível que se realizasse.

Menezes, R. A. Avaliação de desempenho estrutural dos sistemas construtivos de solo-cimento e concreto celular aplicados em edificações de casas populares no estado do Amazonas. 166 p. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal de Uberlândia, 2006.

RESUMO

A principal exigência do usuário com relação ao sistema construtivo é ter a garantia de que este é realmente seguro, ou seja, que venha realmente a atender aos requisitos de segurança estrutural. A avaliação de desempenho estrutural, é uma das formas para determinar se o sistema é realmente seguro; o ideal seria que todo e qualquer sistema construtivo, antes de ser lançado no mercado, fosse submetido às avaliações de desempenho levando em consideração as exigências dos usuários: segurança, habitabilidade e sustentabilidade; somente desta forma, se teria a garantia de que possíveis problemas apresentados durante a avaliação, não seriam repassados aos usuários, sendo corrigidos em sua etapa inicial. Neste trabalho, a avaliação de desempenho aconteceu de forma inversa, onde o sistema construtivo foi avaliado por meio de ensaios de campo depois das unidades habitacionais estarem concluídas. Os ensaios de campo realizados procuraram avaliar o desempenho estrutural das unidades habitacionais de solo-cimento e concreto celular através da verificação da resistência a impactos, cargas de ocupação, verificação do comportamento da folha (porta) submetida a manobras anormais e avaliação através dos critérios do estado limite de utilização. Desta forma, pôde-se avaliar o comportamento destas residências através da comparação entre os resultados obtidos nos ensaios de campo, e os critérios estabelecidos pelos Projetos de Normas nºs 02.136.01.001, 02.136.01.002 e 02.136.01.004 (ABNT, 2004) que apresentam os métodos para avaliar o desempenho de edifícios habitacionais, bem como verifica os sistemas construtivos que não atenderam aos critérios estabelecidos, indicando suas falhas, garantindo com isso a não ocorrência destas em construções futuras.

Palavras-chave: avaliação de desempenho, unidades habitacionais, sistema construtivo, solo-cimento, concreto celular.

Menezes, R. A. Evaluation of Structural Performance of the Constructive system soil-cement and Applied Cellular Concrete in the Construction of Residences in the State of Amazon. 166 pp. MSc Dissertation, College of Civil Engineering, Federal University de Uberlândia, 2006.

ABSTRACT

The main requirement of the user with regard to the constructive system is to have the guarantee of that this is really safe, that is, that it really comes to take care of to the requirements of structural security. The evaluation of structural performance, is one of the forms to determine if the system is really safe; the ideal would be that all and any constructive system, before being launched in the market, it was submitted to the performance evaluations leading in consideration the requirements of the users: security, habitability and support; only in such a way, if it would have the guarantee of that possible problems presented during the evaluation, they would not be repassed the users, being corrected in its initial stage. Therefore, in this work, the performance evaluation happened of inverse form, where the constructive system was evaluated by means of assays of field after the residences being concluded. The carried through assays of field had looked for to evaluate the structural performance of the residences of soil-cement and cellular concrete through the assays of verification of resistance the impacts, occupation loads, verification of the behavior of the leaf (door) submitted the abnormal maneuvers and evaluation through the criteria of the state has limited of use. In such a way, the behavior of these residences through the comparison could be evaluated enters the gotten results in the assays of field and the criteria established for the Projects of Norms of the ABNT n^{o}s 02.136.01.001, 02.136.01.002 e 02.136.01.004 (ABNT, 2004) 2004 that it evaluates the performance of residences, well as, to verify the constructive systems that had not taken care of to the established criteria, indicating its imperfections, guaranteeing with this not the occurrence of these in future constructions.

Keywords: Evaluation of performance, residences, constructive system, soil-cement, cellular concrete.

SÍMBOLOS, ABREVIATURAS E SIGLAS

SÍMBOLOS

Letras romanas

CP	Cimento Portland
d_{hi}	Deformação horizontal imediata
d_{hr}	Deformação horizontal residual
E	Energia de impacto
f_{ck}	Resistência característica à compressão
H	Altura da parede
h	Altura para energia de impacto
I	Nível intermediário
IP	Índice de Plasticidade
L	Vão teórico do componente estrutural
LL	Limite de liquidez
m	Massa
M	Nível mínimo
MF	Módulo de finura
n	Números de corpos-de-prova
P4	Parede nº 4
P6	Parede nº 6
P7	Parede nº 7
Po1	Porta nº 1
R	Reação vertical
s	Desvio padrão
S	Nível superior
Sd	Solicitação de cálculo
S_{gk}	Solicitação permanente característica
S_{qk}	Solicitação acidental característica
S_{wk}	Solicitação característica devida à ação do vento
S_{ek}	Solicitação característica devido às deformações imposta

Letras gregas

$?_g$	Coeficiente de majoração das ações permanentes
$?_q$	Coeficiente de majoração das ações acidentais
$?_w$	Coeficiente de majoração das ações de vento
$?_e$	Coeficiente de majoração das ações decorrentes das deformações
?	Profundidade das mossas

SIGLAS

ABCP	Associação Brasileira de Cimento Portland
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANTAC	Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído
BNH	Banco Nacional da Habitação
CSTB	Centre Scientifique et Technique du Bâtiment
ELS	Estado Limite de utilização
ELU	Estado Limite Último
IPT	Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo
NBR	Normas Brasileira
SUHAB	Superintendência de Habitação e Assuntos Fundiários do Estado do Amazonas
UFAM	Universidade Federal do Amazonas

Unidades de medidas

cm	Centímetro
GPa	Giga-Pascal
J	Joule
kg/m^3	Quilo-grama por metro cúbico
kN	Quilo-Newton
kg	Quilo-grama
l	Litro
l/m^3	Litro por metro cúbico
m	Metro
mm	Milímetro
mg/l	Miligrama por litro
m^3	Metro cúbico
MPa	Mega-Pascal
N	Newton

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 – Parede de solo-cimento rejuntada..... 05
Figura 1.2 – Parede de solo-cimento rebocada..... 05
Figura 1.3 – Parede em concreto celular armada..... 05
Figura 1.4 – Parede em concreto celular parcialmente armada..... 05
Figura 2.1 – Fluxograma de avaliação de desempenho..... 10
Figura 2.2 – Planta baixa de uma unidade habitacional padrão..... 15
Figura 2.3 – Esquema de mão-francesa para ensaios de peças suspensas..... 22
Figura 3.1 – Modelo de tijolos de solo-cimento..... 28
Figura 3.2 – Meio tijolo e canaleta de solo-cimento..... 28
Figura 3.3 – Casa de solo-cimento pronta para ser entregue a população..... 30
Figura 3.4 – Galpão industrial em tijolos de solo-cimento..... 31
Figura 3.5 – Material espumígeno..... 33
Figura 3.6 – Gerador de espuma..... 33
Figura 3.7 – Embalagens das fibras de polipropileno..... 34
Figura 3.8 – Unidade habitacional do Conjunto Cidade Nova 35
Figura 3.9 – Unidade habitacional do Conjunto Nova Cidade..... 36
Figura 4.1 – Detalhe da execução da locação..... 38
Figura 4.2 – Terreno com fundações locadas..... 38
Figura 4.3 – Vista geral da fundação em bloco de concreto estrutural..... 39
Figura 4.4 – Detalhe da amarração da armadura vertical na treliça da fundação..... 39
Figura 4.5 – Instalações hidro-sanitárias..... 40
Figura 4.6 – Detalhe da primeira fiada..... 40
Figura 4.7 – Planta baixa da casa de solo-cimento..... 40
Figura 4.8 – Assentamento dos tijolos de solo-cimento..... 41
Figura 4.9 – Conferindo o prumo da alvenaria de solo-cimento..... 41
Figura 4.10 – Amarração das paredes com grampo tipo U produzido com aço CA-60 bitola 4,2 mm..... 41
Figura 4.11 – Preenchimento dos furos dos tijolos com concreto..... 41
Figura 4.12 – Detalhe da concretagem da primeira cinta..... 42
Figura 4.13 - Assentamento das esquadrias..... 42
Figura 4.14 – Detalhe da estrutura metálica da cobertura em perfil C..... 44
Figura 4.15 – Cobertura das casas em duas águas..... 44
Figura 4.16 – Fundação de uma casa em concreto celular..... 45
Figura 4.17 – Detalhe das telas de aço e instalações elétricas nas paredes..... 45
Figura 4.18 – Detalhe das formas das casas de concreto celular..... 45
Figura 4.19 – Adição de fibras de polipropileno no caminhão betoneira..... 46
Figura 4.20 – Adição do material espumígeno e do super-fluidificante..... 46
Figura 4.21 – Irregularidades das paredes após a desforma..... 47
Figura 4.22 – Casas em concreto celular pronta para serem entregue à população..... 48
Figura 5.1 – Urbanismo do Conjunto João Paulo II..... 51
Figura 5.2 – Urbanismo N. Cidade..... 52
Figura 5.3 – Urbanismo do Conjunto Carlos Braga..... 52
Figura 5.4 – Urbanismo do Conjunto Cidadão V..... 53
Figura 5.5 – Urbanismo do Conjunto Cidadão VI..... 53
Figura 5.6 – Fissuras numa residência de solo-cimento rejuntada..... 56

Figura 5.7 – Fissuras e destacamento de tijolos numa residência de solo-cimento rejuntada..... 56
Figura 5.8– Fissura vedada numa residência de concreto celular parcialmente armada. 58
Figura 5.9 – Abertura numa residência de concreto celular parcialmente armada..... 58
Figura 5.10 – Representação do ensaio de impacto de corpo mole..... 58
Figura 5.11 – Ensaio de impacto de corpo mole (altura e energia de impacto)..... 59
Figura 5.12 – Colocação do paquímetro para registrar os deslocamentos..... 60
Figura 5.13 – Realização do ensaio de corpo mole..... 60
Figura 5.14 – Destacamento de tijolos – parede de solo-cimento rejuntada..... 62
Figura 5.15 – Fissuras na parede – parede de solo-cimento rejuntada..... 62
Figura 5.16 – Gráfico dos deslocamentos horizontais imediatos das três unidades habitacionais de solo-cimento rejuntadas devido ao ensaio de impacto de corpo mole.. 62
Figura 5.17 – Gráfico dos deslocamentos horizontais residuais das três unidades habitacionais de solo-cimento rejuntadas devido ao ensaio de impacto de corpo mole.. 63
Figura 5.18 – Gráfico dos deslocamentos horizontais imediatos das três unidades habitacionais de solo-cimento rebocadas devido ao ensaio de impacto de corpo mole... 64
Figura 5.19 – Gráfico dos deslocamentos horizontais residuais das três unidades habitacionais de solo-cimento rebocadas devido ao ensaio de impacto de corpo mole.. 64
Figura 5.20 – Fissuras – paredes de concreto celular armada..... 65
Figura 5.21 – Gráfico dos deslocamentos horizontais imediatos das três unidades habitacionais de concreto celular armada devido ao ensaio de impacto de corpo mole..... 66
Figura 5.22 – Gráfico dos deslocamentos horizontais residuais das três unidades habitacionais de concreto celular armada devido ao ensaio de impacto de corpo mole..... 66
Figura 5.23 – Fissuras – Paredes de concreto celular parcialmente armada..... 67
Figura 5.24 – Ocorrência de ruína – parede de concreto celular parcialmente armada... 67
Figura 5.25 – Gráfico dos deslocamentos horizontais imediatos das três unidades habitacionais de concreto celular parcialmente armada devido ao ensaio de impacto de corpo mole..... 68
Figura 5.26 – Gráfico dos deslocamentos horizontais residuais das três unidades habitacionais de concreto celular parcialmente armada devido ao ensaio de impacto de corpo mole..... 68
Figura 5.27 – Representação do ensaio de impacto de corpo duro..... 69
Figura 5.28 – Realização do ensaio de corpo duro..... 70
Figura 5.29 – Falha na parede de solo-cimento rejuntada devido ao ensaio de impacto de corpo duro..... 71
Figura 5.30 – Representação do ensaio de peça suspensa..... 73
Figura 5.31 – Esquema do ensaio de peças suspensas e detalhe de mão-francesa padrão..... 74
Figura 5.32 – Realização do ensaio de capacidade de suporte de peças suspensas..... 74
Figura 5.33 – Colocação dos relógios comparadores..... 74
Figura 5.34 - Gráfico dos deslocamentos horizontais imediatos devido ao ensaio de peça suspensa na parede de solo-cimento rejuntada (casa 78)..... 76
Figura 5.35 – Gráfico dos deslocamentos horizontais residuais devido ao ensaio de peça suspensa na parede de solo-cimento rejuntada (casa 78)..... 77
Figura 5.36 – Gráfico dos deslocamentos horizontais imediatos devido ao ensaio de peça suspensa parede de solo-cimento rejuntada (casa 80)..... 78

Figura 5.37 – Gráfico dos deslocamentos horizontais residuais devido ao ensaio de peça suspensa parede de solo-cimento rejuntada (casa 80)..... 78
Figura 5.38 – Gráfico dos deslocamentos horizontais imediatos devido ao ensaio de peça suspensa parede de solo-cimento rejuntada (casa 81)..... 79
Figura 5.39 – Gráfico dos deslocamentos horizontais residuais devido ao ensaio de peça suspensa na parede de solo-cimento rejuntada (casa 81)..... 80
Figura 5.40 – Gráfico dos deslocamentos horizontais imediatos devido ao ensaio de peça suspensa na parede de solo-cimento rebocada (casa 40)..... 81
Figura 5.41 – Gráfico dos deslocamentos horizontais residuais devido ao ensaio de peça suspensa na parede de solo-cimento rebocada (casa 40)..... 81
Figura 5.42 – Gráfico dos deslocamentos horizontais imediatos devido ao ensaio de peça suspensa na parede de solo-cimento rebocada (casa 57)..... 82
Figura 5.43 – Gráfico dos deslocamentos horizontais imediatos devido ao ensaio de peça suspensa na parede de solo-cimento rebocada (casa 57)..... 83
Figura 5.44 – Gráfico dos deslocamentos horizontais imediatos devido ao ensaio de peça suspensa na parede de solo-cimento rebocada (casa 78)..... 84
Figura 5.45 – Gráfico dos deslocamentos horizontais residuais devido ao ensaio de peça suspensa na parede de solo-cimento rebocada (casa 78)..... 84
Figura 5.46 – Gráfico dos deslocamentos horizontais imediatos devido ao ensaio de peça suspensa na parede de concreto celular armada (casa 07)..... 86
Figura 5.47 – Gráfico dos deslocamentos horizontais residuais devido ao ensaio de peça suspensa na parede de concreto celular armada (casa 07)..... 86
Figura 5.48 – Gráfico dos deslocamentos horizontais imediatos devido ao ensaio de peça suspensa na parede de concreto celular armada (casa 148)..... 87
Figura 5.49 – Gráfico dos deslocamentos horizontais residuais devido ao ensaio de peça suspensa na parede de concreto celular armada (casa 148)..... 88
Figura 5.50 – Gráfico dos deslocamentos horizontais imediatos devido ao ensaio de peça suspensa na parede de concreto celular armada (casa 149)..... 89
Figura 5.51 – Gráfico dos deslocamentos horizontais residuais devido ao ensaio de peça suspensa na parede de concreto celular armada (casa 149)..... 89
Figura 5.52 – Gráfico dos deslocamentos horizontais imediatos devido ao ensaio de peça suspensa na parede de concreto celular parcialmente armada (casa 03)..... 90
Figura 5.53 – Gráfico dos deslocamentos horizontais residuais devido ao ensaio de peça suspensa na parede de concreto celular parcialmente armada (casa 03)..... 91
Figura 5.54 – Gráfico dos deslocamentos horizontais imediatos devido ao ensaio de peça suspensa na parede de concreto celular parcialmente armada (casa 06)..... 92
Figura 5.55 – Gráfico dos deslocamentos horizontais residuais devido ao ensaio de peça suspensa na parede de concreto celular parcialmente armada (casa 06)..... 92
Figura 5.56 – Gráfico dos deslocamentos horizontais imediatos devido ao ensaio de peça suspensa na parede de concreto celular parcialmente armada (casa 11)..... 93
Figura 5.57 – Gráfico dos deslocamentos horizontais residuais devido ao ensaio de peça suspensa na parede de concreto celular parcialmente armada (casa 11)..... 94
Figura 5.58 – Exemplo de fechamento brusco de portas..... 94
Figura 5.59 – Ensaio de interação entre paredes e portas – fechamento bruscos..... 95
Figura 5.60 – Ensaio de interação entre paredes e portas – impacto de corpo mole..... 95
Figura 5.61 – Fissuras devido ao ensaio de interação entre paredes e portas..... 97
Figura 5.62 – Ensaio de sustentação de rede de dormir..... 99
Figura 5.63 – Relógios comparadores colocados no lado oposto da parede onde se realiza o ensaio de sustentação de rede de dormir..... 99

Figura 5.64 – Gráfico dos deslocamentos horizontais imediatos e residuais na parede de solo-cimento rejuntada devido ao ensaio de sustentação de rede de dormir (casa 78)..... 101
Figura 5.65 – Gráfico dos deslocamentos horizontais imediatos e residuais na parede de solo-cimento rejuntada devido ao ensaio de sustentação de rede de dormir (casa 80)..... 102
Figura 5.66 – Gráfico dos deslocamentos horizontais imediatos e residuais na parede de solo-cimento rejuntada devido ao ensaio de sustentação de rede de dormir (casa 81)..... 103
Figura 5.67 – Gráfico dos deslocamentos horizontais imediatos e residuais na parede de solo-cimento rebocada devido ao ensaio de sustentação de rede de dormir (casa 78)..... 104
Figura 5.68 – Gráfico dos deslocamentos horizontais imediatos e residuais na parede de solo-cimento rebocada devido ao ensaio de sustentação de rede de dormir (casa 57)..... 105
Figura 5.69 – Gráfico dos deslocamentos horizontais imediatos e residuais na parede de solo-cimento rebocada devido ao ensaio de sustentação de rede de dormir (casa 40)..... 106
Figura 5.70 – Gráfico dos deslocamentos horizontais imediatos e residuais na parede de concreto celular armada devido ao ensaio de sustentação de rede de dormir (casa 07)..... 107
Figura 5.71 – Gráfico dos deslocamentos horizontais imediatos e residuais na parede de concreto celular armada devido ao ensaio de sustentação de rede de dormir (casa 148)..... 108
Figura 5.72 – Gráfico dos deslocamentos horizontais imediatos e residuais na parede de concreto celular armada devido ao ensaio de sustentação de rede de dormir (casa 149)..... 109
Figura 5.73 – Gráfico dos deslocamentos horizontais imediatos e residuais na parede de concreto parcialmente celular armada devido ao ensaio de sustentação de rede de dormir (casa 03)..... 110
Figura 5.74 – Gráfico dos deslocamentos horizontais imediatos e residuais na parede de concreto parcialmente celular armada devido ao ensaio de sustentação de rede de dormir (casa 06)..... 111
Figura 5.75 – Gráfico dos deslocamentos horizontais imediatos e residuais na parede de concreto parcialmente celular armada devido ao ensaio de sustentação de rede de dormir (casa 11)..... 112
Figura 6.1 – Fissuras na parede de solo-cimento rejuntada- ELS..... 113
Figura 6.2 – Destacamento dos tijolos na parede de solo-cimento rejuntada – ELS. 113
Figura 6.3 – Detalhe da fissura na casa de concreto celular parcialmente armada..... 114
Figura 6.4 – Detalhe da fissura tratada numa casa de concreto celular parcialmente armada – ELS..... 114
Figura 6.5 – Detalhe do destacamento dos tijolos das paredes de solo-cimento rejuntada..... 115
Figura 6.6– Fissuras nas paredes de solo-cimento rejuntada..... 115
Figura 6.7 - Fissuras na parede de concreto celular armada..... 116
Figura 6.8 – Fissuras na parede de concreto celular parcialmente armada..... 116

Figura 6.9 – Fissuras na parede externa e arranque dos perfis metálicos..... 116
Figura 6.10 – Traspassamento da parede de solo-cimento rejuntada – Parede interna.... 117

Figura 6.11 – Traspassamento da parede de solo-cimento rejuntada – Parede externa... 117
Figura 6.12 – Detalhe da parede de concreto celular armada após o ensaio de corpo duro..... 118
Figura 6.13 – Detalhe da parede de concreto celular parcialmente armada após o ensaio de corpo duro..... 118
Figura 6.14 – Relógios comparadores colocados na parede para medir deslocamentos. 118
Figura 6.15 – Deslocamento da parede após o ensaio de peças suspensas..... 118
Figura 6.16 – Fissuras na parede de solo-cimento após o ensaio de corpo mole na interação entre paredes e portas..... 119
Figura 6.17 – Detalhe da alvenaria de solo-cimento rebocada após o ensaio de interação entre paredes e portas..... 120
Figura 6.18 – Detalhe da parede após o ensaio de sustentação de rede de dormir..... 120
Figura 7.1 – Deformação da parede frente aos impactos horizontais..... 122
Figura 7.2 – Tipos de apoio e reação..... 122

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 2.1 – Exigências do usuário.....11
Tabela 2.2 – Deslocamentos limites para cargas permanentes e cargas acidentais em geral.....17
Tabela 2.3 – Impactos de corpo mole para paredes externas (fachadas) de casas térreas, com função estrutural…….…….....19
Tabela 2.4 – Impactos de corpo duro para paredes externas .....…..…….....…….20
Tabela 2.5 – Cargas de serviço, critérios e níveis de desempenho para peças suspensas aplicadas por mãos-francesas padrão.....21
Tabela 3.1 – Características do concreto celular.....32
Tabela 5.1 – Unidades habitacionais avaliadas.....49
Tabela 5.2 – Localização das unidades habitacionais avaliadas.....50
Tabela 5.3 – Avaliação do critério Estado Limite de Utilização – parede de solo-cimento rejuntada……...……56
Tabela 5.4 – Avaliação do critério Estado Limite de Utilização – parede de solo-cimento rebocada……56
Tabela 5.5 – Avaliação do critério Estado Limite de Utilização – parede de concreto celular armada.....57
Tabela 5.6 – Avaliação do critério Estado Limite de Utilização – parede de concreto celular parcialmente armada.....57
Tabela 5.7 – Massa do corpo impactador, altura e energia de impacto (ensaio de impacto de corpo mole).....59
Tabela 5.8 – Resultado do ensaio de impacto de corpo mole – parede de solo-cimento rejuntada……...61
Tabela 5.9 – Resultado do ensaio de impacto de corpo mole – parede de solo-cimento rebocada……63
Tabela 5.10 – Resultado do ensaio de impacto de corpo mole – parede de concreto celular armado……..65
Tabela 5.11 – Resultado do ensaio de impacto de corpo mole – parede de concreto celular parcialmente armada……..……...67
Tabela 5.12 – Massa do corpo impactador, altura e energia de impacto (ensaio de impacto de corpo duro)..... 69
Tabela 5.13 – Resultado do ensaio de impacto de corpo duro – parede de solo-cimento rejuntada.....71
Tabela 5.14 – Resultado do ensaio de impacto de corpo duro – parede de solo-cimento rebocada…….....72
Tabela 5.15 – Resultado do ensaio de impacto de corpo duro – parede de concreto celular armada.....72
Tabela 5.16 – Resultado do ensaio de impacto de corpo duro – parede de concreto celular parcialmente armada…….……72
Tabela 5.17 – Resultado do ensaio de capacidade de suporte de peças suspensas – parede de solo-cimento rejuntada (casa 78).....75
Tabela 5.18 – Resultado do ensaio de capacidade de suporte de peças suspensas – parede de solo-cimento rejuntada (casa 80).....77

Tabela 5.19 – Resultado do ensaio de capacidade de suporte de peças suspensas – parede de solo-cimento rejuntada (casa 81).....78
Tabela 5.20 – Resultado do ensaio de capacidade de suporte de peças suspensas – parede de solo-cimento rebocada (casa 40).....80
Tabela 5.21 – Resultado do ensaio de capacidade de suporte de peças suspensas – parede de solo-cimento rebocada (casa 57).....82
Tabela 5.22 – Resultado do ensaio de capacidade de suporte de peças suspensas – parede de solo-cimento rebocada (casa 78).....83
Tabela 5.23 – Resultado do ensaio de capacidade de suporte de peças suspensas – parede concreto celular armado (casa 07) 85
Tabela 5.24 – Resultado do ensaio de capacidade de suporte de peças suspensas – parede concreto celular armado (casa 148) 87
Tabela 5.25 – Resultado do ensaio de capacidade de suporte de peças suspensas – parede concreto celular armado (casa 149) 88
Tabela 5.26 – Resultado do ensaio de capacidade de suporte de peças suspensas – parede concreto celular parcialmente armado (casa 03) 90
Tabela 5.27 – Resultado do ensaio de capacidade de suporte de peças suspensas – parede concreto celular parcialmente armado (casa 06).....91
Tabela 5.28 – Resultado do ensaio de capacidade de suporte de peças suspensas – parede concreto celular parcialmente armado (casa 11).....93
Tabela 5.29 – Resultado do ensaio de interação entre paredes e portas – parede de solo-cimento rejuntada.....96
Tabela 5.30 – Resultado do ensaio de interação entre paredes e portas – parede de solo-cimento rebocada……..……97
Tabela 5.31 – Resultado do ensaio de interação entre paredes e portas – parede de concreto celular armada.....97
Tabela 5.32 – Resultado do ensaio de interação entre paredes e portas – parede de concreto celular parcialmente armada…….....98
Tabela 5.33 – Resultado do ensaio de sustentação de rede de dormir – parede de solo-cimento rejuntada (casa 78).....100
Tabela 5.34 – Resultado do ensaio de sustentação de rede de dormir – parede de solo-cimento rejuntada (casa 80).....101
Tabela 5.35 – Resultado do ensaio de sustentação de rede de dormir – parede de solo-cimento rejuntada (casa 81).....102
Tabela 5.36 – Resultado do ensaio de sustentação de rede de dormir – parede de solo-cimento rebocada (casa 78).....……..103
Tabela 5.37 – Resultado do ensaio de sustentação de rede de dormir – parede de solo-cimento rebocada (casa 57).....……..104
Tabela 5.38 – Resultado do ensaio de sustentação de rede de dormir – parede de solo-cimento rebocada (casa 40).....……..105
Tabela 5.39 – Resultado do ensaio de sustentação de rede de dormir – parede de concreto celular armada (casa 07)…..……..106
Tabela 5.40 – Resultado do ensaio de sustentação de rede de dormir – parede de concreto celular armada (casa 148)…..……107
Tabela 5.41 – Resultado do ensaio de sustentação de rede de dormir – parede de concreto celular armada (casa 149)…..……108
Tabela 5.42 – Resultado do ensaio de sustentação de rede de dormir – parede de concreto celular parcialmente armada (casa 03)…...……109

Tabela 5.43 – Resultado do ensaio de sustentação de rede de dormir – parede de concreto celular parcialmente armada (casa 06)…...……110
Tabela 5.44 – Resultado do ensaio de sustentação de rede de dormir – parede de concreto celular parcialmente armada (casa 11)…...……111

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 ..... **1**

INTRODUÇÃO **1**

1.1 CONTEXTO HISTÓRICO **1**

1.2 OBJETIVOS **6**

1.2.1 Objetivos gerais 6
1.2.2 Objetivos específicos 6

1.3 APRESENTAÇÃO DO TRABALHO **7**

CAPÍTULO 2 ..... **9**

AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DE SISTEMAS CONSTRUTIVOS PARA HABITAÇÃO **9**

2.1 DESCRIÇÃO GERAL **9**

2.1.1 Exigência dos usuários 11
2.1.2 Condições de exposição 11
2.1.3 Requisitos e critérios de desempenho 12
2.1.4 Métodos de avaliação 12

2.2 AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO ESTRUTURAL **14**

2.2.1 Requisitos de desempenho estrutural – Estado Limite de Utilização (ELS) 16
2.2.2 Critérios e níveis de desempenho – Estado Limite de Utilização (ELS) 17
2.2.3 Requisitos de desempenho estrutural para ação de impactos de corpo mole e corpo duro 18
2.2.4 Critérios e níveis de desempenho para resistência a impactos de corpo mole 19
2.2.5 Critérios e níveis de desempenho para resistência a impactos de corpo duro 20
2.2.6 Requisitos de desempenho estrutural para solicitação decorrente de cargas provenientes de peças suspensas 21
2.2.7 Critérios e níveis de desempenho para capacidade de suporte de peças suspensas 21
2.2.8 Requisitos de desempenho estrutural para interação entre paredes e portas 22
2.2.9 Critérios e níveis de desempenho para ações transmitidas por portas internas ou externas 22
2.2.10 Requisitos de desempenho estrutural para sustentação de rede de dormir 23
2.2.11 Critérios e níveis de desempenho para sustentação de rede de dormir 23

2.3 CONSIDERAÇÕES GERAIS **23**

CAPÍTULO 3 ..... **25**

SOLO-CIMENTO E CONCRETO CELULAR **25**

3.1 SOLO-CIMENTO **25**

3.1.1 Definição 25
3.1.2 Solo 25
3.1.3 Fatores importantes para o emprego do solo-cimento 26
3.1.4 Cimento 27
3.1.5 Água 28
3.1.6 Modelos de tijolos de solo-cimento 28
3.1.7 Histórico do solo-cimento no Estado do Amazonas 29

3.2 CONCRETO CELULAR **31**

3.2.1 Características gerais do concreto celular 31

3.2.1.1 Aglomerante 32
3.2.1.2 Agregados 32
3.2.1.3 Espuma 32
3.2.2.4 Fibras 33
3.2.2.5 Aditivo 34
3.2.3 Histórico do concreto celular no Estado do Amazonas 35

CAPÍTULO 4 37

DESCRIÇÃO DAS ETAPAS CONSTRUTIVAS 37

4.1 TIJOLOS DE SOLO-CIMENTO 37

4.2 CONCRETO CELULAR 37

4.3 ETAPAS CONSTRUTIVAS DO SOLO-CIMENTO 38

4.3.1 Locação 38
4.3.2 Fundação e colocação das instalações hidro-sanitárias 39
4.3.3 Primeira fiada dos tijolos de solo-cimento 40
4.3.4 Alvenaria em tijolos de solo-cimento 40
4.3.4.1 Execução da primeira cinta 41
4.3.4.2 Assentamento das esquadrias 42
4.3.4.3 Parede de solo-cimento rejuntada 43
4.3.4.4 Parede de solo-cimento rebocada 43
4.3.5 Estrutura metálica e colocação das telhas de cobertura 43
4.3.6 Pintura e acabamento 44

4.4 ETAPAS CONSTRUTIVAS DO CONCRETO CELULAR 44

4.4.1 Locação e fundação 44
4.4.2 Montagem das fôrmas 45
4.4.3 Estrutura metálica e colocação das telhas da cobertura 47
4.4.4 Emassamento 47
4.4.5 Pintura e acabamento 47

CAPÍTULO 5 49

EXPERIMENTAÇÃO E RESULTADOS 49

5.1 REALIZAÇÃO DOS ENSAIOS 49

5.2 ESTADO LIMITE DE UTILIZAÇÃO (ELS) 54

5.2.1 Métodos de avaliação 54
5.2.2 instrumentos 54
5.2.3 Resultados das inspeções visuais e medições 54
5.2.3.1 Parede de solo-cimento rejuntada 55
5.2.3.2 Parede de Solo-cimento rebocada 56
5.2.3.3 Parede de concreto celular armada 57
5.2.3.4 Parede de concreto celular parcialmente armada 57

5.3 RESISTÊNCIA À IMPACTO DE CORPO MOLE 58

5.3.1 Método de avaliação para resistência a impactos de corpo mole 58
5.3.2 Aparelhagem 60
5.3.3 Resultados dos ensaios 60
5.3.3.1 Parede de solo-cimento rejuntada 61
5.3.3.2 Parede de solo-cimento rebocada 63
5.3.3.3 Parede de concreto celular armada 65
5.3.3.4 Parede de concreto celular parcialmente armada 66

5.4 RESISTÊNCIA À IMPACTO DE CORPO DURO 69

5.4.1 Método de avaliação para resistência à impactos de corpo duro 69
5.4.2 Aparelhagem 70
5.4.3 Resultados dos ensaios 70
5.4.3.1 Parede de solo-cimento rejuntada 71
5.4.3.2 Parede de solo-cimento rebocada 71
5.4.3.3 Parede de concreto celular armada 72
5.4.3.4 Parede de concreto celular parcialmente armada 72

5.5 CAPACIDADE DE SUPORTE DE PEÇAS SUSPENSAS 73

5.5.1 Método de avaliação para capacidade de suporte de peças suspensas 73
5.5.2 Aparelhagem 74
5.5.3 Resultados dos ensaios 75
5.5.3.1 Parede de solo-cimento rejuntada 75
5.5.3.2 Parede de solo-cimento rebocada 80
5.5.3.3 Parede de concreto celular armada 85
5.5.3.4 Parede de concreto celular parcialmente armada 89

5.6 INTERAÇÃO ENTRE PAREDES E PORTAS 94

5.6.1 Método de avaliação de interação entre paredes e portas 94
5.6.2 Aparelhagem 95
5.6.3 Resultados dos ensaios 96
5.6.3.1 Parede de solo-cimento rejuntada 96
5.6.3.2 Parede de solo-cimento rebocada 97
5.6.3.3 Parede de concreto celular armada 97
5.6.3.4 Parede de concreto celular parcialmente armada 98

5.7 SUSTENTAÇÃO DE REDE DE DORMIR 98

5.7.1 Método de avaliação de sustentação de rede de dormir 98
5.7.2 Aparelhagem 99
5.7.3 Resultados dos ensaios 99
5.7.3.1 Parede de solo-cimento rejuntada 100
5.7.3.2 Parede de solo-cimento rebocada 103
5.7.3.3 Parede de concreto celular armada 106
5.7.3.4 Parede de concreto celular parcialmente armada 109

CAPÍTULO 6 113

ANÁLISE DOS RESULTADOS 113

6.1 AVALIAÇÃO DO ESTADO LIMITE DE UTILIZAÇÃO 113

6.2 ENSAIO DE RESISTÊNCIA A IMPACTO DE CORPO MOLE 114

6.3 ENSAIO DE RESISTÊNCIA A IMPACTO DE CORPO DURO 117

6.4 ENSAIO DE CAPACIDADE DE SUPORTE DE PEÇAS SUSPENSAS 118

6.5 ENSAIO DE INTERAÇÃO ENTRE PAREDES E PORTAS 119

6.6 SUSTENTAÇÃO DE REDE DE DORMIR 120

CAPÍTULO 7 121

CONCLUSÕES 121

7.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS **121**

7.2 CONCLUSÕES **123**

7.3 SUGESTÕES A TRABALHOS FUTUROS **126**

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS **127**

ANEXO A **133**

ANEXO B **135**

ANEXO C **140**

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

1.1 CONTEXTO HISTÓRICO

O *déficit* habitacional brasileiro é estimado atualmente em torno de 6,6 milhões de unidades, exercendo grande pressão sobre o setor público, na maioria das vezes responsabilizado pelo problema, oriundo de questões sociais, econômicas e culturais, intrínsecas à própria história do país [1].

No Brasil, foi criado o Ministério das Cidades, o qual pretende reunir os recursos dos diversos órgãos federais, que estão relacionados com o desenvolvimento urbano, objetivando investir, de forma racional, grandes cifras em habitações. O Governo Federal demonstra interesse em enfrentar o problema, porém sabe-se que o déficit habitacional brasileiro é muito grande. Contudo, é importante ressaltar que as grandes metrópoles brasileiras apresentam um crescimento urbano desordenado, levando a população a adotar soluções inadequadas com habitações em lugares carentes de infra-estrutura urbana, como: saneamento básico, transportes, segurança e serviços públicos (KLEIN et al, 2004).

No nosso país, diversas soluções inovadoras, no que se refere aos sistemas construtivos, são introduzidas no mercado para resolver a questão do déficit habitacional brasileiro. Porém, nem todas atendem aos requisitos mínimos desejáveis para uma moradia de custo acessível e de qualidade (SILVA FILHO et al, 2002).

As primeiras habitações populares inovadoras, financiadas pelo extinto BNH (Banco Nacional da Habitação), hoje parcialmente incorporado a Caixa Econômica Federal, foram introduzidas, sem que antes fossem submetidas a uma avaliação técnica para prever seu comportamento. Na verdade, foi a construção do conjunto habitacional de Itaquera em São Paulo, em meados da década de 70, que serviu de grande laboratório para novas

[1] Fonte:http://www.polis.org.br/tematicas.asp?cd camada1=16&cd camada2=117; acesso em 07/11/2005

tecnologias, sendo empregados diferentes sistemas construtivos distribuídos em 31.860 unidades habitacionais. Os erros e acertos dessa experiência, no entanto, só foram avaliados depois dos edifícios concluídos e habitados (ALMEIDA, 1984).

Oliveira (1996) descreve que a falta de uma normalização onde os fabricantes e construtores pudessem se basear, influenciaram diretamente na qualidade do produto, levando na maioria dos casos a experiências desastrosas, com graves prejuízos para todos os agentes intervenientes no processo da construção, sendo transferidos aos usuários os problemas de patologias e os altos custos de manutenção e reposição. Levando em consideração o conceito de normalização, onde se fixam as definições, características (dimensões, qualidades), métodos de ensaio, regras de emprego, etc; em função dessas dificuldades, houve então um grande interesse em normalizar a avaliação de desempenho para que os fabricantes desses novos sistemas pudessem garantir a qualidade do produto final.

Porém, o BNH no final de sua existência, na tentativa de equacionar o problema da falta de normalização brasileira e reconhecendo a necessidade de novas soluções tecnológicas que permitissem a construção de edifícios em larga escala, investiu em pesquisa visando à elaboração de critérios para avaliar o desempenho de sistemas construtivos inovadores (IPT, 1981).

Internacionalmente, o conceito de desempenho já vinha sendo utilizado há mais tempo, mas o seu uso de forma mais sistematizada começou nos anos 60 e 70. Países como França, Inglaterra, Alemanha, Noruega, Dinamarca, Estados Unidos e Canadá tiveram o cuidado de avaliar seus novos sistemas construtivos com o objetivo de fornecer a garantia de que um produto novo e desconhecido terá um desempenho satisfatório, quando for usado na construção (OLIVEIRA, 1996).

O primeiro sistema moderno de avaliação foi estabelecido na Europa, nos anos 60, o Sistema de Aprovação Francês, desenvolvido para reduzir as restrições no que se refere à introdução de construções inovadoras. Estabelecido por um decreto do Ministério da Construção, o sistema é dirigido pelo CSTB (Centre Scientifique et Technique du Bâtiment), uma organização do Governo Federal Francês (OLIVEIRA, 1996).

O pedido para se obter o Certificado de Aprovação Francês, fornecido apenas para sistemas construtivos novos, deve ser requerido por um fabricante ou construtor, e no formulário deve citar especificadamente a área de aplicação e seu método de uso. As amostras são submetidas a testes e experimentos, em oficinas, fábricas, laboratórios ou no local de trabalho e a avaliação baseia-se na segurança, utilidade e durabilidade, levando em conta as condições climáticas e as regulamentações de edificações existentes da construção (OLIVEIRA, 1996).

No Brasil, as inovações tecnológicas não vieram acompanhadas com a mentalidade de se avaliar o desempenho dos novos sistemas construtivos antes de lançá-las no mercado. Normalmente, os sistemas eram avaliados somente pelos seus custos iniciais, não sendo computados os custos de operação e nem mesmo os de manutenção e/ou recuperação ficando relegada a segundo plano a preocupação com os aspectos de durabilidade e vida útil dos edifícios (ALMEIDA, 1984).

Preocupada com a questão de avaliar o desempenho dos novos sistemas construtivos, a Caixa Econômica Federal, considerada um dos maiores agentes financeiros de habitações, lançou em 18 de dezembro de 2000, orientações gerais para a "Análise da Garantia de Desempenho de Construções não Convencionais ou Inovadoras" (KLEIN et al, 2004).

De forma paralela, o IPT em 1998 (Instituto de Pesquisa Tecnológicas do Estado de São Paulo) apresentou um texto para discussão intitulado "Critérios Mínimos de Desempenho para Habitações Térreas de Interesse Social", dentro do Programa Brasileiro da Qualidade e Produtividade da Construção Habitacional (PBQP da habitação). Este programa foi criado para estimular e apoiar ações nos setores da cadeia produtiva, instalando e ampliando a produtividade e qualidade do setor da construção (SILVA FILHO et al, 2002).

Em julho de 2004, a ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) lançou os Projetos de Normas nºs 02.136.01.001, 02.136.01.002, 02.136.01.003, 02.136.01.004, 02.136.01.005, 02.136.01.005 (ABNT, 2004), cujo objetivo é definir os requisitos e critérios de desempenho aplicáveis a edifícios habitacionais de até cinco pavimentos, a seus elementos e componentes, considerando-se os estados de limite último (ELU) e de utilização (ELS). O Projeto de Norma é constituída das seguintes partes:

- Parte 1 - Requisitos Gerais;

- Parte 2 - Estrutura;
- Parte 3 - Pisos Internos;
- Parte 4 - Fachadas e Paredes Internas;
- Parte 5 - Coberturas;
- Parte 6 - Sistemas Hidro-sanitários.

Em Manaus, o crescimento urbano desordenado gerado pela migração de famílias à procura de empregos e terras, tem provocado aumento da violência, do desemprego e a falta de moradias. O aspecto ambiental tem sido diretamente afetado, pois tais problemas sociais têm levado famílias a invadirem determinadas regiões das florestas nas proximidades dos igarapés, provocando tanto o desmatamento quanto a poluição.

O Governo do Estado do Amazonas, com o objetivo de diminuir o *déficit* habitacional, tem investido na construção de casas populares para população de baixa renda. Nos últimos 8 anos, mais de 15.000 unidades habitacionais foram construídas e entregues a esta população. Destas 15.000 casas, aproximadamente 4.000 foram edificadas através do sistema construtivo de solo-cimento e o restante através do sistema construtivo de concreto celular [2].

O uso destas duas técnicas construtivas (solo-cimento e concreto celular) tem visado a racionalização e industrialização da construção, baseados nas seguintes premissas: desenvolver moradias com custo acessível, empregar novos materiais de ótima qualidade e com grande durabilidade; desenvolver tecnologias com emprego de componentes construtivos simples com caráter industrial, de fácil montagem e com possibilidade de ampliação de sua planta original, redução do entulho, e produzir uma moradia segura e agradável ao usuário nas questões de aparência, conservação e limpeza, conforto térmico e acústico e de estanqueidade.

As paredes das unidades habitacionais construídas em solo-cimento foram executadas de duas formas: a primeira com tijolos aparentes rejuntadas com argamassa de cimento e areia, no traço 1:3 (figura 1.1), enquanto que a segunda com parede rebocada (figura 1.2).

[2] Fonte:http://www.suhab.am.gov.br; acesso em 10/11/2005.

Figura 1.1 – Parede de solo-cimento rejuntada.

Figura 1.2 – Parede de solo-cimento rebocada.

As paredes das unidades habitacionais em concreto celular também foram executadas de duas formas: a primeira refere-se à execução da alvenaria armada, ou seja, colocação de telas de aço eletrosoldadas em todas as paredes antes de se executar a concretagem (figura 1.3), enquanto que a segunda forma refere-se à execução da alvenaria parcialmente armada, ou seja, colocação das telas de aço eletrosoldadas somente nos encontros de paredes (figura 1.4).

Figura 1.3 - Parede em concreto celular armada.

Figura 1.4 - Parede em concreto celular parcialmente armada.

Neste trabalho, realizaram-se ensaios de desempenho estrutural nas edificações construídas através da técnica construtiva de solo-cimento e concreto celular, adotando os procedimentos indicados nos Projetos de Normas nºs 02.136.01.001, 02.136.01.002, 02.136.01.004 (ABNT, 2004) e no texto sugerido pelo IPT (1998). Tais edificações foram avaliadas verificando se atendem aos critérios mínimos de desempenho estrutural estabelecidos pelo Projeto de Norma da ABNT e o texto proposto pelo IPT (1998), através

dos ensaios de ação de impactos (corpo mole e corpo duro) e cargas de ocupação (peças suspensas, rede de dormir e interação entre paredes e portas).

O texto proposto pelo IPT (1998) foi utilizado nesta pesquisa para avaliar o desempenho estrutural das unidades habitacionais de solo-cimento e concreto celular através dos ensaios de sustentação de rede de dormir. O texto indica os requisitos e critérios que devem ser considerados nesta avaliação, complementando o Projeto de Norma 02.136.01.004 (ABNT, 2004) que indica a metodologia a ser adotada neste ensaio.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 OBJETIVOS GERAIS

A presente pesquisa teve como objetivo geral avaliar, de acordo com o Projeto de Norma da ABNT de 2004 e o texto proposto pelo IPT (1998), o desempenho estrutural de dois sistemas construtivos, o solo-cimento e o concreto celular, que são empregados como alternativa construtiva na edificação de casas populares para população de baixa renda no Estado do Amazonas.

1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Para avaliar o desempenho estrutural das unidades habitacionais em solo-cimento e concreto celular, tendo como referência os Projetos de Normas nºs 02.136.01.001, 02.136.01.002 e 02.136.01.004 (ABNT, 2004) e o texto proposto pelo IPT (1998), foram estabelecidos os seguintes objetivos específicos:

- Avaliar as unidades habitacionais observando os critérios de estado limite de utilização – Projeto de Norma 02.136.01.001 e 02.136.01.002 (ABNT, 2004);

- Realizar os ensaios de verificação da resistência a impactos (impacto de corpo mole e impacto de corpo duro) - Projeto de Norma 02.136.01.004 (ABNT, 2004);

- Realizar os ensaios de cargas de ocupação (peças suspensas) – Projeto de Norma 02.136.01.004 (ABNT, 2004);

- Realizar os ensaios de verificação do comportamento da folha submetida a manobras anormais (interação entre paredes e portas e impacto de corpo mole) - Projeto de Norma 02.136.01.004 (ABNT, 2004);

- Realizar os ensaios de sustentação de redes de dormir (critério optativo) conforme as prescrições do Projeto de Norma 02.136.01.004 (ABNT, 2004) e o texto proposto pelo IPT (1998);

- Avaliar o desempenho estrutural das unidades habitacionais em solo-cimento e em concreto celular, por meio de análise realizada frente aos critérios de desempenho dos ensaios de resistência a impactos e dos ensaios que simulam as cargas de ocupação.

1.3 APRESENTAÇÃO DO TRABALHO

A presente dissertação é constituída de sete capítulos, organizados da seguinte maneira:

Capítulo 1 – Introdução: Descreve o contexto histórico da avaliação de desempenho dos sistemas construtivos, destacando ainda os objetivos gerais e específicos.

Capítulo 2 – Avaliação de Desempenho de Sistemas Construtivos para Habitação: Apresenta os requisitos e os critérios para avaliar o desempenho estrutural dos sistemas construtivos de solo-cimento e concreto celular.

Capítulo 3 – Solo-Cimento e Concreto Celular: Apresenta os conceitos e os materiais necessários para produção dos tijolos de solo-cimento e do concreto celular, bem como um breve histórico da utilização destas duas técnicas construtivas (solo-cimento e concreto celular) na execução de casas no Estado do Amazonas.

Capítulo 4 – Descrição das Etapas Construtivas: Apresentam o modelo dos tijolos de solo-cimento usado na construção das casas populares, as quantidades dos componentes para confecção do concreto celular e descreve as etapas construtivas dos dois sistemas.

Capítulo 5 – Experimentação e Resultados: Descrevem os métodos de avaliação, os equipamentos e os resultados obtidos através dos ensaios para avaliar o desempenho estrutural dos sistemas construtivos. Mostra o projeto urbanístico dos conjuntos

habitacionais, indicando as casas onde foram realizados os ensaios para avaliação do desempenho estrutural.

Capítulo 6 – Análise dos Resultados: Apresenta a análise dos resultados, obtidos após a realização dos ensaios de desempenho estrutural;

Capítulo 7 – Conclusões e Trabalhos Futuros: Apresenta conclusões e sugestões a trabalhos futuros.

CAPÍTULO 2

AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DE SISTEMAS CONSTRUTIVOS PARA HABITAÇÃO

Nesse capítulo, discorre-se sobre os conceitos de avaliação de desempenho, exigências dos usuários, condições de exposição e são apresentados os requisitos e critérios de desempenho que devem ser atendidos pelas unidades habitacionais de solo-cimento e concretos celular mediante os ensaios de avaliação de desempenho estrutural.

2.1 DESCRIÇÃO GERAL

A avaliação de desempenho busca analisar a adequação ao uso de um produto ou de uma técnica construtiva, destinada a cumprir uma função, independentemente da solução material adotada. Para atingir esta finalidade, a avaliação de desempenho deve submeter a edificação e/ou suas partes constituintes a uma investigação sistemática, baseada em métodos de avaliação consistentes, capazes de produzir uma interpretação objetiva sobre o comportamento esperado do produto nas condições de uso definidas (Projeto de Norma 02.136.01.001 – ABNT, 2004).

Segundo Souza (1984), a habitação é caracterizada como um produto definido cuja função é satisfazer as exigências do usuário, consistindo a avaliação de desempenho na previsão do comportamento potencial do edifício, quando em utilização normal.

Visando à modernização da construção habitacional e conseqüente redução de custos e perdas, com aumento da produtividade, algumas empresas têm empreendido esforços, tanto na racionalização de processos construtivos convencionais, como no desenvolvimento de novos processos (REIS e BASTOS, 1994).

Deve-se destacar que à medida que surgem os novos sistemas construtivos, a necessidade de avaliá-los é de fundamental importância, evitando que futuros problemas decorrentes das novas técnicas construtivas sejam transferidos aos usuários. Desta forma, deve-se determinar uma metodologia básica para que se avalie o desempenho destes sistemas construtivos, garantindo que a avaliação de desempenho tenha um padrão a ser seguido (MITIDIERI, 1998).

A metodologia básica para aplicação do conceito de desempenho consiste em: identificação das exigências dos usuários a serem satisfeitas, as condições de exposição a que está submetido o produto, estabelecimento dos requisitos (qualitativos) e critérios de desempenho (quantitativos) a serem atendidos e definição dos métodos de avaliação (SOUZA, 1983).

A aplicação deste conceito contribui para orientar o desenvolvimento de produtos na área de componentes e o desenvolvimento de projetos, contribuindo também para a normalização da habitação (normas de desempenho) e abre caminho para uma sistemática de controle de qualidade de novos produtos baseada em certificados de homologação (THOMAZ, 1993).

A Figura 2.1 mostra o esquema empregado por Souza (1984) na aplicação do conceito de desempenho.

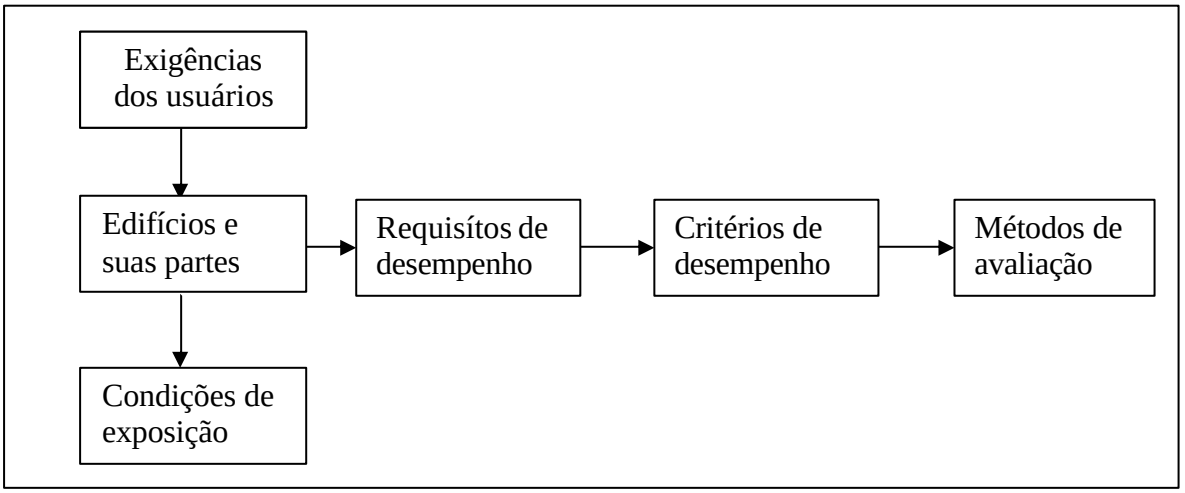

Figura 2.1 – Fluxograma de avaliação de desempenho
Fonte: Souza (1984)

2.1.1 EXIGÊNCIA DOS USUÁRIOS

As exigências dos usuários são entendidas, no caso da habitação, como o nível de condições necessárias à segurança e saúde do homem, ao seu conforto e satisfação de suas preocupações econômicas (SOUZA, 1984).

Conforme Mitidieri e Souza (1994), o conceito de exigência do usuário é bastante relativo, varia de país para país ou mesmo para cada região dentro de um mesmo país, pois, o que constitui exigência para um país desenvolvido pode constituir-se apenas em desejo para aqueles menos desenvolvidos.

Sob as diversas ações atuantes na habitação, o edifício e suas partes devem atender às exigências aplicáveis que se encontram relacionadas no Projeto de Norma 02.136.01.001 (ABNT, 2004) – Desempenho de edifícios habitacionais de até 5 pavimentos – Parte 1: Requisitos Gerais, conforme tabela 2.1.

Tabela 2.1 – Exigências do usuário.

Segurança	- Segurança estrutural - Segurança contra o fogo - Segurança no uso e operação
Habitabilidade	- Estanqueidade - Conforto higrotérmico - Conforto acústico - Conforto lumínico - Saúde, higiene e qualidade do ar - Funcionalidade e acessibilidade - Conforto tátil e antropodinâmico
Sustentabilidade	- Durabilidade - Manutenabilidade - Impacto ambiental

Fonte: Projeto de Norma 02.136.01.001 (ABNT, 2004).

2.1.2 CONDIÇÕES DE EXPOSIÇÃO

As condições de exposição a que está submetido um produto, podem ser entendidas como o conjunto de ações atuantes sobre este durante sua vida útil (IPT, 1981).

As ações podem ocorrer devido a fenômenos de origem natural (ventos, chuvas, etc.), de origem externa ao edifício (impactos externos) e devidas ao próprio uso do edifício (sobrecargas de utilização, focos de incêndio, etc.). Para cada uma das exigências do usuário, associam-se conjuntos de exposições que devem ser consideradas. Assim, no caso da exigência de conforto térmico, as condições de exposição serão caracterizadas pelo conjunto

de variáveis climáticas que ocorre no período de verão e inverno numa dada região. Esse conjunto de variáveis é composto de temperatura do ar, umidade relativa, insolação, radiação solar, ventos e precipitações (OLIVEIRA, 1996).

2.1.3 REQUISITOS E CRITÉRIOS DE DESEMPENHO

Definida a função da habitação como a de satisfazer às exigências do usuário, o edifício, seus elementos e componentes, deverão atender, quando submetidos às condições de exposição, a determinados requisitos de desempenho. Tais requisitos serão expressos qualitativamente a partir da função especifica que o elemento/componente ocupa no edifício e à luz das exigências humanas (JUNQUEIRA E GEYER, 2005).

Os requisitos e critérios são entendidos como condições qualitativas e quantitativas, respectivamente, às quais um determinado produto deve atender quando submetido às condições de exposição, a fim de que sejam satisfeitas as exigências do usuário. São interpretados como níveis de segurança, habitabilidade e durabilidade, que o produto deve atender quando submetido a ações (MITIDIERI E SOUZA, 1994).

Exemplificando, para o caso da segurança estrutural, são fixadas as exigências, visando garantir que os elementos da habitação não atinjam o estado limite último, correspondente à ruína por ruptura, por deformação excessiva ou por instabilidade e o estado limite de utilização, estado correspondente às fissuras inaceitáveis prejudiciais ao uso ou à durabilidade da peça e às deformações que ultrapassam os limites aceitáveis para utilização da estrutura (THOMAZ, 1993).

A experiência que o IPT tem acumulado na avaliação de sistemas construtivos inovadores, tem mostrado que se devem ter critérios eliminatórios e classificatórios. Os eliminatórios seriam os critérios relacionados com a segurança, habitabilidade e durabilidade, enquanto que os classificatórios são aqueles que acrescentariam qualidade ao sistema como melhor conforto acústico, higrotérmico, etc (ANTAC, 2003).

2.1.4 MÉTODOS DE AVALIAÇÃO

Definidos os requisitos e critérios a serem atendidos pela habitação, seus elementos e componentes, necessitam-se de métodos uniformizados de avaliação para verificar se tais produtos atendem aos requisitos e critérios fixados (SOUZA, 1984).

Em função das necessidades básicas de segurança, saúde, higiene e economia, são estabelecidos para os diferentes elementos e partes da construção, níveis mínimos de desempenho ("Nível M"), que devem ser obrigatoriamente atendidos. Considerando as diferentes possibilidades de agregação de qualidade aos produtos, o que implica inclusive em diferentes relações custo/benefício, para desempenho excedente às necessidades mínimas, são estabelecidos respectivamente os níveis intermediários ("I") e superiores ("S"). Aos agentes públicos financiadores ou promotores de habitação, e aos incorporadores em geral, caberão definir, em cada caso, o nível de desempenho pretendido não havendo nenhuma indicação, subentende-se pactuado o nível "M" - (ABNT - projeto 02.136.01.001, 2004).

Silva Filho et al (2002) ressalta que os métodos de avaliação podem ser estabelecidos a partir de ensaios e medidas, cálculos e julgamentos técnicos. Ressaltam-se dois tipos de ensaios e medidas: medidas de propriedades definidas mensuráveis dos componentes e elementos do edifício (condutância térmica, perda de transmissão sonora, resistência ao fogo, resistência mecânica, etc) e ensaios e medidas onde se tenta reproduzir as condições de exposição de uma maneira simplificada e padronizada (envelhecimento acelerado de sistemas de pintura, ensaios de estanqueidade de fachadas, simulações de choques em paredes, etc).

O cálculo é um modelo teórico do comportamento do edifício ou elemento, e é adotado por via analítica, a partir de certas propriedades dos materiais e componentes constituintes, assim como das condições de exposição. Desta forma, este método de avaliação procura quantificar através de estimativas, levando em consideração as características dos materiais das unidades habitacionais bem como o meio na qual o edifício está inserido, se tais edificações satisfazem aos requisitos e critérios estabelecidos.

Por exemplo:

- O cálculo do tempo de evacuação dos usuários da habitação em caso de incêndio, a partir da análise do projeto arquitetônico;
- O cálculo do nível de segurança estrutural do edifício, quando submetido a esforços de vento.

O julgamento técnico é baseado no conhecimento de especialistas com base na experiência de casos e condições similares já conhecidos e consagrados pelo uso através da análise do projeto e inspeções em protótipos dos produtos, em fábricas.

2.2 AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO ESTRUTURAL

O desempenho estrutural da habitação deve ser avaliado sob dois aspectos: o da segurança (estado limite último) e o de utilização, onde se considera a deformação dos elementos, fissuração e outras falhas que comprometem a estanqueidade à água e a durabilidade (KLEIN et al, 2002).

Além das ações de caráter permanente, devem ser analisadas as acidentais que podem atuar na habitação e outros esforços mecânicos, decorrentes do uso da edificação, como impacto, cargas excêntricas suspensas e solicitações transmitidas pelas portas.

O Projeto de Norma da ABNT 02.136.01.004 (2004) descreve que a avaliação de desempenho estrutural de habitações térreas é realizada obedecendo aos critérios de estado limite último, estado limite de utilização, capacidade de suporte de peças suspensas, resistência a impacto de corpo mole, resistência a impacto de corpo duro, ações transmitidas por portas internas e externas e sustentação de rede de dormir.

Neste trabalho foi avaliado o desempenho estrutural das edificações em estudo através da verificação do estado limite de utilização, ensaios de capacidade de suporte de peças suspensas, resistência a impacto de corpo mole e corpo duro, ações transmitidas pela interação entre paredes e portas e sustentação de rede de dormir.

O primeiro critério, estado limite último, tem como requisito a estabilidade e a resistência estrutural das edificações, frente às solicitações de combinação simultânea das cargas permanentes e cargas devidas ao vento. Para se avaliar sob este critério, devem-se realizar os ensaios de cargas impostas na estrutura (ensaio de compressão de paredes) e o ensaio de ação do vento (ABNT - projeto 02.136.01.002, 2004).

O segundo critério, estado limite de utilização, deve garantir a durabilidade e utilização normal da estrutura, limitando-se a formação de fissuras, a magnitude de deformações e a ocorrência de falhas localizadas que possam prejudicar os níveis de desempenho previstos pela própria estrutura e para os demais elementos e componentes que constituem a edificação, incluído as instalações hidro-sanitária e demais sistemas prediais (ABNT – projeto 02.136.01.002, 2004).

Portanto, na parte prática deste trabalho, não foi avaliado o critério de estado limite último, pois não foi possível realizar o ensaio de compressão de paredes, visto que as unidades

habitacionais já estavam concluídas, estando, portanto, com suas devidas cargas atuantes (peso próprio da cobertura e o peso próprio da alvenaria).

A realização dos ensaios para avaliar o desempenho estrutural das edificações construídas em alvenarias de solo-cimento rejuntadas e rebocadas com argamassa e nas alvenarias em concreto celular armado e parcialmente armado, foram realizados em pelo menos três unidades habitacionais para cada tipo de alvenaria, nas paredes mostradas na Figura 2.2 da seguinte forma:

- A parede P4 foi avaliada mediante o ensaio de resistência a impacto de corpo mole;
- A parede P4 foi avaliada mediante o ensaio de resistência a impacto de corpo duro;
- A parede P7 foi avaliada frente ao comportamento sob ação de cargas provenientes de peças suspensas;
- A parede P6 foi avaliada frente ao comportamento sob ação de cargas provenientes de rede de dormir;
- A porta Po1 foi avaliada mediante a interação entre paredes e portas.

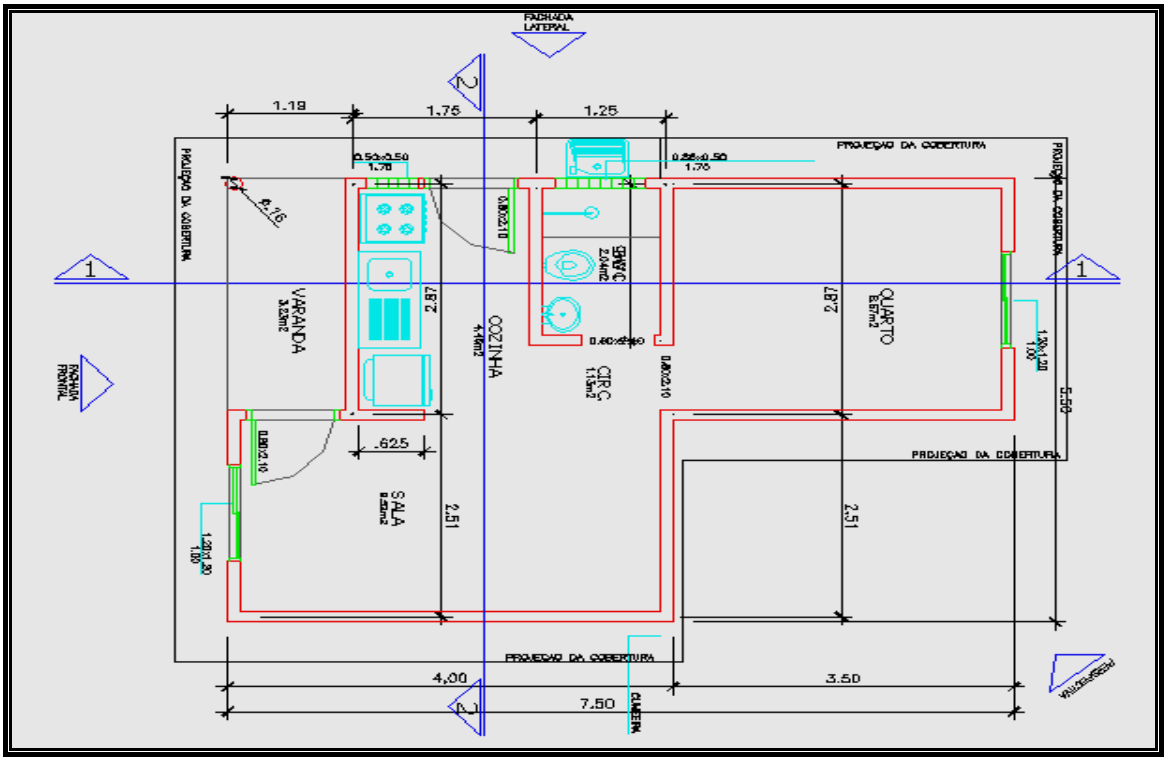

Figura 2.2 – Planta baixa de uma unidade habitacional padrão.

As paredes das unidades habitacionais de solo-cimento e concreto celular, escolhidas para realização dos ensaios e o motivo da escolha de cada parede, estão apresentados a seguir:

- A parede P4 foi avaliada mediante o ensaio de impacto de corpo mole, pelo fato de a mesma ser a segunda parede mais crítica devido ao seu comprimento, porém, a diferença desta para a parede mais crítica, P2, é de apenas 50 cm (Figura 2.2). Não foi possível realizar o ensaio na parede com maior comprimento (P2), considerada a mais crítica, pois as casas foram construídas bem próximas umas das outras com distância de 2,50 m impossibilitando a realização do ensaio.
- Da mesma forma que no ensaio de corpo mole, a parede P4 foi escolhida para ser avaliada mediante o ensaio de corpo duro, pelo fato de ser a única parede juntamente com a P3 que apresenta distância entre as casas que não dificulta o ensaio;
- A parede P7 foi escolhida para ser avaliada frente ao comportamento sob ação de cargas provenientes de peças suspensas, pelo fato de a mesma pertencer a área da cozinha onde geralmente se instalam armários, prateleiras e etc ;
- A parede P6 foi avaliada frente ao comportamento sob ação de cargas provenientes de rede de dormir, pelo fato de nesta parede estar posicionado o armador de rede, embora isso também ocorra na P4;
- A porta Po1 foi avaliada mediante a interação entre paredes e portas, pelo fato de ser a porta da fachada, recebendo diretamente a ação do vento sem nenhum obstáculo, uma vez que a porta da cozinha não recebe diretamente tal ação.

2.2.1 REQUISITOS DE DESEMPENHO ESTRUTURAL – ESTADO LIMITE DE UTILIZAÇÃO (ELS)

O desempenho da estrutura, e dos demais elementos da construção a ela vinculados, não deve ser prejudicado por deslocamentos excessivos ou estados de fissuração excessiva, considerando-se nas verificações as ações permanentes e de utilização. As deformações, fissuras e quaisquer falhas não devem impedir o livre funcionamento de elementos e componentes do edifício, tais como portas e janelas, instalações, etc. Nestas condições, a probabilidade de ocorrência de fissuras e danos inaceitáveis deve ser mínima, da ordem de 0,1% (considerando as ações características com nível de significância de 95%) - (Projeto de Norma 02.136.01.002 - ABNT, 2004).

2.2.2 CRITÉRIOS E NÍVEIS DE DESEMPENHO – ESTADO LIMITE DE UTILIZAÇÃO (ELS)

Sob a ação de cargas verticais, temperatura, vento, recalques diferenciais das fundações ou quaisquer outras solicitações passíveis de atuarem sobre a construção, os componentes estruturais - (Projeto de Norma 02.136.01.002 – ABNT, 2004):

- Não devem apresentar deslocamentos superiores àqueles indicados na Tabela 2.2;

Tabela 2.2 – Deslocamentos limites para cargas permanentes e cargas acidentais em geral.

Razão da limitação	Elementos	Deslocam. limite	Tipo de deslocamento
Visual/insegurança psicológica.	Pilares, paredes, vigas e lajes (componentes visíveis).	L/250 ou H/300	Deslocamento final incluindo fluência (carga total).
Destacamentos, fissuras em vedações ou acabamentos, falhas na operação de caixilhos e instalações.	Caixilhos, instalações, vedações e acabamentos rígidos (pisos, forros e etc).	L/800	Parcela da flecha ocorrida após a instalação da carga correspondente ao elemento em análise (parede, piso etc).
	Divisórias leves, acabamentos flexíveis (pisos, forros e etc).	L/600	
Destacamentos e fissuras em vedações.	Paredes e/ou acabamentos rígidos	L/500 ou H/500*	Distorção horizontal ou vertical provocada por variações de temperatura ou ação do vento, distorção angular devido ao recalque de fundação (deslocamento total).

* Para 2 tipo de solicitação, o deslocamento horizontal máximo no topo do edifício deve ser limitado a H_{total}/500 ou 3 cm, respeitando-se o menor dos dois limites:
L – comprimento da parede
H – Altura da parede

Fonte: Projeto de Norma 02.136.01.02 (ABNT, 2004).

- Não devem apresentar fissuras com aberturas maiores que os limites indicados em normas específicas NBR 6118 (ABNT, 2003), NBR 9062 (ABNT, 2001), etc), ou abertura superior a 0,4 mm, em qualquer situação, prevalecendo sempre o menor valor limitado;

- Não devem apresentar lascamentos, fraturas localizadas, plastificações ou quaisquer outros danos que venham a prejudicar o desempenho dos demais elementos da construção;

- Não devem apresentar destacamentos ou fissuras em paredes de vedação, pisos, elementos da cobertura, forros e acabamentos em geral, tolerando-se fissuras e destacamentos não perceptíveis a olho nu por um observador posicionado a 1m da superfície do elemento em análise, num cone visual com ângulo igual ou inferior a 60°, sob iluminação igual ou maior que 250 lux.

Devem ser consideradas as cargas permanentes, acidentais, devidas ao vento e à deformações específicas. O valor da solicitação de cálculo é dado pela expressão (2.1).

Solicitação: $S_d = ?_g S_{gk} + ?_q S_{qk} + ?_w S_{wk} + ?_e S_{ek}$ (2.1)

Nos casos mais gerais, na análise das deformações podem ser consideradas apenas as ações permanentes e acidentais (sobrecargas) características, tomando-se para $?_g$ o valor 1 e para $?_q$ o valor 0,7, logo o novo valor para solicitação de cálculo é dada pela expressão (2.2)

$S_d = S_{gk} + 0,7\ S_{qk}$ (2.2)

Os deslocamentos limites para as cargas permanentes e cargas acidentais em geral estão apresentados na Tabela 2.2.

2.2.3 REQUISITOS DE DESEMPENHO ESTRUTURAL PARA AÇÃO DE IMPACTOS DE CORPO MOLE E CORPO DURO

As paredes externas e internas, com função estrutural ou de vedação, devem resistir aos impactos de corpo mole e corpo duro que podem sofrer durante a vida útil do edifício. Traduzem na energia de impacto a ser aplicada em paredes externas e internas com e sem função estrutural. Os impactos com maiores energias referem-se ao estado limite último, sendo os de utilização aqueles com menores energias.

Os impactos correspondem a choques acidentais gerados pela própria utilização do edifício ou a choques provocados por tentativas de intrusões intencionais ou não. Dessa forma, são considerados os impactos gerados tanto no exterior como no interior do edifício, diferenciando-se as paredes com e sem função estrutural, bem como as paredes de fachada e as paredes internas - (Projeto de Norma 02.136.01.004 – ABNT, 2004).

2.2.4 CRITÉRIOS E NÍVEIS DE DESEMPENHO PARA RESISTÊNCIA A IMPACTOS DE CORPO MOLE

Sob ação de impactos de corpo mole, as fachadas e paredes internas não devem:

- Sofrer ruptura ou instabilidade (impactos de segurança), para as correspondentes energias de impacto indicadas na Tabela 2.3.

Tabela 2.3 – Impactos de corpo mole para paredes externas (fachadas) de casas térreas, com função estrutural.

Componente	Impactos	Energia de impacto de corpo mole (J)	Critérios de desempenho	Nível de desempenho
Paredes com função estrutural (paredes de casas térreas).	Impactos externos (acesso ext. ao público).	960	Não ocorrência de ruína.	I
		720		
		480	Não ocorrência de falhas.	
		360		
		240	Não ocorrência de falhas; Limitações dos deslocamentos horizontais; d_{hi} = H/250 d_{hr} = H/1250	
		180	Não ocorrência de falhas.	
		120		
		720	Não ocorrência de ruína.	M
		480		
		360		
		240	Não ocorrência de falhas; Limitação dos deslocamentos horizontais; d_{hi} = H/250 d_{hr} = H/1250	
		180	Não ocorrência de falhas.	
		120		

Nota : Quando o revestimento interno da parede de fachada multicamada não for integrante da estrutura da parede, nem considerado como componente de contraventamento, poderão ser adotados, somente para os impactos internos e para o revestimento interno, os critérios previstos na norma NBR 11681, considerando E = 60 J para não ocorrência de falhas e E = 120 J para não ocorrência de rupturas localizadas, desde que não haja comprometimento à segurança e à estanqueidade, e os materiais de revestimento empregados sejam de fácil reposição pelo usuário, ou seja, sejam disponíveis no mercado.
H – altura da parede, d_{hi} – deslocamento horizontal imediato e d_{hr} – deslocamento horizontal residual.

Fonte: Projeto de Norma 02.136.01.001 (ABNT, 2004).

- Sofrer fissuras, escamações, delaminações ou qualquer outro tipo de falha (impactos de utilização) que possa comprometer o estado de utilização, observando-se ainda os limites de deslocamentos instantâneos e residuais (d_{hi} e d_{hr}), indicados na Tabela 2.2;

- Provocar danos a componentes, instalações e acabamentos acoplados à parede, de acordo com as energias de impacto indicadas na Tabela 2.3.

2.2.5 CRITÉRIOS E NÍVEIS DE DESEMPENHO PARA RESISTÊNCIA A IMPACTOS DE CORPO DURO

Sob a ação de impactos de corpo duro, as fachadas e paredes internas não devem:

- Sofrer fissuras, escamações, delaminações ou qualquer outro tipo de dano (impactos de utilização), observando-se ainda os limites de profundidades de mossas indicados na Tabela 2.4;

- Sofrer ruptura ou traspassamento sob ação dos impactos de corpo duro indicados na Tabela 2.4.

Tabela 2.4 – Impactos de corpo duro para paredes externas.

Componente	Impactos	Energia de impacto de corpo duro (J)	Critérios de desempenho.	Nível de desempenho
Paredes com ou sem função estrutural; Parapeitos ou guarda-corpos.	Impactos externos (acesso ext. ao público)	3,75	Não ocorrência de falhas.	M
		20	Não ocorrência de ruptura e traspassamento.	
		3,75	Não ocorrência de falhas; Profundidade da mossa ? = 2,0 mm	I
		20	Não ocorrência de ruptura e traspassamento.	

Nota : Para parapeitos ou guarda-corpos recomenda-se somente os impactos de corpo duro de grandes dimensões (E = 20 J (externo) e E = 10 J (interno)).

Fonte: Projeto de Norma 02.136.01.001 (ABNT, 2004).

2.2.6 REQUISITOS DE DESEMPENHO ESTRUTURAL PARA SOLICITAÇÃO DECORRENTE DE CARGAS PROVENIENTES DE PEÇAS SUSPENSAS

As fachadas e paredes internas, com ou sem função estrutural, devem resistir à fixação de peças suspensas (armários, prateleiras, lavatórios etc) previstas no projeto, respeitando-se as recomendações e limitações de uso definidas pelo fabricante - (ABNT - projeto 02.136.01.004, 2004).

2.2.7 CRITÉRIOS E NÍVEIS DE DESEMPENHO PARA CAPACIDADE DE SUPORTE DE PEÇAS SUSPENSAS

As fachadas e paredes internas da habitação, com ou sem função estrutural, sob ação de cargas aplicadas excentricamente em relação à face da parede e cargas aplicadas faceando a superfície da parede, em função do tipo de peça a ser fixada, não podem apresentar fissuras, deslocamentos inaceitáveis (d_{hi} e d_{hr}), lascamentos ou quaisquer outros tipos de falhas. Na Tabela 2.5 indicam-se apenas as cargas de serviço aplicadas por mão-francesa padrão.

Tabela 2.5 – Cargas de serviço, critérios e níveis de desempenho para peças suspensas aplicadas por mão-francesa padrão.

Simulador de peça suspensa	Carga de serviço	Critério de desempenho	Nível de desempenho
Mão francesa padrão	0,8 kN, aplicados nos pontos A e B, sendo 0,4 kN em cada ponto.	Não ocorrência de falhas; Limitação dos desloc. horizontais; d_{hi} = H/500 d_{hr} = H/2500	M
	1,0 kN, aplicados nos pontos A e B, sendo 0,5 kN em cada ponto.	Não ocorrência de falhas; Limitação dos desloc. horizontais; d_{hi} = H/500 d_{hr} = H/2500	I
	1,2 kN, aplicados nos pontos A e B, sendo 0,6 kN em cada ponto.	Não ocorrência de falhas; Limitação dos desloc. horizontais; d_{hi} = H/500 d_{hr} = H/2500	S

Fonte: Projeto de Norma 02.136.01.001 (ABNT, 2004).

A Figura 2.3 mostra os pontos A e B onde são aplicadas as cargas de serviços do ensaio de peças suspensas.

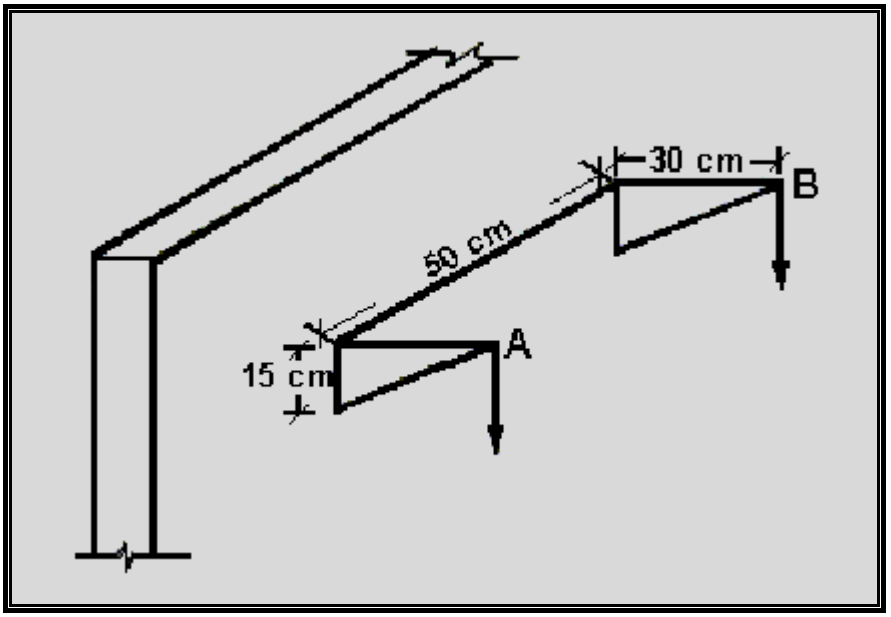

Figura 2.3 – Esquema de mão-francesa para ensaios de peças suspensas.
Fonte: Projeto de Norma 02.136.01.004 (ABNT, 2004).

2.2.8 REQUISITOS DE DESEMPENHO ESTRUTURAL PARA INTERAÇÃO ENTRE PAREDES E PORTAS

As paredes externas e internas das habitações, suas ligações e vinculações, devem permitir o acoplamento de portas resistindo à ação de fechamentos bruscos das folhas de portas e impactos nas folhas de portas - (ABNT - projeto 02.136.01.004, 2004).

2.2.9 CRITÉRIOS E NÍVEIS DE DESEMPENHO PARA AÇÕES TRANSMITIDAS POR PORTAS INTERNAS OU EXTERNAS

As paredes externas e internas da habitação, com ou sem função estrutural, devem permitir o acoplamento de portas nas seguintes condições:

- Submetidas as portas a dez operações de fechamento brusco, as paredes não devem apresentar falhas, tais como rupturas, fissurações, destacamentos no encontro com o marco, cisalhamento nas regiões de solidarização do marco, destacamentos em juntas entre componentes das paredes, etc;

- Sob ação de um impacto de corpo mole com energia de 240 J, aplicado no centro geométrico da folha de porta, não deverá ocorrer deslocamento ou arrancamento do marco, nem ruptura ou perda de estabilidade da parede. Admite-se, no contorno do marco, a ocorrência de danos localizados, tais como fissurações e estilhaçamentos.

2.2.10 REQUISITOS DE DESEMPENHO ESTRUTURAL PARA SUSTENTAÇÃO DE REDE DE DORMIR

As fachadas e paredes internas, com ou sem função estrutural, devem resistir à fixação dos armadores de redes, previstas no projeto, respeitando-se as recomendações e limitações de uso definidas pelo fabricante (IPT, 1998).

2.2.11 CRITÉRIOS E NÍVEIS DE DESEMPENHO PARA SUSTENTAÇÃO DE REDE DE DORMIR

Este critério é optativo, devendo ou não ser considerado em função dos hábitos culturais da população à qual será destinado o sistema construtivo (IPT, 1998). Tal ensaio foi realizado neste trabalho, pois no Estado do Amazonas, é bastante comum o uso de redes de dormir, e todas as casas construídas possuem armadores de rede em suas paredes.

As paredes internas e externas da habitação, com ou sem função estrutural, devem resistir a uma força de arrancamento de 2000 N (200 kgf), aplicada em ângulo de 60° com a parede (Projeto de Norma 02.136.01.004 – ABNT, 2004). Nessas condições, não devem ocorrer:

- $d_{hi} > H/500$;
- $d_{hr} > H/2500$;
- Arrancamento dos fixadores, rupturas, fissuras ou escamações nas regiões de transmissão da carga; pequenas indentações ou amassamentos são, todavia aceitas.
- Qualquer dano fora da região de aplicação da carga, em qualquer face da parede.

2.3 CONSIDERAÇÕES GERAIS

Para entender melhor o comportamento das unidades habitacionais durante e após os ensaios de avaliação de desempenho estrutural, realizando uma análise correta para que se chegue a conclusões objetivas, de forma que se venha a contribuir para o melhor desempenho do

produto, é de fundamental importância destacar as etapas construtivas dos dois sistemas, solo-cimento e concreto celular, bem como descrever os tipos de materiais utilizados para produção dos tijolos de solo-cimento e do concreto celular que influenciam diretamente na qualidade e na durabilidade do principal componente da edificação, que é a parede. A principal etapa construtiva que deve ser destacada para que se compreenda o desempenho das edificações de solo-cimento e concreto celular é a forma de execução das paredes e seus vínculos de apoios com a fundação.

No capítulo seguinte serão abordados a definição e os materiais necessários para a produção dos tijolos de solo-cimento e concreto celular, destacando um breve histórico desses materiais empregados em edificações de casas populares no Estado do Amazonas.

CAPÍTULO 3

SOLO-CIMENTO E CONCRETO CELULAR

3.1 SOLO-CIMENTO

3.1.1 DEFINIÇÃO

Solo-cimento é um material resultante da mistura homogênea, compactada e curada de solo, cimento e água, em proporções adequadas. O produto resultante deste processo é um material com boa resistência à compressão, bom índice de impermeabilidade, baixo índice de retração volumétrica e boa durabilidade (ENTEICHE, 1990).

O solo é o elemento básico para a obtenção do solo-cimento. O cimento entra em uma quantidade que varia de 5 % a 10 % do peso do solo, o suficiente para estabilizá-lo e conferir as propriedades de resistência desejadas para o composto (GRANDE, 2003).

O cimento adicionado ao solo garante que o material não tenha variações volumétricas consideráveis frente à absorção e à perda de umidade, bem como aumento da resistência à compressão, maior durabilidade em conseqüência de uma menor permeabilidade e permite que o material não se deteriore quando submerso na água (FARIA, 1990).

O tipo de solo empregado na mistura, o teor de cimento, a quantidade de água adicionada, a forma como se realiza a mistura e a compactação da mesma, o armazenamento e a cura, são fatores que devem ser cuidadosamente considerados para que o produto final, o tijolo de solo-cimento, tenha excelente qualidade e conseqüentemente maior durabilidade.

3.1.2 SOLO

O solo adequado para produção de tijolos de solo-cimento deverá possuir quantidade de areia em torno de 50 % a 70 %, devendo estar isento de matéria orgânica (raízes, folhas, etc), cloretos e sulfatos. O solo com a granulometria ideal para a mistura deve ser

predominantemente arenoso, com argila em menor porcentagem, para que haja coesão entre os grãos. À medida que se aumenta o teor de argila do solo, aumenta-se a necessidade do consumo de cimento para sua estabilização (GRANDE, 2003).

O solo empregado para produção dos tijolos de solo-cimento pode ser extraído no próprio canteiro de obras ou de jazidas, desde que seja enviada amostra dos mesmos ao laboratório, a fim de se fazer ensaios de granulometria e caracterização química, conforme exposto acima. Somente após os resultados dos ensaios laboratoriais e verificadas todas as condições é que o solo será liberado para a produção dos tijolos de solo-cimento (MERCADO, 1990).

Solos finos, normalmente, necessitam de teores mais elevados de cimento. Nesses casos, torna-se necessário a mistura de solos granulares, areia, em quantidades capazes de produzir uma mistura que atenda às características preconizadas. É importante destacar que não é qualquer tipo de solo que é apropriado e a sua escolha deve ser feita mediante o conhecimento de suas características que em resumo são a trabalhabilidade, granulometria e caracterização química (GRANDE, 2003).

Segundo a NBR 10832 (ABNT, 1989) e a NBR 10833, (ABNT 1989), de uma forma geral, os solos mais adequados para a fabricação de tijolos e a construção de paredes monolíticas de solo-cimento são os que possuem as seguintes características:

- % passante na peneira 4,8 mm (n. 4) .....100 %
- % passante na peneira 0.075 mm (n. 200).....10 % a 50 %
- Limite de liquidez (LL)..... = 45 %
- Índice de plasticidade (IP)..... = 18 %

Em geral, solos bons apresentam: de 45% a 85% de areia, de 20 % a 50 % de silte e argila, teor de argila menor que 20 % e LL = 45 % (GRANDE, 2003).

3.1.3 FATORES IMPORTANTES PARA O EMPREGO DO SOLO-CIMENTO

Um fator de grande importância que deve ser considerado para o emprego do solo-cimento é a durabilidade. Não adianta obter uma resistência mecânica especificada por Norma, se o

produto final ao longo do tempo for perdendo suas características físicas e químicas (FARIA, 1990).

Segundo Faria (1990), a escolha de um solo adequado, à produção correta dos blocos de solo-cimento, desde a dosagem até a cura, são etapas que determinarão maior ou menor durabilidade. Um outro ponto de fundamental importância para que se obtenham tijolos de solo-cimento com melhor resistência e durabilidade é a homogeneização da mistura solo e cimento. Somente desta forma, evitar-se-á que os tijolos tenham diferentes teores de cimento oriundos da mesma mistura.

Garcia (2000), afirmou que os procedimentos de mistura do solo-cimento, para produção de tijolos, blocos ou painéis de parede, devem ser: a preparação do solo (destorroamento, pulverização e peneiramento), a reparação da mistura (homogeneização seca e homogeneização da umidade) e a moldagem (uso efetivo).

Grande (2003) destacou que a compactação é muito importante para que os tijolos de solo-cimento atinjam uma resistência satisfatória. É necessário que a prensa que produz os tijolos, seja ela manual ou hidráulica, aplique a mesma carga de compactação, garantindo que os tijolos tenham a mesma resistência e dimensões.

Sabe-se também que a resistência é diretamente proporcional ao grau de compactação da mistura, pois não adianta ter uma mistura com elevado teor de cimento se a carga aplicada para prensagem da mistura não for suficiente.

A umidade necessária para a hidratação do cimento, pode ser satisfatoriamente suprida pela umidade ótima de compactação. No entanto, deve-se enfatizar a importância da homogeneização da mistura, de maneira que todo o cimento possa entrar em contato com o solo, garantindo, com isso, a qualidade dos tijolos de solo-cimento (GRANDE, 2003).

3.1.4 CIMENTO

O mercado nacional dispõe de oito opções, que atendem com igual desempenho aos mais variados tipos de obras. O cimento Portland comum (CP I) é referência, por suas características e propriedades, aos onze tipos básicos de cimento Portland disponíveis no mercado brasileiro [3].

[3] Fonte:http://www.abcp.org.br; acesso em 15/11/2005.

O tipo de cimento usado para fabricação dos tijolos de solo-cimento e produção do concreto celular foi o cimento Portland CP II F32.

3.1.5 ÁGUA

Segundo Souza e Ripper (1998), a água a ser utilizada para se produzir os tijolos de solo-cimento deve ser limpa - sem solo, óleo, galhos, folhas e raízes. Em outras palavras, água boa para o solo-cimento é água potável. Nunca se deve usar água servida (de esgoto humano ou animal, de cozinha, de fábricas, etc.) para se produzir os tijolos de solo-cimento.

A adição de água é um parâmetro que deve ser bem esclarecido, pois é o principal fator de controle da mistura. Pode-se dizer que a determinação correta da quantidade de água necessária para o melhor desempenho (a melhor compactação) da mistura é tão importante, ou até mais, quanto o teor de cimento.

3.1.6 MODELOS DE TIJOLOS DE SOLO-CIMENTO

A Figura 3.1 mostra o modelo de tijolo de solo-cimento empregado na construção de casas populares. As dimensões dos tijolos comumente usados em obras são: 10 x 20 x 5,0 (cm), 12,5 x 25 x 6,25 (cm) e 15 x 30 x 7,5 (cm) (GRANDE, 2003).

Figura 3.1 – Modelo de tijolos de solo-cimento.

A Figura 3.2 mostra o meio tijolo e a canaleta em solo-cimento que são partes integrantes da alvenaria em solo-cimento.

Figura 3.2 – Meio tijolo e canaleta de solo-cimento.

3.1.7 HISTÓRICO DO SOLO-CIMENTO NO ESTADO DO AMAZONAS

O solo-cimento começou a ser empregado no Estado do Amazonas em 1948, na forma de paredes monolíticas, quando foi construído o famoso Hospital Adriano Jorge, do Serviço Nacional de Tuberculose, em Manaus, edifício com 10.800 m² (ASSAYAG, 2003).

No ano de 2001, o Governo do Estado do Amazonas lançou o "Projeto Minha Casa", que tinha como objetivo a construção de casas populares em tijolos de solo-cimento, para famílias de baixa renda.

A construção das casas populares em solo-cimento teve início em março de 2002, com término em novembro do mesmo ano, com um saldo bastante positivo de 2.833 casas construídas. Este projeto tinha como objetivo a construção das casas em regime de mutirão, onde uma equipe composta por engenheiros, mestres de obra, pedreiros e serventes, ensinariam os beneficiários a construírem suas casas. Porém, este método não alcançou o sucesso esperado, pois os beneficiários não se adaptaram a esta forma de construir, obrigando o governo a contratar um expressivo número de profissionais, para o bom andamento do projeto.

Essas casas populares foram construídas tanto na capital quanto no interior do estado. Em Manaus, as casas foram construídas nos Bairros União da Vitória, Nova Floresta, João Paulo, Cidade de Deus, Amazonino Mendes e Grande Vitória, onde se procurou aproveitar a infra-estrutura existente, substituindo casas que estavam em péssimo estado de conservação, muitas vezes construídas de isopor ou papelão, por casas de tijolos de solo-cimento. Os municípios do interior beneficiados com a construção de casas populares em tijolos de solo-cimento foram Santa Izabel do Rio Negro, Barcelos e São Gabriel da Cachoeira.

No ano de 2003, uma nova administração assumiu o governo do estado, dando continuidade ao projeto de construção das casas populares em solo-cimento à população carente. O novo projeto, denominado "Projeto Cidadão", lançado pela SUHAB (Superintendência de Habitação e Assuntos Fundiários do Estado do Amazonas), além de dar uma moradia mais digna à população de baixa renda, procurou remover famílias que moravam à margem dos rios e dos igarapés, levando-as para um local com uma completa infra-estrutura, evitando com isso a poluição desses locais. O atual governo já construiu 2.275 casas populares, no modelo da apresentada na Figura 3.3.

Figura 3.3 – Casa de solo-cimento pronta para ser entregue à população.

Desta forma, de janeiro de 2003 a agosto de 2005, o governo do estado construiu quatro conjuntos habitacionais que fazem parte do "Projeto Cidadão", já entregues à população de baixa renda. O primeiro é o "Conjunto Cidadão", com 478 unidades habitacionais entregues em setembro de 2003, o segundo é o "Conjunto Amine Lindoso", com 73 imóveis destinados a portadores de hanseníase, entregue em 4 de outubro de 2003, o terceiro é o "Conjunto Carlos Braga", com 404 casas entregue em 20 de agosto de 2004, e o quarto é o "Conjunto João Paulo II", com 1.320 casas entregue em 27 de novembro de 2005. É importante destacar que os três primeiros conjuntos foram construídos usando a técnica construtiva do solo-cimento, enquanto que o quarto conjunto foi construído em concreto celular (http://www.suhab.am.gov.br).

A área da casa é de 33 m^2, construída num terreno de 128 m^2, atendendo às normas do plano diretor de Manaus. Cada casa tem um quarto, um banheiro, uma cozinha, uma sala e uma área de serviço, e é entregue a população gratuitamente.

No estado do Amazonas, existem pouquíssimas construções particulares que aplicam o solo-cimento como técnica construtiva. Dentre as poucas obras existentes, destaca-se a construção de um galpão industrial, conforme Figura 3.4, utilizando os tijolos de solo-cimento como alvenaria de vedação associada à estrutura reticulada.

Figura 3.4 – Galpão industrial em tijolos de solo-cimento.

3.2 CONCRETO CELULAR

Segundo a NBR 12646 (ABNT, 1990), concreto celular espumoso é um concreto leve obtido pela introdução de ar, com dimensões milimétricas, homogêneas, uniformemente distribuídas, estáveis, incomunicáveis e indeformadas ao fim do processo, cuja densidade de massa aparente no estado fresco deve estar compreendida entre 1.300 kg/m^3 e 1.900 kg/m^3. Destaca-se ainda que as bolhas de ar podem ser obtidas na forma de uma espuma pré-formada ou geradas no interior de um misturador por ação mecânica deste, devido a um agente espumante.

A ABCP (2002) afirmou que graças à extraordinária leveza pela incorporação de ar, o concreto celular espumoso foi usado, inicialmente, para o preenchimento de vãos de lajes, como isolante térmico, e na proteção mecânica de camadas impermeabilizantes. Com finalidades estruturais, os concretos celulares espumosos podem ser empregados com grande eficiência, sendo um material composto por agregados convencionais (areia/pedrisco), cimento Portland, água e minúsculas bolhas de ar distribuídas uniformemente em sua massa.

Por serem totalmente fluídos, os concretos celulares são auto-adensáveis, dispensando a necessidade de vibração de sua massa (o uso de vibrador é proibido, uma vez que este destruiria as bolhas de ar, descaracterizando o concreto celular). Esse fator representa um ganho significativo no processo construtivo, pois, além da maior velocidade, preserva a vida útil das fôrmas (FERREIRA, 1986).

3.2.1 CARACTERÍSTICAS GERAIS DO CONCRETO CELULAR

Segundo a ABCP (2002), o concreto celular apresenta geralmente as características mostradas na Tabela 3.1.

Tabela 3.1 – Características do concreto celular.

Resistência aos 28 dias de idade	fck = 2,5 MPa
Módulo de elasticidade	~ 5 GPa
Massa específica aparente	(1300 a 1900) kg/m^3
Absorção de água	(22 a 28) % (em massa)
Volume de vazios	(35 a 45) %
Cimento Portland	(280 a 320) kg/m^3
Areia: Módulo de finura (MF)	1,7 a 3,4
Água	(160 a 180) l/m^3
Aditivo espumígeno	0,6 l/m^3
Aditivo superplastificante	2 l/m^3
Fibras de polipropileno	1 kg/m^3

3.2.1.1 Aglomerante

A NBR 12646 (ABNT, 1990) afirmou que qualquer tipo de cimento Portland pode ser usado como aglomerante para a produção do concreto celular, observando ainda que devam ser usados somente cimentos que obedeçam às especificações das NBR 5732 (ABNT, 1980), NBR 5733 (ABNT, 1980), NBR 5735 (ABNT, 1980) e NBR 5736 (ABNT, 1980).

3.2.1.2 Agregados

O agregado utilizado para confecção do concreto celular é o agregado miúdo. O agregado miúdo usado é a areia, com as mesmas especificações existentes para a produção de concretos e argamassas.

A prática tem demonstrado que o uso de areias com granulometrias média (módulo de finura entre 2,60 e 2,70), resulta em misturas com características mecânicas e econômicas mais vantajosas, para o nível de qualidade do produto desejado (ABCP, 2002).

3.2.1.3 Espuma

A espuma é obtida por agentes espumantes, que são produtos de composição química capazes de produzir bolhas de ar estáveis no interior da pasta de cimento e argamassa (NBR 12646, 1990).

Existem dois tipos de extrato espumígeno: os sintéticos e os orgânicos. O extrato espumígeno deve ter composição química capaz de produzir bolhas de ar estáveis no concreto. Deverão

resistir aos esforços gerados pela mistura, bombeamento e lançamento do material. A alteração da massa específica do concreto até o início da pega do cimento é a forma mais adequada de avaliar a estabilidade de uma espuma (FERREIRA, 1986).

A espuma pode ser pré-formada para posterior incorporação à argamassa ou gerada dentro desta por agitação em misturador especial. Em ambos os casos devem ser respeitados os prazos de validade dos agentes espumantes, especificados pelos fabricantes.

As Figuras 3.5 e 3.6 mostram, respectivamente, a espuma de origem sintética, fundamental para a produção do concreto celular, e o misturador, equipamento onde são formados os agentes espumantes para serem adicionados à argamassa.

Figura 3.5 – Material espumígeno.

Figura 3.6 – Gerador de espuma.

3.2.2.4 Fibras

A incorporação de fibras ao concreto celular objetiva combater as tensões geradas pelas variações de temperatura e retração por perda de água da massa nas primeiras idades, aumentar a resistência à tração de forma a distribuir as eventuais micro-fissuras e, em maiores idades, aumentar a capacidade do material em suportar os esforços devido a impactos (BENTUR e MINDESS, 1990).

Porém, as paredes de concreto celular do "Conjunto Nova Cidade" têm apresentado um alto índice de fissuração, comprometendo a estanqueidade, segurança de utilização e estética da parede, assim produzida. A retração durante a secagem é considerada uma possível causa para a fissuração dos concretos celulares, pois quando ocorre a secagem rápida, a resistência à tração do concreto é insuficiente para resistir às forças causadas por uma retração rápida, resultando em fissuração (BARROS et al, 1998).

Teixeira (1992) destaca que a perda de água (retração inicial) mais as reações exotérmicas resultam em tensões internas que provocam a aproximação dos grãos, desta forma, quando o concreto é jovem, de baixa resistência, ocorrem fissuras, pois a maior parcela de retração ocorre nas primeiras idades, principalmente para misturas mais leves.

Segundo Ferreira (1986), os concretos celulares curados ao ar livre têm ainda um outro fator adverso que aumenta a sua retração ou seja, por ter a sua estrutura porosa, o gás carbônico da atmosfera tem fácil acesso ao interior da massa, o que provoca a carbonatação, que é um agravante do processo.

O concreto reforçado com fibras tem a habilidade de reduzir os efeitos da retração, e não a própria retração, pois as fibras agem reduzindo a espessura e o comprimento das fissuras, mas não as eliminam (PADRON & ZOLLO; 1990).

Ao estudar a influência do teor de fibras de polipropileno no concreto celular, Lawrence et. al (1998) puderam observar que os corpos-de-prova mantidos numa câmara seca foram os que apresentaram maior área de fissuração superficial, enquanto que os que foram mantidos numa câmara úmida apresentaram uma baixa área de fissuração.

A Figura 3.7 mostra as embalagens das fibras que são utilizadas no concreto celular.

Figura 3.7 – Embalagens das fibras de polipropileno.

3.2.2.5 Aditivo

De acordo com Ferreira (1986), existem vários tipos de aditivos para o concreto celular, cada um destinado a uma finalidade, com o objetivo de dar ao concreto uma certa característica como acréscimo de resistência aos esforços mecânicos, melhoria da trabalhabilidade, diminuição da higroscopia, diminuição da retração, aumento da durabilidade, possibilidade de

retirada dos cimbres e fôrmas em curto prazo, diminuição do calor de hidratação, retardamento ou aceleração da pega, etc.

Segundo Teixeira (1992), na mistura utiliza-se um super-fluidificante, com função de diminuir a relação água-cimento, sem que o concreto celular perca sua trabalhabilidade, bem como aumentar a resistência inicial. Com isto, a retração por higroscopia se torna muito pequena, por conseqüência, as tensões internas diminuem, tendendo a evitar o aparecimento de fissuras. Os super-fluidificantes tornam o concreto celular um líquido de baixa viscosidade, podendo ser auto-nivelante e fundido em vez de vibrado.

Ripper (2001) afirmou, ainda que os super-fluidificantes reduzem a água necessária ao amassamento em até 30 %, chegando-se à relações água/cimento da ordem de 0,28-0,30 e, em conseqüência, altas resistências iniciais e finais, também com cimento comum e consumos normais, permitindo com isso uma deforma mais rápida.

3.2.3 HISTÓRICO DO CONCRETO CELULAR NO ESTADO DO AMAZONAS

Segundo Assayag (2003), a tecnologia em concreto celular começou a ser empregada no Estado do Amazonas, como alvenaria de habitação popular, desde 1982. A construtora Tambaú Ltda foi a pioneira na utilização do concreto celular, tendo produzido no período de 1982 a 1988, 1.200 casas no "Conjunto Habitacional Nova Cidade" (figura 3.8).

Figura 3.8 – Unidade habitacional do Conjunto Nova Cidade.

Durante os anos de 2000 a 2004, foram construídas 8.595 unidades habitacionais em concreto celular no "Conjunto Nova Cidade". Estas casas foram entregues em sua maioria, às mais diversas classes de funcionários públicos estaduais (policiais civis e militares, professores, etc). Outra parte deste número tão expressivo está sendo entregue a população de baixa renda

que mora à margem dos rios e dos igarapés, deslocando-as para as casas do "Conjunto Nova Cidade" (figura 3.9).

Figura 3.9 – Unidade habitacional do Conjunto Nova Cidade.

O lançamento do "Projeto Cidadão" pelo Governo do Estado do Amazonas, no ano de 2003, além de construir casas populares em tijolos de solo-cimento, passou também a usar o mesmo sistema construtivo usado no "Conjunto Nova Cidade". Estas casas, construídas em concreto celular, apresentam o mesmo modelo e objetivo (remover as famílias que moram às margens dos igarapés para estes conjuntos) que as casas construídas em alvenaria de solo-cimento [4].

No inicio do ano de 2004, dando continuidade ao "Projeto Cidadão", o Governo do Estado do Amazonas iniciou a construção do quarto Conjunto Cidadão, o "Conjunto Habitacional João Paulo II". Este conjunto foi construído usando a técnica do concreto celular com 1.320 unidades habitacionais, adotando o mesmo modelo dos demais "Conjuntos Cidadão". O quinto "Conjunto Cidadão" teve seu início em janeiro de 2006 onde estão sendo construídas 1.422 unidades habitacionais em alvenaria de concreto celular.

Destaca-se ainda que algumas construtoras particulares em Manaus empregam a técnica do concreto celular, para construção de casas para classe média.

[3] Fonte:http://www.sulab.am.gov.br; acesso em 10/1/2005

CAPÍTULO 4

DESCRIÇÃO DAS ETAPAS CONSTRUTIVAS

Apresenta-se neste capítulo a descrição das etapas construtivas de uma unidade habitacional de cada sistema construtivo (solo-cimento e concreto celular), bem como, algumas características dos tijolos de solo-cimento e do concreto celular.

4.1 TIJOLOS DE SOLO-CIMENTO

Os tijolos de solo-cimento empregados na construção das casas populares foram produzidos tanto em máquinas manuais quanto em máquinas hidráulicas. Os tijolos apresentam as dimensões de 25 cm (comprimento), 12,5 cm (largura) e 6,25 cm (altura). Foram empregados canaletas de solo-cimento nas mesmas dimensões dos tijolos e meio tijolo nas dimensões 12,5 cm (comprimento), 12,5 cm (largura) e 6,25 cm (altura).

Os materiais usados para produção dos tijolos de solo-cimento foram: solo, cimento e água. Os tijolos foram produzidos na dosagem de 1:10 (uma parte de cimento para dez partes de solo) quando produzidos em máquina industrial e 1:8 (uma parte de cimento para oito partes de solo) quando produzidos em máquina manual. As medidas das dosagens foram realizadas em volume com umidade do solo de no máximo 10%.

4.2 CONCRETO CELULAR

O volume de concreto celular empregado em uma casa é de 7,5 m^3, 5,5 m^3 de argamassa (cimento e areia) e os outros 2,0 m^3 são obtidos pela incorporação do agente espumante, super-fluidificante, fibras de polipropileno e água.

Destaca-se que os 5,5 m^3 de argamassa (transportada pelo caminhão betoneira), oriunda da usina de concreto, devem apresentar por m^3: 280 kg de cimento, 2420 kg de areia, e “slump” no máximo igual a 2 cm.

O traço utilizado para produção de 7,5 m^3 de concreto celular é descrito abaixo:

- 5 litros de material espumígeno;
- 15 litros do super-fluidificante;
- 7 kg de fibras de polipropileno;
- 195 litros de água;
- 5,5 m^3 de argamassa.

4.3 ETAPAS CONSTRUTIVAS DO SOLO-CIMENTO

4.3.1 LOCAÇÃO

Os terrenos onde as casas foram construídas estão nivelados com um leve caimento. A locação foi feita com a colocação de piquetes nos quatro cantos da casa e nos encontros de paredes, observando-se o nível e o esquadrejamento da área a ser construída. Em seguida, são esticadas as linhas que servirão para o alinhamento do baldrame e da parede.

As Figuras 4.1 e 4.2 mostram respectivamente, a execução de uma fundação tipo baldrame e fundações prontas locadas nos terrenos.

Figura 4.1 – Detalhe da execução da locação.

Figura 4.2 – Terreno com fundações locadas.

4.3.2 FUNDAÇÃO E COLOCAÇÃO DAS INSTALAÇÕES HIDRO-SANITÁRIAS

A fundação do tipo sapata corrida é executada em bloco de concreto estrutural de 4,5 MPa de resistência à compressão, medindo 14x19x39 cm. Dependendo do nível do terreno, será necessário ou não assentar uma ou mais fiadas de blocos, com o objetivo de nivelar o baldrame para que em seguida sejam assentadas as canaletas de concreto. As canaletas, com as mesmas dimensões dos blocos de concreto, são assentadas sobre os mesmos, colocando-se em seguida as treliças em aço CA-60.

Em todos os encontros de vigas baldrame são executados pilaretes de dimensão 12x12 cm, com altura dependendo do nível do baldrame; a armadura destes pilaretes apresentam quatro barras de aço de 10 mm de diâmetro, e estribos de 4,2 mm, a cada 15 cm, objetivando dar maior estabilidade à fundação (figura 4.3). Antes de concretar as canaletas de concreto da fundação, amarram-se as armaduras verticais em aço CA-50 bitola 6,3 mm nas treliças em aço CA-60, gerando um engastamento entre a parede e a fundação (figura 4.4).

Figura 4.3 – Vista geral da fundação em bloco de concreto estrutural.

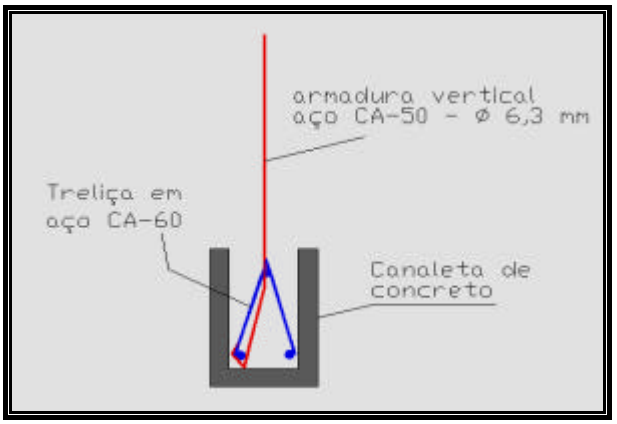

Figura 4.4 – Detalhe da amarração da armadura vertical na treliça da fundação.

Um efetivo de três pedreiros e três serventes executam, tanto a locação quanto a fundação de uma casa em um dia. No segundo dia, aterra-se o baldrame com um solo bastante arenoso compactando-o com soquete manual; somente após a perfeita compactação e colocação das tubulações hidro-sanitárias (figura 4.5), é que se realiza a concretagem das canaletas e do contrapiso com concreto de 9 MPa.

Figura 4.5 – Instalações hidro-sanitárias.

4.3.3 PRIMEIRA FIADA DOS TIJOLOS DE SOLO-CIMENTO

Ainda no segundo dia, o mesmo efetivo (três pedreiros e três serventes) assenta a primeira fiada de tijolos de solo-cimento, que deve ser bem nivelada e alinhada. Esta primeira fiada é assentada com argamassa de cimento e areia no traço 1:3, logo após a concretagem das canaletas de concreto da fundação e do contrapiso (figura 4.6). Destaca-se que as armaduras verticais das paredes passam diretamente dentro dos furos dos tijolos de solo-cimento, conforme posição indicada na Figura 4.7.

Figura 4.6 – Detalhe da primeira fiada.

Figura 4.7 – Planta baixa da casa de solo-cimento.

4.3.4 ALVENARIA EM TIJOLOS DE SOLO-CIMENTO

No terceiro dia os tijolos de solo-cimento são assentados por gravidade, ou seja, somente colocados um sobre o outro, devendo-se a cada oito fiadas conferir o prumo da parede com nível de mão. Tal execução objetiva ter maior produtividade e menor desperdício de mão-de-obra. A casa tem um pé direito de 2,70 m, o equivalente a quarenta e uma fiadas de tijolos de solo-cimento que devem ficar nivelados e aprumados, como ilustra as Figuras 4.8 e 4.9.

Figura 4.8 – Assentamento dos tijolos de solo-cimento.

Figura 4.9 – Conferindo o prumo da alvenaria de solo-cimento.

A cada oito fiadas, nos encontros de paredes, os furos dos tijolos de solo-cimento são grampeados, intertravados e em seguida concretados, garantindo que o sistema tenha uma melhor amarração. Da mesma forma, a cada oito fiadas, todos os furos dos tijolos de solo-cimento que contém armaduras verticais são concretados (figuras 4.10 e 4.11).

Figura 4.10 – Amarração das paredes com grampo tipo U produzido com aço CA-60 bitola 4,2 mm.

Figura 4.11 – Preenchimento dos furos dos tijolos com concreto.

4.3.4.1 Execução da primeira cinta

Na décima sexta fiada é executada uma cinta de amarração (primeira cinta) que serve também como contra-verga para as janelas. A primeira cinta é executada com canaletas de solo-cimento (figura 3.2), nas mesmas dimensões dos tijolos, onde são adicionadas duas barras de aço de diâmetro de 6,3 mm, ao longo de toda sua extensão, e em seguida, concretada (figura 4.12).

Figura 4.12 – Detalhe da concretagem da primeira cinta.

4.3.4.2 Assentamento das esquadrias

Após concretada a primeira cinta, as janelas são colocadas para que posteriormente as demais fiadas sejam assentadas. As portas são colocadas logo após o nivelamento da primeira fiada, e, na parte superior das esquadrias se coloca uma verga executada com canaletas de solo-cimento adicionando duas barras de aço CA-50 de 6,3 mm de diâmetro concretando-as em seguida.

A Figura 4.13 mostra o assentamento das esquadrias, ao mesmo tempo em que as fiadas de tijolos de solo-cimento são assentadas.

Figura 4.13 - Assentamento das esquadrias.

Da mesma forma que a primeira cinta, a segunda cinta também é executada com canaletas de solo-cimento com duas barras de aço CA-50, com diâmetro de 6,3 mm em toda a sua extensão, e concretada. Esta cinta de amarração está localizada na última fiada da parede antes de se executar a empena.

4.3.4.3 Parede de solo-cimento rejuntado

Depois de concluída a elevação das paredes, as mesmas são rejuntadas. O rejuntamento se faz com argamassa preparada manualmente no local da construção no traço 1:3 (uma medida de cimento e três medidas de areia). As medidas das dosagens para o preparo da argamassa são em volume.

Após o preparo da argamassa, as juntas das paredes em tijolos de solo-cimento são rejuntadas com argamassa, fazendo com que a mesma fique mais rígida.

4.3.4.4 Parede de solo-cimento rebocado

Após a elevação das paredes executam-se o reboco com argamassa preparada manualmente no traço 1:3 (uma medida de cimento e três medidas de areia) medidas das dosagens em volume.

O reboco além de aumentar a rigidez da parede de solo-cimento lhe proporcionando maior estabilidade, faz com que a mesma tenha um melhor acabamento em virtude da camada de revestimento que é executada para cobrir e regularizar as imperfeições.

Todos estes serviços de alvenaria, assentamento e concretagem da cinta de amarração e assentamento das esquadrias, são executados pela mesma equipe (três pedreiros e três serventes) em dois dias.

4.3.5 ESTRUTURA METÁLICA E COLOCAÇÃO DAS TELHAS DE COBERTURA

No quinto dia, a empena é executada de acordo com a inclinação do telhado. A estrutura metálica da cobertura e o telhamento são executados logo após o término da empena, que deve possuir inclinação conforme especificado em projeto.

A estrutura metálica para o recebimento das telhas é em perfil C metálico, nas dimensões 75x40x20x2,0x5,950 mm, chumbados diretamente nas colunas de concreto armado dos tijolos. O tipo de telha usada para cobertura das casas é a telha de fibrocimento sem amianto, nas dimensões 0,50 m x 2,44 m e espessura 4 mm (figuras 4.14 e 4.15).

Figura 4.14 – Detalhe da estrutura metálica da cobertura em perfil C.

Figura 4.15 – Cobertura das casas em duas águas.

4.3.6 PINTURA E ACABAMENTO

No sexto dia, conforme já mencionado, as casas rejuntadas e rebocadas são pintadas com tinta acrílica (figura 3.3). Na parede de solo-cimento rejuntada a pintura é aplicada diretamente sobre os tijolos, enquanto que na parede de solo-cimento rebocada a pintura é aplicada diretamente sobre o reboco. Nesta mesma etapa instalam-se as louças sanitárias, luminárias e a caixa d'água com todos os acessórios.

Uma unidade habitacional em solo-cimento é construída por uma equipe de três pedreiros e três serventes em seis dias úteis.

4.4 ETAPAS CONSTRUTIVAS DO CONCRETO CELULAR

4.4.1 LOCAÇÃO E FUNDAÇÃO

Tanto a locação quanto a fundação das casas em concreto celular seguem o mesmo padrão das casas em solo-cimento tendo a mesma produtividade (um dia) com uma idêntica equipe (três pedreiros e três serventes). A grande diferença é que parte do contrapiso das casas em concreto celular é executado somente onde a fôrma será montada em uma faixa de 40 cm de largura. Esta etapa é diferenciada pelo fato de, ao se encher as formas com concreto celular, os respingos do concreto sobre o piso da casa faz com que o contrapiso fique bastante prejudicado (figura 4.16).

Figura 4.16 – Fundação de uma casa em concreto celular.

4.4.2 MONTAGEM DAS FÔRMAS

A moldagem das paredes é feita em fôrmas de compensados de 20 mm de espessura (com dispositivos que garantem os alinhamentos, prumos e esquadros) com todos os embutidos (instalações elétricas, hidráulicas e sanitárias, bem como esquadrias) já conectados à mesma, garantindo assim a padronização. Em seguida, é colocada ao longo de toda a fôrma uma malha de tela soldada em aço CA-60, com espaçamento na longitudinal e na transversal de 15 cm e diâmetro de 3,4 mm, que fica apoiada diretamente na canaleta de concreto da fundação. Diretamente na tela são colocados espaçadores de 5 cm de diâmetro para evitar que a mesma encoste na forma, ficando aparente após a concretagem.

A figura 4.17 mostra o painel interno das formas, as telas eletrosoldadas apoiadas diretamente na canaleta de fundação, a tubulação e as caixas das instalações elétricas, bem como o posicionamento dos espaçadores e das telas de aço eletrosoldadas. A Figura 4.18 mostra a forma da parede executada pronta para receber o concreto celular.

Figura 4.17 – Detalhe das telas de aço e instalações elétricas nas paredes.

Figura 4.18 – Detalhe das formas das casas de concreto celular.

As Figuras 4.19 e 4.20 mostram respectivamente, a adição de fibras de polipropileno e de aditivos (material espumígeno e super-fluidificantes) na argamassa, para produção do concreto celular.

Figura 4.19 – Adição de fibras de polipropileno no caminhão betoneira.

Figura 4.20 – Adição do material espumígeno e do super-fluidificante.

As tubulações das instalações hidro-sanitárias são pré-montadas no próprio canteiro de obras e montadas em forma de kits, que são testados sob pressão hidráulica antes da aplicação dos mesmos. São também formados kits de elétrica, armadura das vergas e contra-vergas das esquadrias e demais acessórios que se deseja embutir.

A forma modular leve é de fácil manuseio, permitindo no caso de casas, que sua montagem completa, com todos os kits, seja feita em meio dia de trabalho deixando para a outra metade a concretagem, desta forma, se produz uma casa por dia.

Após a execução de todas as etapas (montagem da forma, colocação das instalações elétrica e hidro-sanitária), inicia-se o fechamento das formas, preparando a mesma para o recebimento do concreto. O caminhão betoneira chega à obra com 5,5 m^3 de argamassa, indo diretamente para a central de dosagem localizada no canteiro de obras, onde são adicionados os componentes do concreto celular e, em seguida, se efetua a pesagem de uma amostra da argamassa para se obter a densidade.

No dia seguinte, as paredes estarão prontas para serem desformadas. Por isso, a equipe que faz a montagem das fôrmas, composta por dois carpinteiros e dois ajudantes, inicia a desfôrma às quatro horas da madrugada, realizando em seguida a montagem. Este processo leva em média oito horas para ser executado. Somente então, a equipe de concretagem, composta por seis

serventes, realizam o enchimento das paredes com o concreto celular, que dura em média três horas para ser executado desde a dosagem até o lançamento.

Em um dia e meio, todas estas etapas, desde a desfôrma, embutimento das instalações hidro-sanitária, elétrica, montagem das fôrmas e concretagem são concluídas.

4.4.3 ESTRUTURA METÁLICA E COLOCAÇÃO DAS TELHAS DA COBERTURA

Tanto a colocação dos perfis metálicos quanto a colocação das telhas das unidades habitacionais, em concreto celular, seguem o mesmo padrão das casas em solo-cimento.

4.4.4 EMASSAMENTO

Logo depois de concluída a cobertura, inicia-se o emassamento de todas as paredes internas e externas com argamassa traço 1:3 (uma parte de cimento e três partes de areia) medidas em volume. O objetivo deste emassamento é regularizar todas as paredes que geralmente apresentam muitas irregularidades após a desfôrma (figura 4.21). Uma equipe composta por um pedreiro e um servente, usando a desempenadeira de aço para corrigir as imperfeições das paredes, realiza o emassamento de uma casa em um dia.

Figura 4.21 – Irregularidades das paredes após a desfôrma.

4.4.5 PINTURA E ACABAMENTO

Tanto a pintura quanto o acabamento das casas em concreto celular seguem o mesmo padrão das casas em solo-cimento (figura 4.22). Nesta etapa se executa a colocação de louças e metais, pintura das esquadrias metálicas, caiação das paredes internas e textura nas paredes externas. O efetivo de três pedreiros e três serventes executa esta etapa em um dia e meio.

Figura 4.22 – Casas em concreto celular pronta para serem entregue à população.

Desta forma, pode-se afirmar que uma unidade habitacional em concreto celular é construída em seis dias úteis, apresentando em cada etapa construtiva uma equipe diferente.

CAPÍTULO 5

EXPERIMENTAÇÃO E RESULTADOS

5.1 REALIZAÇÃO DOS ENSAIOS

Os ensaios para avaliar o desempenho estrutural das unidades habitacionais de solo-cimento e concreto celular foram executados nos conjuntos habitacionais, conforme tabela 5.1.

Tabela 5.1 – Unidades habitacionais avaliadas

C habitacional	Sistema construtivo	Tipo de ensaio	Qtdes. avaliadas	Qtdes construídas
N. Cidade	C. celular parc. armado.	Estado limite de utilização	60	500
João Paulo II – 1ª etapa	Concreto celular armado.		89	293
Conjunto Carlos Braga	Solo-cimento rejuntado e rebocado.		72*	427
Conjunto Cidadão	Concreto celular armado e parcialmente armado.	Ensaio de impacto de corpo mole	03	500
Conjunto Carlos Braga	Solo-cimento rejuntado e rebocado.		03	427
Conjunto Cidadão	Concreto celular armado e parcialmente armado.	Ensaio de impacto de corpo duro	03	500
Conjunto Carlos Braga	Solo-cimento rejuntado e rebocado		03	427
Conjunto Cidadão	Concreto celular armado e parcialmente armado.	Ensaio de interação entre paredes e portas	03	500
Conjunto Carlos Braga	Solo-cimento rejuntado e rebocado.		03	427
Conjunto Cidadão	Concreto celular armado e parcialmente armado.	Ensaio de peças suspensas	03	500
Conjunto Carlos Braga	Solo-cimento rejuntado e rebocado.		03	427
Conjunto Cidadão	Concreto celular armado e parcialmente armado.	Ensaio de sustentação de rede de dormir	03	500
Conjunto Carlos Braga	Solo-cimento rejuntado e rebocado.		03	427

*Destaca-se que das setenta e duas unidades habitacionais em solo-cimento avaliadas no conjunto Carlos Braga, doze estavam rebocadas (reboco executados pelos próprios moradores) e sessenta estavam rejuntadas (fôrma entregue pelo Governo do Estado do Amazonas aos moradores).

A Tabela 5.2 mostra a localização das unidades habitacionais de solo-cimento e concreto celular onde foram realizados os ensaios.

Tabela 5.2 – Localização das unidades habitacionais avaliadas.

Tipo de ensaio	Localização	Sistema construtivo
Estado limite de utilização	Conjunto João Paulo II – Lotes 49 a 137 das ruas Padre Luis Ruas e Avenida Pastor Alcebíades conforme Figura 5.1.	Concreto celular armado.
	Conjunto N. Cidade – Lotes 1 a 30 da quadra 01 e lotes 1 a 30 da quadra 02, conforme Figura 5.2	Conc. celular parcia armado.
	Conjunto Carlos Braga – Lotes 46 a 69 da quadra 03, lotes 70 a 93 da quadra 04 e lotes 94 a 117 quadra 05, conforme Figura 5.3	Solo-cimento rejuntado e rebocado.
Impacto de corpo mole	Conjunto Cidadão V – Casa 7, rua principal 2, conforme Figura 5.4. Conjunto Cidadão VI – Casas 148 e 149, rua E, conforme Figura 5.5.	Concreto celular armado.
	Conjunto Cidadão V – Casa 3, rua principal 2 e casa 11 rua 213, conforme Figura 5.4. Conjunto Cidadão VI – Casa 94, rua D, conforme Figura 5.5.	Concreto celular parcialmente armado.
	Conjunto Carlos Braga – Casas 81, 80 e 78 da rua Irmã Dulce, conforme Figura 5.3	Solo-cimento rejuntado.
	Conjunto Carlos Braga – Casas 40 e 57 da rua Homero e casa 78 da rua Irmã Dulce, conforme figura 5.3.	Solo-cimento rebocado.
Impacto de corpo duro	Conjunto Cidadão V – Casa 7, rua principal 2, conforme Figura 5.4. Conjunto Cidadão VI – Casas 148 e 149, rua E, conforme Figura 5.5.	Concreto celular armado.
	Conjunto Cidadão V – Casa 3, rua principal 2 e casa 11 rua 213, conforme Figura 5.4. Conjunto Cidadão VI – Casa 94, rua D, conforme Figura 5.5.	Concreto celular parcialmente armado.
	Conjunto Carlos Braga – Casas 81, 80 e 78 da rua Irmã Dulce, conforme Figura 5.3	Solo-cimento rejuntado.
	Conjunto Carlos Braga – Casas 40 e 57 da rua Homero e casa 78 da rua Irmã Dulce, conforme figura 5.3.	Solo-cimento rebocado.
Peças suspensas	Conjunto Cidadão V – Casa 7, rua principal 2, conforme Figura 5.4. Conjunto Cidadão VI – Casas 148 e 149, rua E, conforme Figura 5.5.	Concreto celular armado.
	Conjunto Cidadão V – Casas 3 e 6, rua principal 2 e casa 11 rua 212, conforme Figura 5.4.	Conc.celular parc. armado.
	Conjunto Carlos Braga – Casas 81, 80 e 78 da rua Irmã Dulce, conforme Figura 5.3	Solo-cimento rejuntado.
	Conjunto Carlos Braga – Casas 40 e 57 da rua Homero e casa 78 da rua Irmã Dulce, conforme apresentado na Figura 5.3.	Solo-cimento rebocado.

Interação entre paredes e portas	Conjunto Cidadão V – Casa 7, rua principal 2, conforme Figura 5.4. Conjunto Cidadão VI – Casas 148 e 149, rua E, conforme Figura 5.5.	Concreto celular armado.
	Conjunto Cidadão V – Casas 3 e 6, rua principal 2 e casa 11 rua 212, conforme Figura 5.4.	C. celular parc armado.
	Conjunto Carlos Braga – Casas 81, 80 e 78 da rua Irmã Dulce, conforme Figura 5.3	Solo-cimento rejuntado.
	Conjunto Carlos Braga – Casas 40 e 57 da rua Homero e casa 78 da rua Irmã Dulce, conforme apresentado na figura 5.3.	Solo-cimento rebocado.
Sustentação de rede de dormir	Conjunto Cidadão V – Casa 7, rua principal 2, conforme Figura 5.4. Conjunto Cidadão VI – Casas 148 e 149, rua E, conforme Figura 5.5.	Concreto celular armado.
	Conjunto Cidadão V – Casas 3 e 6, rua principal 2 e casa 11 rua 212, conforme Figura 5.4.	C. celular parc armado.
	Conjunto Carlos Braga – Casas 81, 80 e 78 da rua Irmã Dulce, conforme Figura 5.3	Solo-cimento rejuntado
	Conjunto Carlos Braga – Casas 40 e 57 da rua Homero e casa 78 da rua Irmã Dulce, conforme figura 5.3.	Solo-cimento rebocado.

A Figura 5.1 mostra o urbanismo do "Conjunto Habitacional João Paulo II" construído através da técnica construtiva de concreto celular armado e parcialmente armado onde foram realizados os ensaios para avaliar o desempenho estrutural.

Figura 5.1 – Urbanismo do Conjunto João Paulo II

A Figura 5.2 mostra o urbanismo do "Conjunto Habitacional Nova Cidade" construído através da técnica construtiva em concreto celular parcialmente armado, onde foram realizados os ensaios para avaliar o desempenho estrutural.

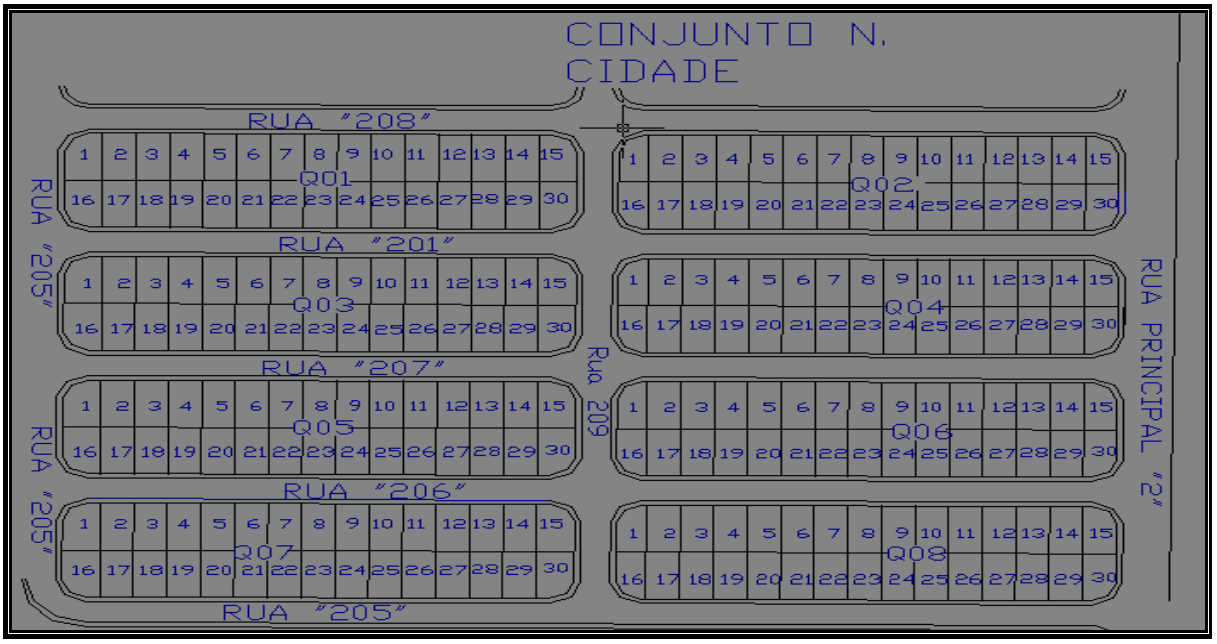

Figura 5.2 – Urbanismo do Conjunto Nova Cidade.

A Figura 5.3 mostra o urbanismo do "Conjunto Habitacional Carlos Braga" construído através da técnica construtiva solo-cimento rejuntado e rebocado, onde foram realizados os ensaios para avaliar o desempenho estrutural.

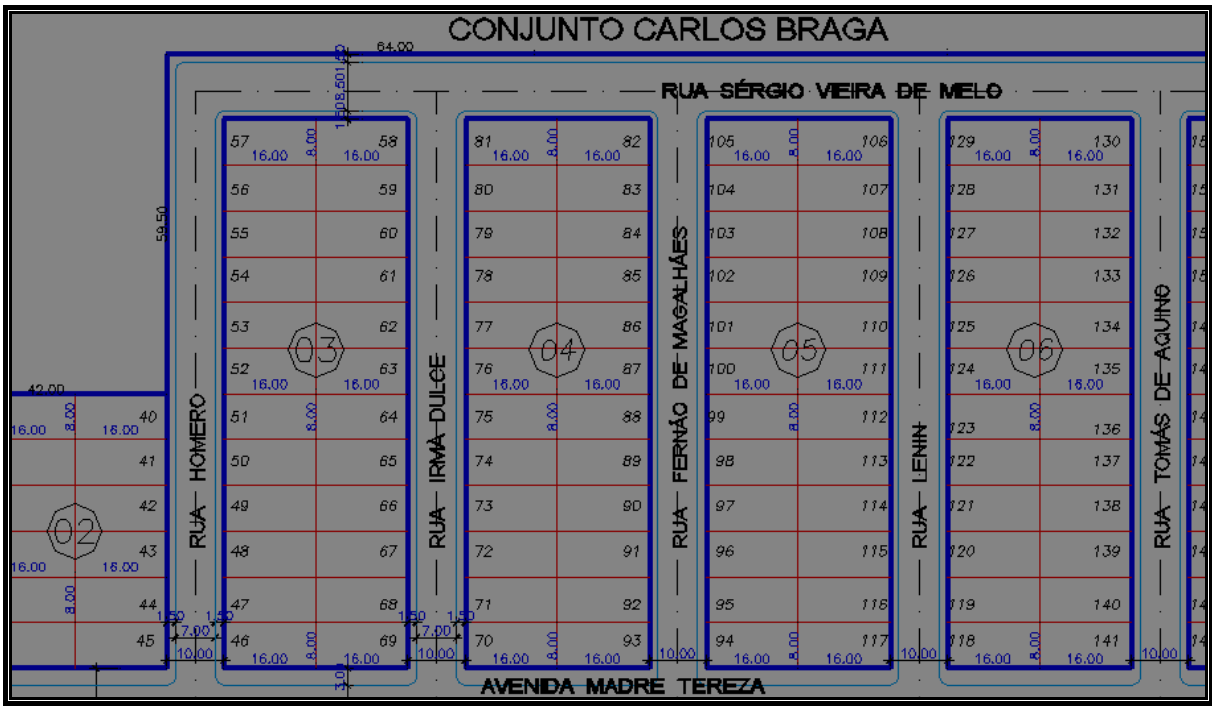

Figura 5.3 – Urbanismo do Conjunto Carlos Braga.

A Figura 5.4 mostra o urbanismo do "Conjunto Cidadão V" construído através da técnica construtiva solo-cimento rejuntado e rebocado, onde foram realizados os ensaios para avaliar o desempenho estrutural.

Figura 5.4 – Urbanismo do Conjunto Cidadão V.

A Figura 5.5 mostra o urbanismo do "Conjunto Cidadão VI" construído através da técnica construtiva solo-cimento rejuntado e rebocado, onde foram realizados os ensaios para avaliar o desempenho estrutural.

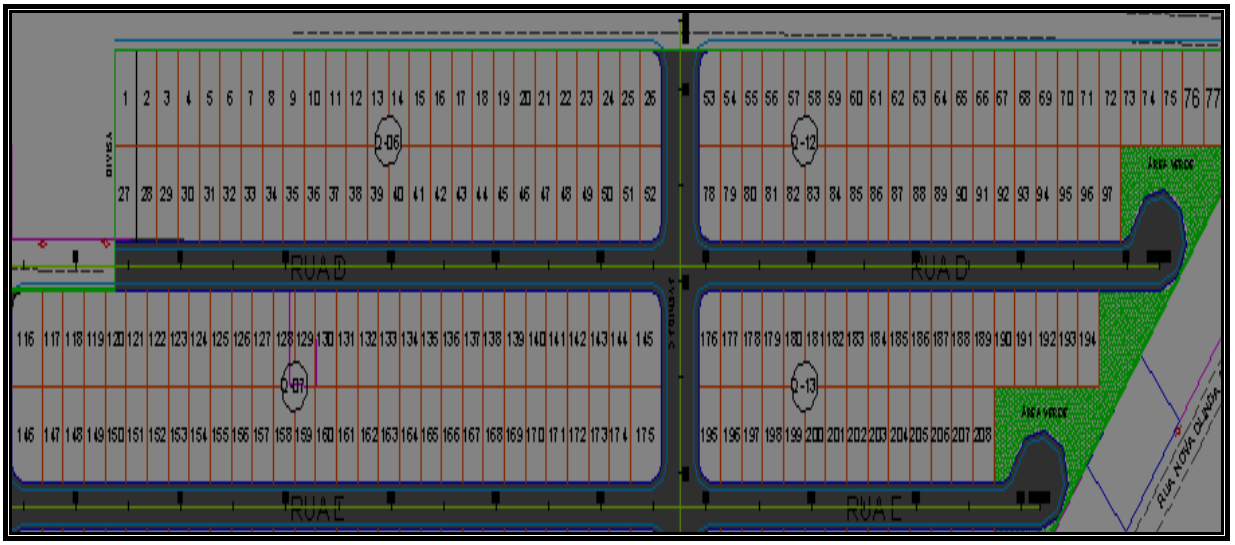

Figura 5.5 – Urbanismo do Conjunto Cidadão VI.

5.2 ESTADO LIMITE DE UTILIZAÇÃO (ELS)

5.2.1 MÉTODOS DE AVALIAÇÃO

As unidades habitacionais avaliadas já estão construídas e em funcionamento (entregues a população) há mais de um ano. Desta forma, conclui-se que estas casas estão com as devidas cargas de serviço impostas (cargas verticais, vento, temperatura etc), portanto, a verificação dos deslocamentos limites e a observância dos critérios propostos no item 2.2.2 desta pesquisa, foram avaliadas no próprio campo.

As avaliações das unidades habitacionais foram realizadas de duas formas: a primeira, através de inspeções visuais, procurando observar fissuras, lascamentos, destacamentos e fraturas, e a segunda, através de medições, onde, com o auxílio de instrumentos específicos, procurou-se observar as aberturas e deslocamentos limites.

5.2.2 INSTRUMENTOS

Os instrumentos necessários para se realizar as inspeções com o objetivo de verificar se o desempenho estrutural das unidades habitacionais em estudo atende aos critérios dos estados limites de utilização, estabelecidos pelo Projeto de Norma 02.136.001.02 (ABNT, 2004) são os seguintes:

- Paquímetro com resolução igual ou inferior a 0,1 mm;
- Nível de mão;
- Mangueira de nível;
- Prumo de face;
- Régua de alumínio;
- Trena metálica de 5 m.

5.2.3 RESULTADOS DAS INSPEÇÕES VISUAIS E MEDIÇÕES

Foram inspecionadas as residências dos conjuntos habitacionais (construídos pelo Governo do Estado do Amazonas), conforme Tabela 5.1. As unidades habitacionais foram escolhidas após

uma conversa informal com os moradores, geralmente líderes comunitários, objetivando encontrar possíveis patologias para se realizar as devidas avaliações.

O Projeto de Norma 02.136.01.001 e 02.136.01.002 (ABNT, 2004) indica que o valor máximo das aberturas de fissuras nas unidades habitacionais de solo-cimento e concreto celular, deve ser o menor entre os valores especificados na NBR 6118 (ABNT, 2003), NBR 9062 (ABNT, 2001) ou aberturas de 0,4 mm. Descarta-se que os valores indicados na NBR 9062 (ABNT, 2001) não serão considerados neste estudo, pois os mesmos referem-se a projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado.

A NBR 6118 ABNT, (2003) indica que para o concreto armado o valor das aberturas de fissuras nas classes de agressividades ambiental II (agressividade moderada, ambiente urbano e risco de deterioração da estrutura pequeno) e III (agressividade forte, ambiente marinho ou industrial e risco de deterioração da estrutura grande) devem ser menores ou iguais a 0,3 mm.

Desta forma, as unidades habitacionais em concreto celular armado devem apresentar aberturas de fissuras menores ou iguais a 0,3 mm, enquanto que as demais unidades (concreto celular parcialmente, solo-cimento rejuntado e rebocado) devem apresentar valores de aberturas de fissuras menores ou iguais a 0,4 mm.

Portanto, as inspeções realizadas objetivaram encontrar possíveis falhas nas unidades habitacionais, conforme critérios de desempenho estabelecidos no item 2.2.2 deste trabalho, onde os deslocamentos limites apresentados devem ser menores do que os indicados na tabela 2.2 (p.17). As aberturas das fissuras devem ser menores do que 0,3 mm para as paredes de concreto celular armado e 0,4 mm para as paredes de concreto celular parcialmente armado, solo-cimento rejuntado e rebocado, não apresentando qualquer outra falha como lascamentos, fraturas localizadas, destacamentos, etc.

5.2.3.1 Parede de solo-cimento rejuntado

A Tabela 5.3 apresenta os resultados das avaliações realizadas nas unidades habitacionais construídas através da técnica construtiva de solo-cimento rejuntado. As casas de solo-cimento rejuntado onde foram realizadas as inspeções visuais e as medições pertencem ao "Conjunto Habitacional Carlos Braga", conforme Tabela 5.2 (p.50).

Tabela 5.3 – Avaliação do critério Estado Limite de Utilização – parede de solo-cimento rejuntada.

Sistema construtivo	Qtde de casas avaliadas	Qtde de casas que apresentaram patologias	Tipo de patologia apresentada
Solo-cimento rejuntada.	60	35	- 33 casas apresentaram destacamentos de tijolos - 21 casas apresentaram fissuras visíveis a olho nu.

As Figuras 5.6 e 5.7 mostram respectivamente, uma unidade habitacional que apresentou fissuras visíveis a olho nu por um observador situado a 1 m de distância e outra unidade que apresentou destacamento dos tijolos e fissuras.

Figura 5.6 –Fissuras numa residência de solo-cimento rejuntado.

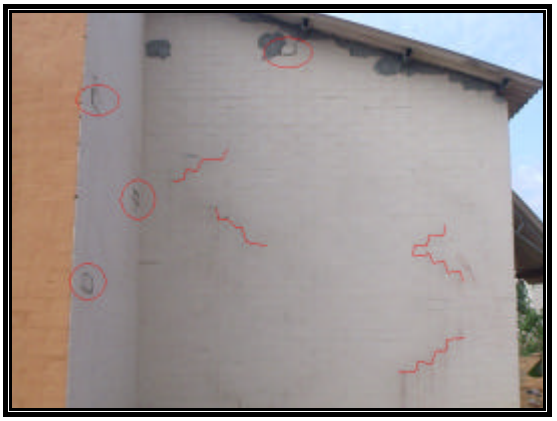

Figura 5.7 – Fissuras e destacamento de tijolos numa residência de solo-cimento rejuntado.

5.2.3.2 Parede de Solo-cimento rebocado

A Tabela 5.4 apresenta os resultados das avaliações realizadas nas unidades habitacionais construídas através da técnica construtiva de solo-cimento rebocado. As casas de solo-cimento rebocado onde foram realizadas as inspeções visuais e as medições pertencem ao "Conjunto Habitacional Carlos Braga", conforme Tabela 5.2 (p. 50).

Tabela 5.4 – Avaliação do critério Estado Limite de Utilização – parede de solo-cimento rebocada.

Sistema construtivo	Qtde de casas avaliadas	Qtde de casas que apresentaram patologias	Tipo de patologia (descrição)
Solo-cimento rejuntado.	12	0	- Nenhuma

5.2.3.3 Parede de concreto celular armado

A Tabela 5.5 apresenta os resultados das avaliações realizadas nas unidades habitacionais construídas através da técnica construtiva de concreto celular armado. As casas de concreto celular armado onde foram realizadas as inspeções visuais e as medições pertencem ao "Conjunto Habitacional João Paulo II", conforme Tabela 5.2 (p.50).

Tabela 5.5 – Avaliação do critério Estado Limite de Utilização – parede de concreto celular armada.

Sistema construtivo	Qtde de casas avaliadas	Qtde de casas que apresentaram patologias	Tipo de patologia (descrição)
Solo-cimento rejuntado.	89	0	- Nenhuma

5.2.3.4 Parede de concreto celular parcialmente armado

A Tabela 5.6 apresenta os resultados das avaliações realizadas nas unidades habitacionais construídas através da técnica construtiva de concreto celular parcialmente armado. As casas de concreto celular parcialmente armado onde foram realizadas as inspeções visuais e as medições pertencem ao "Conjunto Habitacional Nova Cidade", conforme Tabela 5.2 (p.50).

Tabela 5.6 – Avaliação do critério Estado Limite de Utilização – parede de concreto celular parcialmente armada.

Sistema construtivo	Qtde de casas avaliadas	Qtde de casas que apresentaram patologias	Tipo de patologia (descrição)
Solo-cimento rejuntado.	60	21	- 21 casas apresentaram fissuras visíveis a olho nu, sendo que 12 casas apresentaram aberturas maiores que 1 cm.

As Figuras 5.8 e 5.9 mostram respectivamente, uma unidade habitacional que apresentou fissuras visíveis olho nu por um observador situado a 1 m de distância e outra unidade que apresentou destacamento dos tijolos e fissuras.

Figura 5.8 – Fissura vedada numa residência de concreto celular parcialmente armado.

Figura 5.9 – Abertura numa residência de concreto celular parcialmente armado.

5.3 RESISTÊNCIA À IMPACTO DE CORPO MOLE

5.3.1 MÉTODO DE AVALIAÇÃO PARA RESISTÊNCIA A IMPACTOS DE CORPO MOLE

Este ensaio procura reproduzir impactos de corpo mole decorrentes de choques acidentais provocados pelo próprio uso da edificação ou choques provocados por intrusões intencionais ou não (figura 5.10).

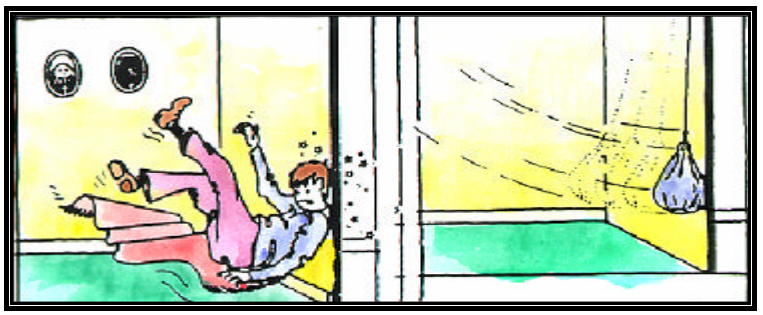

Figura 5.10 – Representação do ensaio de impacto de corpo mole.
Fonte: http://www.usp.br/fau/disciplinas/aut0186/aut_0186_desempenho_2006.pdf.

A verificação da resistência e deslocamento das paredes é realizada por meio de ensaios de impacto, a serem realizados em laboratório, em protótipo ou obra. O corpo-de-prova deve incluir todos os componentes típicos do sistema. Um corpo impactador com massa (m) definida, é suspenso por um cabo e abandonado em movimento pendular de uma altura (h) até atingir a parede (tabela 5.6). Devem ser registrados os deslocamentos e as ocorrências (eventuais falhas) - (ABNT - projeto 02.136.01.004, 2004).

Os deslocamentos serão registrados usando-se um paquímetro de profundidade com resolução igual ou inferior a 0,1 mm. Coloca-se o paquímetro no lado oposto da parede onde serão produzidas as energias de impactos de corpo mole (figura 5.11). Após cada impacto é realizada a leitura no paquímetro e a parede é inspecionada visualmente. Depois de 15 minutos é feita a leitura da deformação residual.

Apresenta-se na Tabela 5.7 a massa do corpo impactador e a altura correspondente à energia de impacto para realização do ensaio de impacto de corpo mole.

Tabela 5.7 – massa do corpo impactador, altura e energia de impacto (ensaio de impacto de corpo mole).

Impactador	m (kg)	h (m)	E (J)
Corpo mole de acordo com a NBR 11675/90 um impacto para cada energia	40	0.15	60
		0.30	120
		0.45	180
		0.60	240
		0.90	360
		1.20	480
		1.80	720
		2.40	960

Fonte: Projeto de Norma 02.136.01.001 (ABNT, 2004).

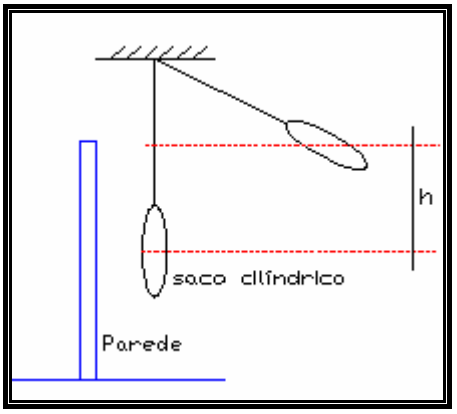

Figura 5.11 – Ensaio de impacto de corpo mole (altura e energia de impacto)

As Figuras 5.12 e 5.13 ilustram, respectivamente, o paquímetro colocado no lado oposto da parede para registro dos deslocamentos, devido aos impactos e a realização do ensaio de impacto de corpo mole nas unidades habitacionais de solo-cimento e concreto celular.

Figura 5.12 – Colocação do paquímetro para registrar os deslocamentos.

Figura 5.13 – Realização do ensaio de corpo mole.

5.3.2 APARELHAGEM

A aparelhagem necessária está de acordo com a MB 3256 (1990), sendo a seguinte:

- Paquímetro com resolução igual ou inferior a 0,1 mm;
- Saco cilíndrico, com diâmetro de 350 mm e altura aproximada de 900 mm, contendo, no seu interior, areia seca e serragem, com peso total de 400 N, para ser usado como corpo mole.
- Sistema pendular constituído de um suporte com altura superior à altura da parede a ser ensaiada;
- Fio de aço destinado à sustentação do saco cilíndrico.

5.3.3 RESULTADOS DOS ENSAIOS

Conforme Tabela 2.3 (p.19) as paredes de solo-cimento e concreto celular devem apresentar respectivamente para energia de impacto de 240 J, valores de deslocamento horizontal imediato (d_{hi}) e horizontal residual (d_{hr}) de no máximo 10,8 e 2,16 mm. O Projeto de Norma 02.136.01.004 (ABNT, 2004) determina que os valores máximos de deslocamentos horizontal imediato e residual que as paredes devem apresentar para energia de impacto de 240 J, são obtidos pela expressão:

- $d_{hi} = \frac{H}{250}$;
- $d_{hr} = \frac{H}{1250}$.

Sabendo que a altura da parede (H) é igual a 270 cm.

Os ensaios foram realizados tomando como referência o nível de desempenho mínimo e intermediário, que estabelece as energias de impactos e os critérios de desempenho estabelecidos para as unidades habitacionais ensaiadas, conforme indicado na tabela 2.3 (p.19).

5.3.3.1 Parede de solo-cimento rejuntada

A Tabela 5.8 mostra os resultados das três unidades habitacionais obtidos devido ao ensaio de impacto de corpo mole na parede de solo-cimento rejuntado. As casas de solo-cimento rejuntadas onde foram realizados os ensaios pertencem ao "Conjunto Habitacional Carlos Braga", conforme tabela 5.2 (p.50).

Tabela 5.8 – Resultado do ensaio de impacto de corpo mole – parede de solo-cimento rejuntadf.

	Casa 81		Casa 80		Casa 78			
Energia (J)	dh_i (mm)	dh_r (mm)	dh_i (mm)	dh_r (mm)	dh_i (mm)	dh_r (mm)	dh_i-limite (mm)	dh_r-limite (mm)
60	1,00	0,00	0,83	0,00	0,90	0,00	---------	----------
120	1,80	0,10	1,20	0,00	1,75	0,00	---------	----------
180	2,20	0,17	1,80	0,00	2,10	0,10	---------	----------
240	3,50	0,23	2,67	0,15	2,55	0,20	10,8	2,16
360	3,70	0,33	3,20	0,23	3,80	0,20	---------	----------
480	6,80	0,42	7,80	0,45	9,20	0,40	---------	----------
720	11,77	0,70	15,20	1,50	13,33	1,00	---------	----------
960	19,77	2,05	21,20	2,00	22,95	2,20	---------	----------

Onde: d_{hi} – deslocamento horizontal imediato;
d_{hr} – deslocamento horizontal residual.

Nas casas 81, 80 e 78, foi observado durante os ensaios, que partir da energia de impacto de 720 J, as paredes de solo-cimento rejuntadas começaram a apresentar falhas, como destacamento de tijolos e fissuras (figuras 5.14 e 5.15), apresentando para o nível de

desempenho intermediário, resultado satisfatório, conforme critério exigido indicado na Tabela 2.3 (p.19).

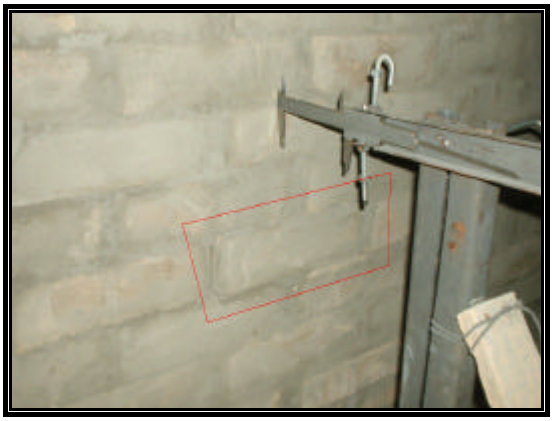

Figura 5.14 – Destacamento de tijolos – parede de solo-cimento rejuntado.

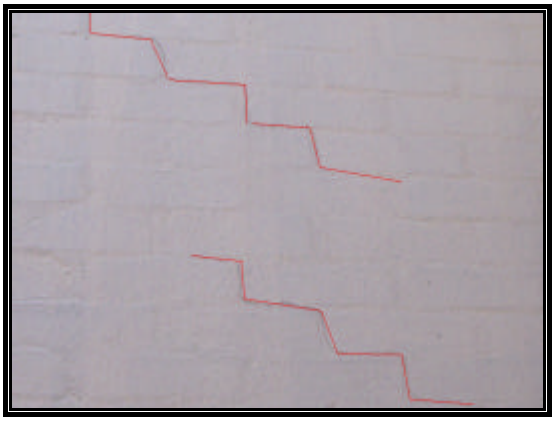

Figura 5.15 – Fissuras na parede – parede de solo-cimento rejuntado.

A Figura 5.16 mostra o gráfico dos deslocamentos horizontais imediatos e horizontal imediato limite das três unidades habitacionais em solo-cimento rejuntada.

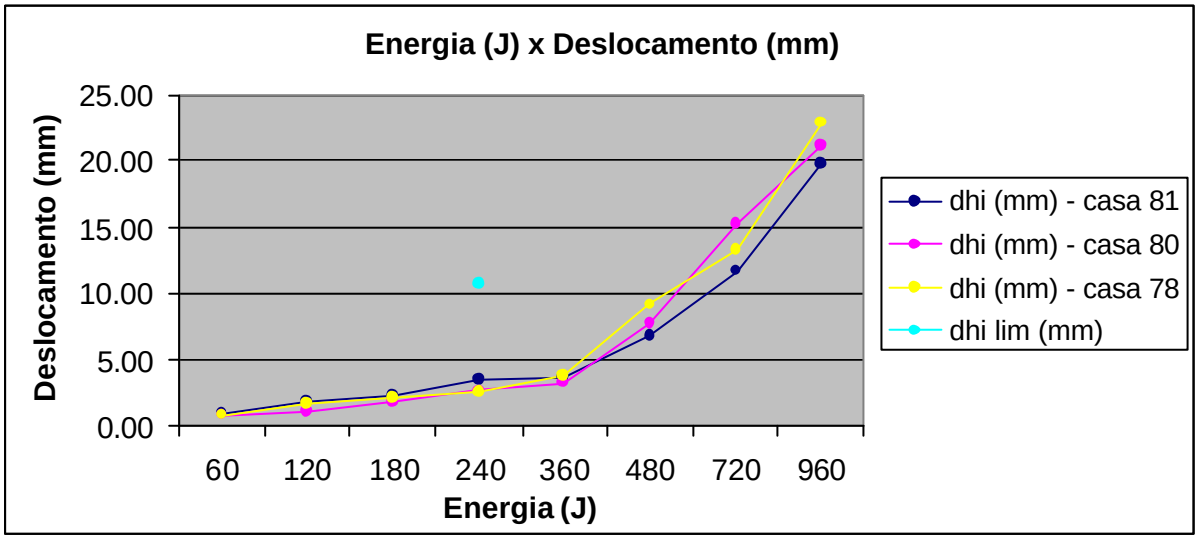

Figura 5.16 – Gráfico dos deslocamentos horizontais imediatos das três unidades habitacionais de solo-cimento rejuntadas devido ao ensaio de impacto de corpo mole.

A Figura 5.17 mostra o gráfico dos deslocamentos horizontais residuais e horizontal residual limite das três unidades habitacionais em solo-cimento rejuntada.

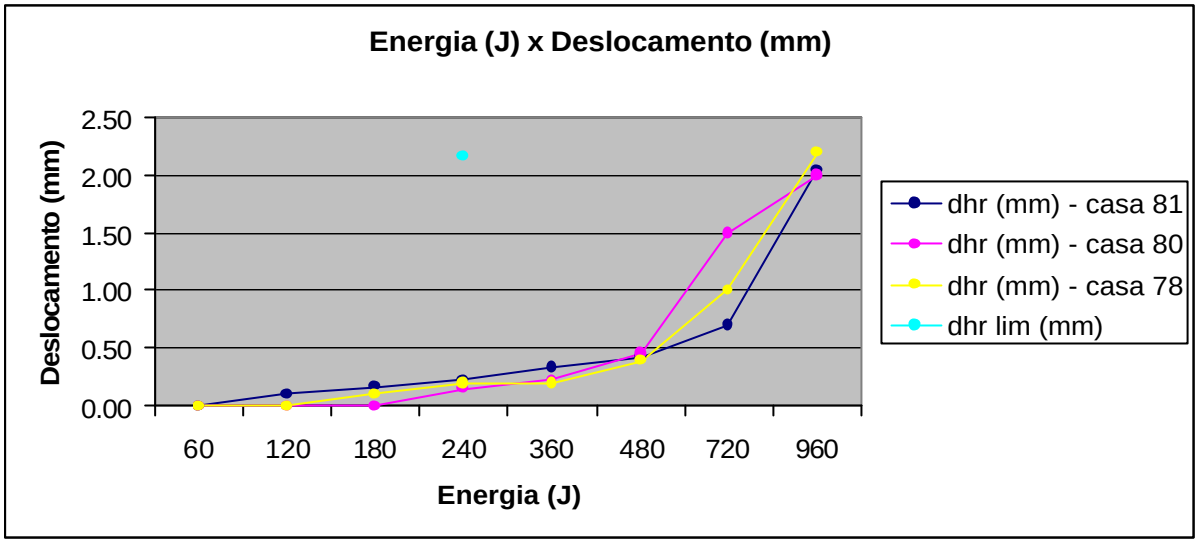

Figura 5.17 – Gráfico dos deslocamentos horizontais residuais das três unidades habitacionais de solo-cimento rejuntadas devido ao ensaio de impacto de corpo mole.

5.3.3.2 Parede de solo-cimento rebocada

A Tabela 5.9 mostra os resultados das três unidades habitacionais obtidos devido ao ensaio de impacto de corpo mole na parede de solo-cimento rebocada. As casas de solo-cimento rebocadas onde foram realizados os ensaios pertencem ao "Conjunto Habitacional Carlos Braga", conforme Tabela 5.2 (p. 50).

Tabela 5.9 – Resultado do ensaio de impacto de corpo mole – parede de solo-cimento rebocada.

	Casa 40		Casa 57		Casa 78			
Energia (J)	dh_i (mm)	dh_r (mm)	dh_i (mm)	dh_r (mm)	dh_i (mm)	dh_r (mm)	dh_i-limite (mm)	dh_r-limite (mm)
60	0,10	0,00	0,20	0,00	0,35	0,00	---------	----------
120	0,33	0,00	0,44	0,00	0,55	0,00	---------	----------
180	0,65	0,00	0,67	0,00	0,75	0,00	---------	----------
240	0,88	0,12	0,97	0,07	1,13	0,00	10,8	2,16
360	2,33	0,33	2,22	0,12	2,85	0,20	---------	----------
480	4,78	0,43	5,50	0,33	7,40	0,40	---------	----------
720	7,80	0,63	8,33	0,66	8,75	0,75	---------	----------
960	8,45	0,88	8,70	0,78	9,75	0,95	---------	----------

Onde: d_{hi} – deslocamento horizontal imediato;
d_{hr} – deslocamento horizontal residual.

Nas casas 80, 81 e 78, foi observado durante os ensaios de impacto de corpo mole, que as paredes de solo-cimento rebocadas não apresentaram falhas que pudesse comprometer o bom

desempenho do sistema construtivo, apresentando para o nível de desempenho intermediário, resultado satisfatório.

A Figura 5.18 mostra o gráfico dos deslocamentos horizontais imediatos e horizontal imediato limite das três unidades habitacionais em solo-cimento rebocada.

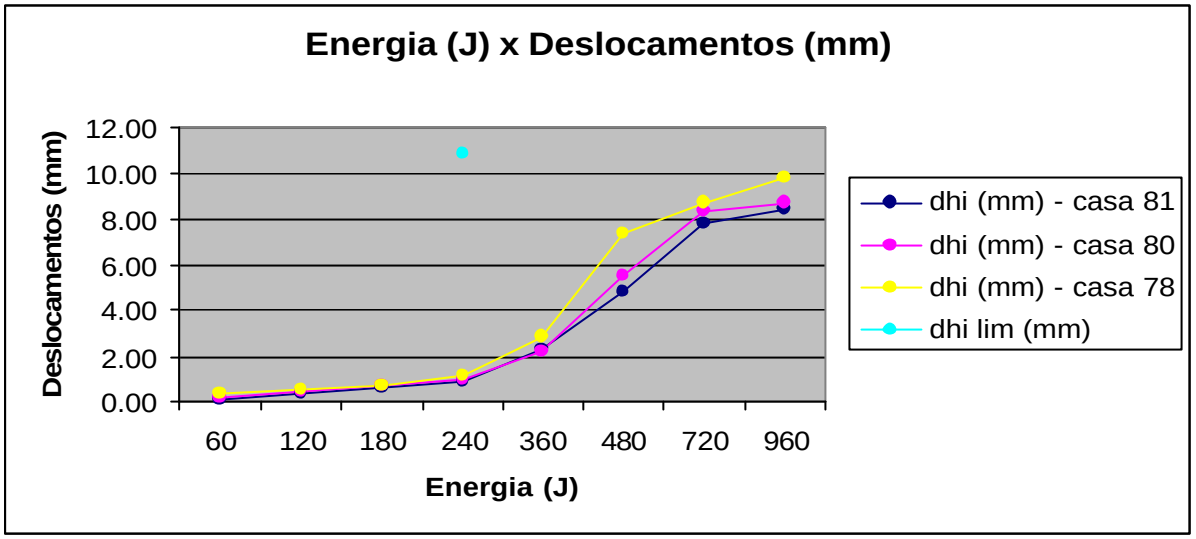

Figura 5.18 – Gráfico dos deslocamentos horizontais imediatos das três unidades habitacionais de solo-cimento rebocadas devido ao ensaio de impacto de corpo mole.

A Figura 5.19 mostra o gráfico dos deslocamentos horizontais residuais e horizontal residual limite das três unidades habitacionais em solo-cimento rebocada.

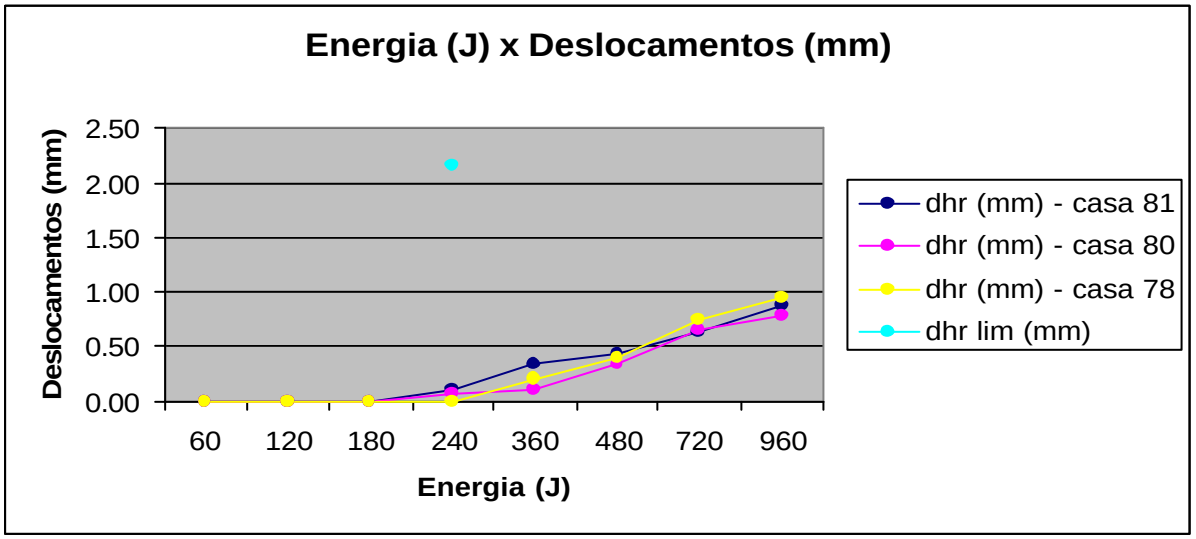

Figura 5.19 – Gráfico dos deslocamentos horizontais residuais das três unidades habitacionais de solo-cimento rebocadas devido ao ensaio de impacto de corpo mole.

5.3.3.3 Parede de concreto celular armada

A Tabela 5.10 mostra os resultados das três unidades habitacionais obtidos devido ao ensaio de impacto de corpo mole na parede de concreto celular armada. As casas de concreto celular armado onde foram realizados os ensaios pertencem ao "Conjunto Habitacional Cidadão V" e "Conjunto Habitacional Cidadão VI", conforme tabela 5.2 (p. 50).

Tabela 5.10 – Resultado do ensaio de impacto de corpo mole – parede concreto celular armado.

	Casa 7		Casa 148		Casa 149			
Energia (J)	dh_i (mm)	dh_r (mm)	dh_i (mm)	dh_r (mm)	dh_i (mm)	dh_r (mm)	dh_i-limite (mm)	dh_r-limite (mm)
60	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	---------	----------
120	0,75	0,00	0,80	0,00	0,90	0,00	---------	----------
180	0,98	0,00	1,45	0,10	1,80	0,00	---------	----------
240	2,67	0,22	2,22	0,23	2,35	0,35	10,8	2,16
360	5,12	0,37	5,78	0,28	5,20	0,38	---------	----------
480	6,20	0,43	6,27	0,35	6,30	0,45	---------	----------
720	7,33	0,48	7,13	0,46	7,23	0,52	---------	----------
960	9,89	1,13	9,45	0,98	10,20	1,55	---------	----------

Onde: d_{hi} – deslocamento horizontal imediato;
d_{hr} – deslocamento horizontal residual.

Nas casas 80, 81 e 78, foi observado durante os ensaios, que a partir da energia de impacto de 720 J, as paredes de concreto celular armada começaram a apresentar falhas, como fissuras (figura 5.20), apresentando para o nível de desempenho intermediário, satisfatório, conforme critério exigido indicado na Tabela 2.3 (p. 19).

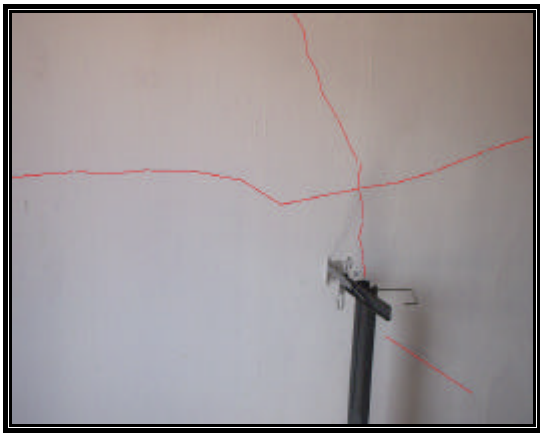

Figura 5.20 – Fissuras – Parede de concreto celular armada.

A Figura 5.21 mostra o gráfico dos deslocamentos horizontais imediatos e horizontal imediato limite das três unidades habitacionais em concreto celular armada.

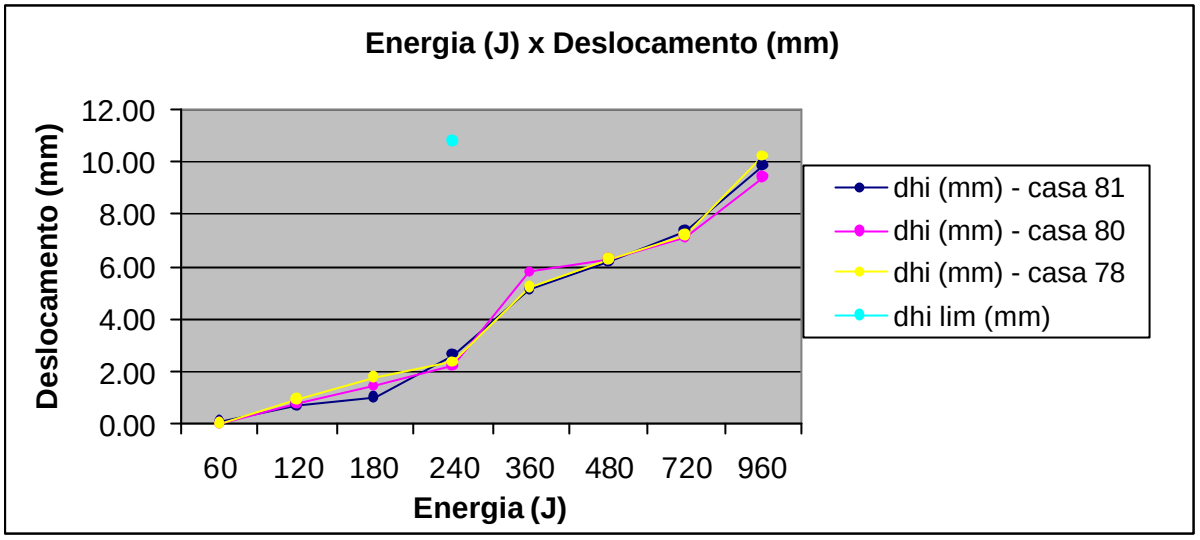

Figura 5.21 – Gráfico dos deslocamentos horizontais imediatos das três unidades habitacionais de concreto celular armada devido ao ensaio de impacto de corpo mole.

A Figura 5.22 mostra o gráfico dos deslocamentos horizontais residuais e horizontal residual limite das três unidades habitacionais em concreto celular armada.

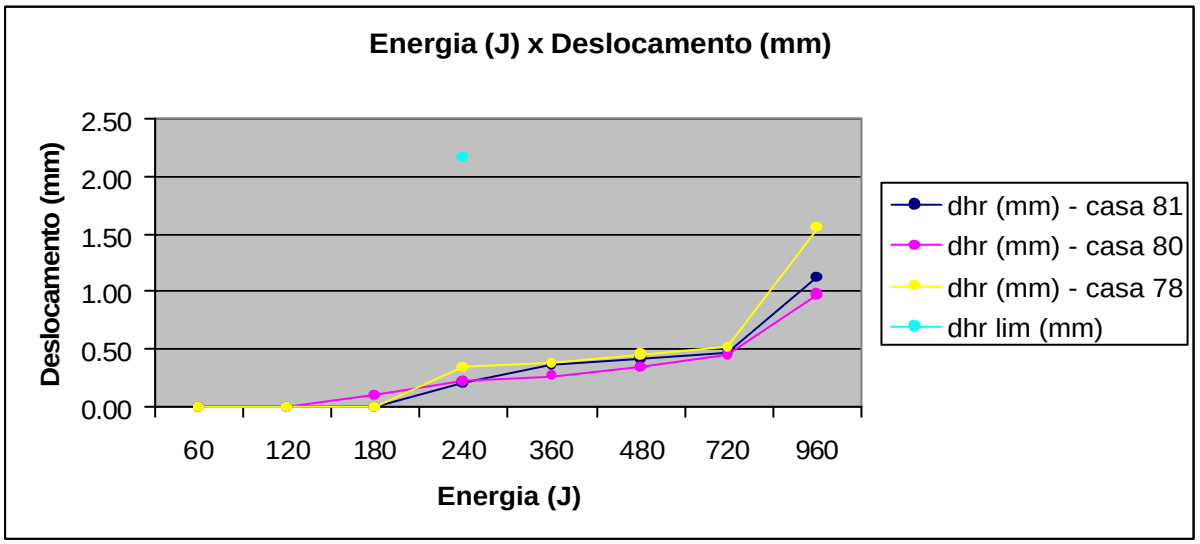

Figura 5.22 – Gráfico dos deslocamentos horizontais residuais das três unidades habitacionais de concreto celular armada devido ao ensaio de impacto de corpo mole.

5.3.3.4 Parede de concreto celular parcialmente armada

A Tabela 5.11 mostra os resultados das três unidades habitacionais obtidos devido ao ensaio de impacto de corpo mole na parede de concreto celular parcialmente armada. As casas de

concreto celular parcialmente armada onde foram realizados os ensaios pertencem ao "Conjunto Habitacional Cidadão V" e "Conjunto Habitacional Cidadão VI", conforme Tabela 5.2 (p. 50).

Tabela 5.11 – Resultado do ensaio de impacto de corpo mole – parede de concreto celular parcialmente armada.

	Casa 3		Casa 11		Casa 94			
Energia (J)	dh_i (mm)	dh_r (mm)	dh_i (mm)	dh_r (mm)	dh_i (mm)	dh_r (mm)	dh_i-limite (mm)	dh_r-limite (mm)
60	1,23	0,00	1,33	0,00	2,65	0,00	---------	----------
120	2,33	0,23	2,22	0,12	3,20	0,00	---------	----------
180	3,33	1,12	4,45	0,56	5,15	0,00	---------	----------
240	5,67	3,34	6,67	3,22	7,30	3,50	10,8	2,16
360	12,23	6,67	13,23	5,56	15,00	7,80	---------	----------
480	17,23	12,34	22,34	13,44	29,3	14,20	---------	----------
720	28,87	16,33	32,12	17,22	----	----	---------	----------
960	----	----	----	----	----	----	---------	----------

Onde: d_{hi} – deslocamento horizontal imediato;
d_{hr} – deslocamento horizontal residual.

Nas casas 80, 81 e 78, foi observado durante os ensaios, que partir da energia de impacto de 240 J, as paredes de concreto celular parcialmente armada começaram a apresentar falhas, como fissuras (figura 5.23) e a partir da energia de impacto de 480 J, as unidades habitacionais começaram a apresentar a ocorrência de ruína gerando a interrupção do ensaio de impacto de corpo mole (figura 5.24).

Figura 5.23 – Fissuras – Parede de concreto celular parcialmente armada.

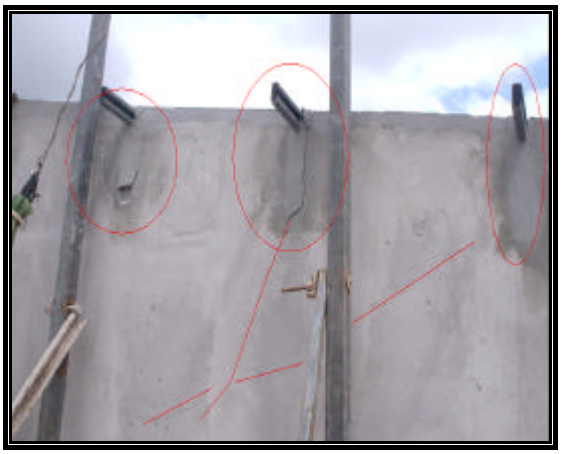

Figura 5.24 – Ocorrência de ruína – Parede de concreto celular parcialmente armada.

A Figura 5.25 mostra o gráfico dos deslocamentos horizontais imediatos e horizontal imediato limite das três unidades habitacionais em concreto celular parcialmente armada.

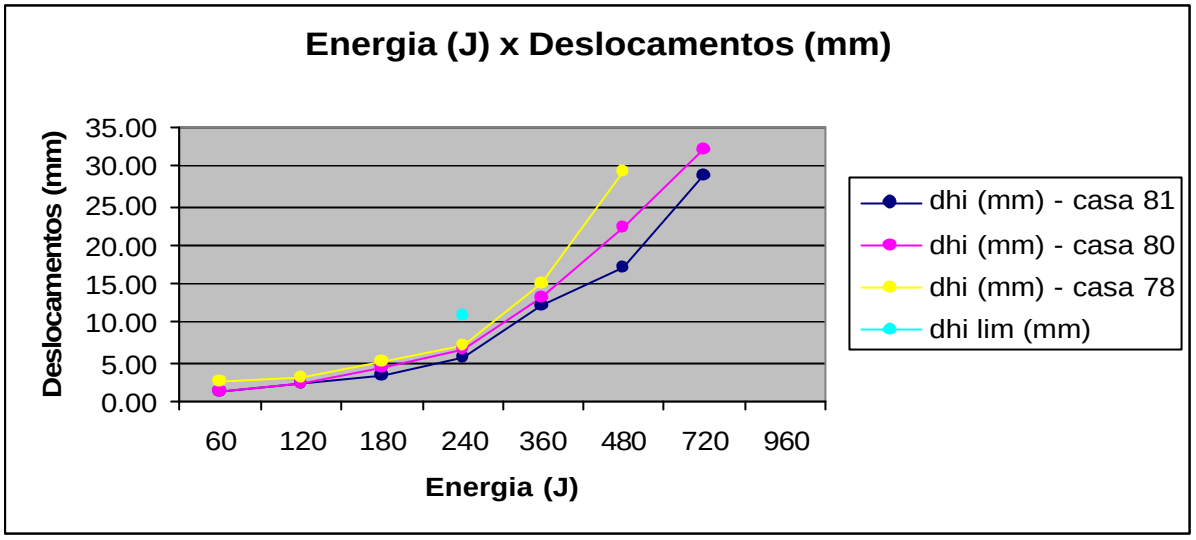

Figura 5.25 – Gráfico dos deslocamentos horizontais imediatos das três unidades habitacionais de concreto celular parcialmente armada devido ao ensaio de impacto de corpo mole.

A Figura 5.26 mostra o gráfico dos deslocamentos horizontais residuais e horizontal residual limite das três unidades habitacionais em concreto celular parcialmente armada.

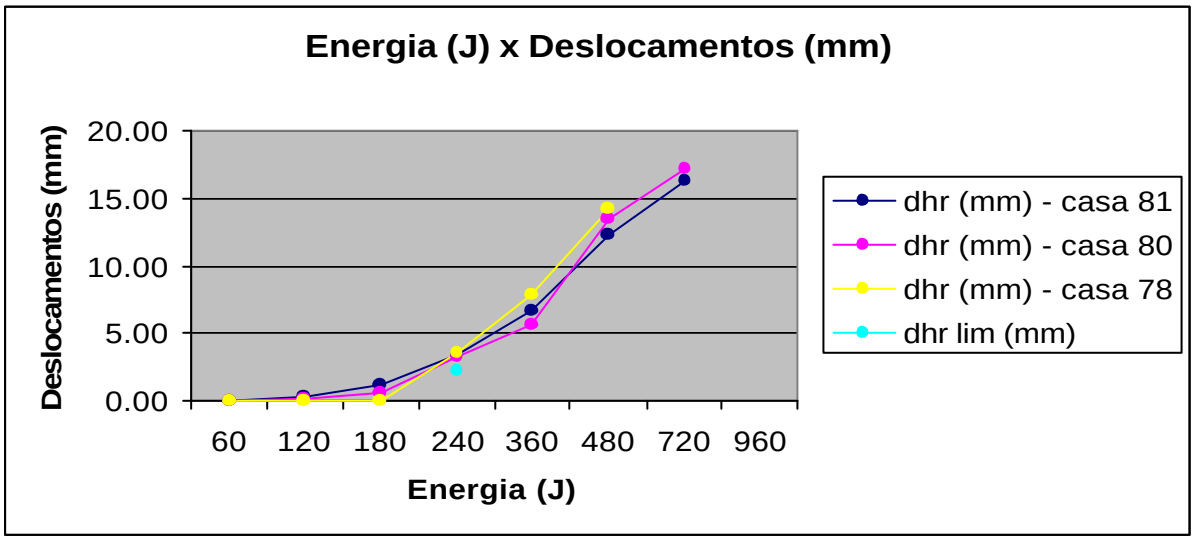

Figura 5.26 – Gráfico dos deslocamentos horizontais residuais das três unidades habitacionais de concreto celular parcialmente armada devido ao ensaio de impacto de corpo mole.

5.4 RESISTÊNCIA À IMPACTO DE CORPO DURO

5.4.1 MÉTODO DE AVALIAÇÃO PARA RESISTÊNCIA À IMPACTOS DE CORPO DURO

Este ensaio procura reproduzir impactos gerados dentro da edificação decorrente ao seu uso ou externamente à edificação, através de corpos duros (figura 5.27).

Os impactos serão produzidos aleatoriamente em uma das faces da parede, de modo que atinja diversos pontos do corpo-de-prova (parede). Após os impactos, inspecionar visualmente o corpo-de-prova, com respeito à existência ou não de fissuras, escamações, destacamentos das capas e mossas, devendo-se medir a profundidade destas últimas e registrar as distâncias paras as quais estes danos são perceptíveis a olho nu (Projeto de Norma 02.136.01.004, ABNT 2004).

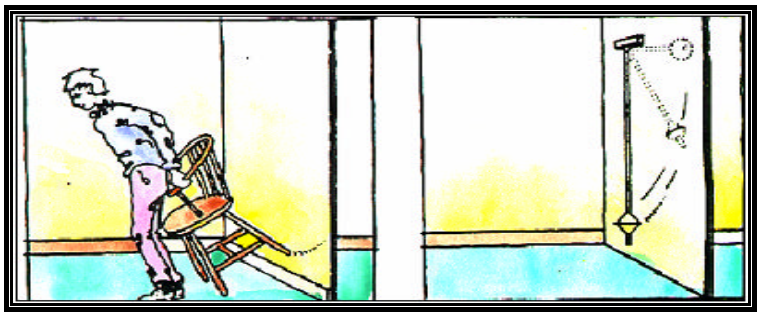

Figura 5.27 – Representação do ensaio de impacto de corpo duro.
Fonte: http://www.usp.br/fau/disciplinas/aut0186/aut_0186_desempenho_2006.pdf.

A verificação da resistência e indentação provocada pelo impacto de corpo duro, é feita através de ensaios em laboratório, protótipo ou obra, devendo o corpo-de-prova representar fielmente as condições de obra, inclusive tipos de apoio / vinculações. Um corpo impactador (esfera maciça de aço) com massa (m) definida, é suspenso por um cabo e abandonado em movimento pendular de uma altura (h) até atingir a parede (tabela 5.12). Devem ser registrados os deslocamentos e as ocorrências (eventuais falhas) - (Projeto de Norma 02.136.01.004 – ABNT, 2004).

Tabela 5.12 – Massa do corpo impactador, altura e energia de impacto (ensaio de impacto de corpo duro).

Impactador	m (kg)	h (m)	E (J)
Corpo duro de grandes dimensões (esfera de aço) – 10 impactos para cada energia	1	1,00	10
		2,00	20
Corpo duro de pequenas dimensões (esfera de aço) – 10 impactos para cada energia	0.5	0.50	2.50
		0.75	3.75

Fonte: Projeto de Norma 02.136.01.001 (ABNT, 2004).

A Figura 5.28 mostra, a realização do ensaio de impacto de corpo duro.

Figura 5.28 – Realização do ensaio de corpo duro.

5.4.2 APARELHAGEM

A Figura 5.28 mostra os aparelhos utilizados na realização dos ensaios de resistência a impactos de corpo duro nas unidades habitacionais de solo-cimento e concreto celular. A aparelhagem necessária está de acordo com a MB 3256 (1990), sendo a seguinte:

- Paquímetro com resolução igual ou inferior a 0,1 mm;
- Esferas de aço de massa de 5 N e 10 N;
- Sistema pendular constituído de um suporte com altura superior à altura da parede a ser ensaiada;
- Fio de aço destinado à sustentação da esfera de aço;

5.4.3 RESULTADOS DOS ENSAIOS

Os ensaios de impacto de corpo duro foram realizados nas unidades habitacionais de solo-cimento e concreto celular, observando os critérios de desempenho para cada energia de impacto, de acordo com a Tabela 2.4 (p. 20). Da mesma forma, adotando os mesmos critérios de desempenho (tabela 2.4) e tomando como referência o nível de desempenho intermediário, é que se procurou realizar os ensaios de impacto de corpo duro registrando as ocorrências, logo após cada impacto.

5.4.3.1 Parede de solo-cimento rejuntada

A Tabela 5.13 mostra os resultados das três unidades habitacionais, obtidos devido ao ensaio de impacto de corpo duro na parede de solo-cimento rejuntada. As casas de solo-cimento rejuntadas onde foram realizados os ensaios pertencem ao "Conjunto Habitacional Carlos Braga", conforme Tabela 5.2 (p. 50).

Tabela 5.13 – Resultado do ensaio de impacto de corpo duro – parede de solo-cimento rejuntada.

Energia (J)	Altura (cm)	Número das Casas ensaidas			Ensaios	Falhas apresentadas após os ensaios
3,75	75,00	78	80	81	Corpo duro de pequena dimensão	Nenhuma
20,00	200,00				Corpo duro de grande dimensão	Traspassamento

A Figura 5.29 ilustra a falha (traspassamento) ocorrida na parede de solo-cimento rejuntada pela esfera de aço de grande dimensão durante o ensaio de impacto de corpo duro.

Figura 5.29 – Falha na parede de solo-cimento rejuntada devido ao ensaio de impacto de corpo duro

5.4.3.2 Parede de solo-cimento rebocada

A Tabela 5.14 mostra os resultados das três unidades habitacionais, obtidos devido ao ensaio de impacto de corpo duro na parede de solo-cimento rebocada. As casas de solo-cimento rebocadas onde foram realizados os ensaios de impacto de corpo duro pertencem ao "Conjunto Habitacional Carlos Braga", conforme Tabela 5.2 (p. 50).

Tabela 5.14 – Resultado do ensaio de impacto de corpo duro – parede de solo-cimento rebocada.

Energia (J)	Altura (cm)	Número das casas ensaiadas			Ensaios	Falhas apresentadas após os ensaios
3,75	75,00	40	57	78	Corpo duro de pequena dimensão	Nenhuma
20,00	200,00				Corpo duro de grande dimensão	Nenhuma

5.4.3.3 Parede de concreto celular armada

A Tabela 5.15 mostra os resultados das três unidades habitacionais, obtidos devido ao ensaio de impacto de corpo duro na parede de concreto celular armada. As casas de concreto celular armada onde foram realizados os ensaios pertencem ao "Conjunto Habitacional Cidadão V" e "Conjunto Habitacional Cidadão VI", conforme Tabela 5.2 (p. 50).

Tabela 5.15 – Resultado do ensaio de impacto de corpo duro – parede de concreto celular armada.

Energia (J)	Altura (cm)	Número das casas ensaiadas			Ensaios	Falhas apresentadas após os ensaios
3,75	75,00	07	148	149	Corpo duro de pequena dimensão	Nenhuma
20,00	200,00				Corpo duro de grande dimensão	Nenhuma

5.4.3.4 Parede de concreto celular parcialmente armada

A Tabela 5.16 mostra os resultados das três unidades habitacionais obtidos devido ao ensaio de impacto de corpo duro na parede de concreto celular parcialmente armada. As casas de concreto celular parcialmente armada onde foram realizados os ensaios pertencem ao "Conjunto Habitacional Cidadão V" e "Conjunto Habitacional VI", conforme Tabela 5.2 (p. 50).

Tabela 5.16 – Resultado do ensaio de impacto de corpo duro – parede de concreto celular parcialmente armada.

Energia (J)	Altura (cm)	Número das casas ensaiadas			Ensaios	Falhas apresentadas após os ensaios
3,75	75,00	03	11	94	Corpo duro de pequena dimensão	Nenhuma

20,00	200,00				Corpo duro de grande dimensão	Nenhuma

5.5 CAPACIDADE DE SUPORTE DE PEÇAS SUSPENSAS

5.5.1 MÉTODO DE AVALIAÇÃO PARA CAPACIDADE DE SUPORTE DE PEÇAS SUSPENSAS

Este ensaio procura reproduzir, dentre outros, cargas provenientes de armários, prateleiras, e pias suspensas (figura 5.30).

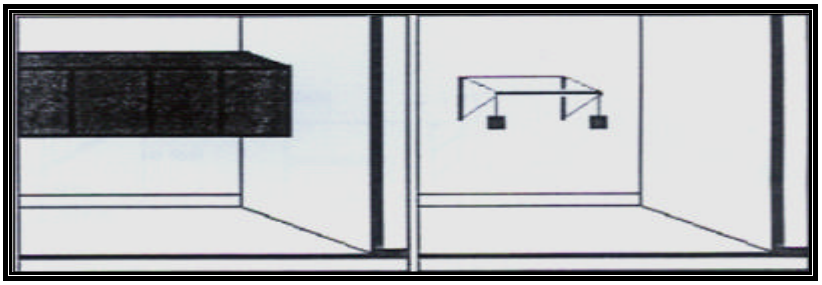

Figura 5.30 – Representação do ensaio de peças suspensas
Fonte: Oliveira (1996).

Após fixar as mãos francesas, empregando-se os dispositivos de fixação, e colocar os relógios comparadores que devem estar situados no lado oposto da parede a ser ensaiado (figura 5.31), o ensaio é iniciado aplicando-se a carga (contrapesos) em patamares de 50 N cada um, aguardando-se um intervalo de 3 minutos entre patamares por ponto de fixação. No caso da mão francesa padrão, eleva-se o carregamento até a carga de serviço considerada (0,8 kN, 1,0 kN ou 1,2 kN), mantendo-a por um período de 24 horas, conforme a NBR (ABNT, 11678/90. Após a retirada do carregamento, aguarda-se 15 min para o registro da deformação horizontal residual (Projeto de Norma 02.136.01.004 – ABNT, 2004).

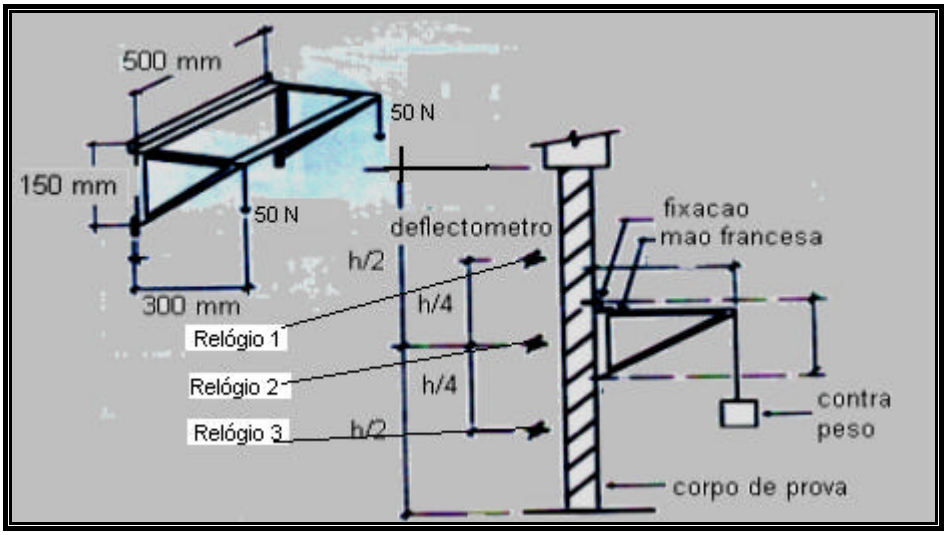

Figura 5.31 – Esquema do ensaio de peças suspensas e detalhe da mão-francesa padrão.
Fonte: Oliveira (1996).

As Figuras 5.32 e 5.33 mostram, respectivamente, os contrapesos colocados no suporte para aplicação da carga, constituído por mãos-francesas interligadas e os relógios comparadores, colocado no lado oposto da parede ensaiada.

Figura 5.32 – Realização do ensaio de capacidade de suporte de peças

Figura 5.33 – Colocação dos relógios comparadores.

5.5.2 APARELHAGEM

As Figuras 5.32 e 5.33 mostram os aparelhos utilizados na realização dos ensaios de capacidade de suporte de peças suspensas nas unidades habitacionais de solo-cimento e concreto celular. A aparelhagem necessária está de acordo com a MB 3259 (1990), sendo a seguinte:

- Tambor de 200 l que serve como contrapeso;
- Mãos-francesas interligadas;

- Relógios comparadores (extensômetros);
- Estrutura vertical (perfil C metálico) para colocação dos relógios comparadores.

5.5.3 RESULTADOS DOS ENSAIOS

Conforme Tabela 2.5 (p.21) as paredes de solo-cimento e concreto celular devem apresentar respectivamente para carga de serviço de 1,2 kN valores de deslocamento horizontal imediato (d_{hi}) e horizontal residual (d_{hr}) de no máximo 5,40 e 1,08 mm. O Projeto de Norma 02.136.01.004 (ABNT, 2004) determina que os valores máximos de deslocamentos horizontal imediato e residual que as paredes devem apresentar para carga de serviço de 1,2 kN são obtidos pela expressão:

- $d_{hi} = \frac{H}{500}$;
- $d_{hr} = \frac{H}{2500}$.

Sabendo que a altura da parede (H) é igual a 270 cm.

Os ensaios foram realizados tomando como referência o nível de desempenho mínimo, intermediário e superior, que estabelece as cargas de serviços e os critérios de desempenho estabelecidos para as unidades habitacionais ensaiadas, conforme indicado na Tabela 2.5 (p. 21).

5.5.3.1 Parede de solo-cimento rejuntada

As casas de solo-cimento rejuntadas onde foram realizados os ensaios de capacidade de suporte de peças suspensas pertencem ao "Conjunto Habitacional Carlos Braga", conforme Tabela 5.2 (p. 50).

A Tabela 5.17 mostra os resultados da primeira unidade habitacional dentre as três ensaiadas que apresentou deslocamentos horizontais imediatos e residuais devido ao ensaio de capacidade de suporte de peças suspensas.

Tabela 5.17 – Resultado do ensaio de capacidade de suporte de peças suspensas – parede de solo-cimento rejuntada (casa 78).

Carga	Deslocamento horizontal imediato (dh_i) – mm

(N)	Casa 78			dh_i-limite (mm)	Falhas ocorridas no ensaio
	dh_i1 (mm)	dh_i2 (mm)	dh_i3 (mm)		
950	0,07	0,02	0,02	----------	Nenhuma
1000	0,09	0,03	0,02	----------	Nenhuma
1050	0,09	0,03	0,02	----------	Nenhuma
1100	0,10	0,03	0,03	----------	Nenhuma
1150	0,15	0,05	0,03	----------	Nenhuma
1200	1,83	0,90	0,23	5,40	Nenhuma
Deslocamento horizontal residual (dhr) – mm					
	dh_r1	dh_r2	dh_r3	dh_r-limite (mm)	Falhas ocorridas no ensaio
	0,75	0,70	0,17	1,08	Nenhuma

Onde: d_{hi} – deslocamento horizontal imediato;
d_{hr} – deslocamento horizontal residual.

A Figura 5.34 mostra o gráfico dos deslocamentos horizontais imediatos gerados devido ao ensaio de capacidade de suporte de peças suspensas realizado na primeira unidade habitacional de solo-cimento rejuntada.

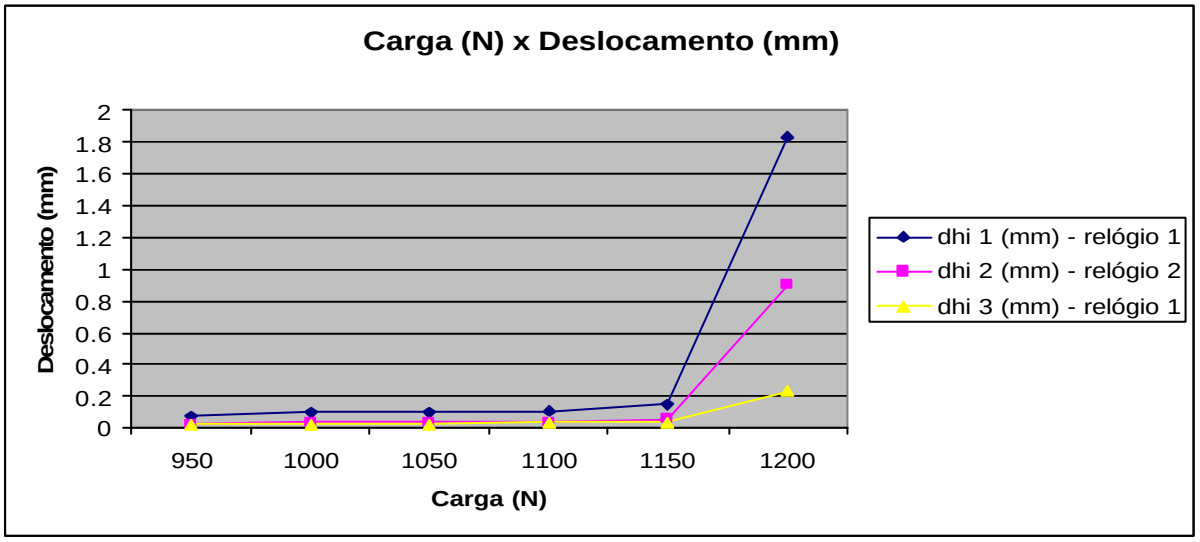

Figura 5.34 – Gráfico dos deslocamentos horizontais imediatos devido ao ensaio de peça suspensa na parede de solo-cimento rejuntada. (casa 78).

A Figura 5.35 mostra o gráfico dos deslocamentos horizontais residuais gerados devido ao ensaio de capacidade de suporte de peças suspensas realizado na primeira unidade habitacional de solo-cimento rejuntada.

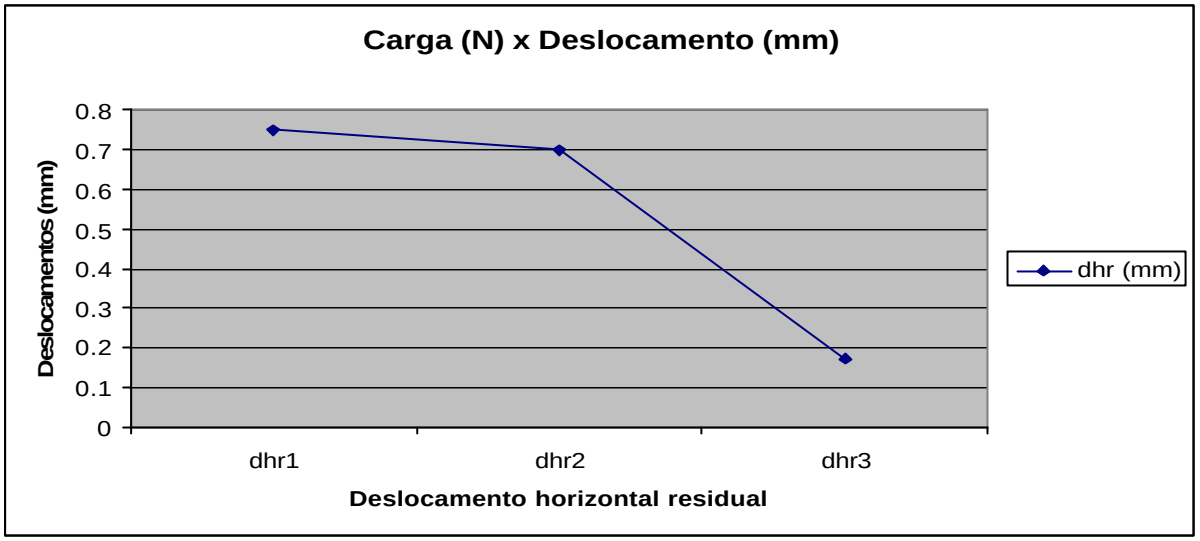

Figura 5.35 – Gráfico dos deslocamentos horizontais residuais devido ao ensaio de peça suspensa parede de solo-cimento rejuntada. (casa 78).

A Tabela 5.18 mostra os resultados da segunda unidade habitacional dentre as três ensaiadas que apresentou deslocamentos horizontais imediatos e residuais devido ao ensaio de capacidade suporte de peças suspensas.

Tabela 5.18 – Resultado do ensaio de capacidade suporte de peças suspensas – parede de solo-cimento rejuntada (casa 80).

Carga (N)	Deslocamento horizontal imediato (dh_i) – mm				
	Casa 80			dh_i-limite (mm)	Falhas ocorridas no ensaio
	dh_i1 (mm)	dh_i2 (mm)	dh_i3 (mm)		
950	0,03	0,02	0,01	----------	Nenhuma
1000	0,03	0,02	0,01	----------	Nenhuma
1050	0,06	0,02	0,02	----------	Nenhuma
1100	0,11	0,04	0,03	----------	Nenhuma
1150	0,12	0,07	0,04	----------	Nenhuma
1200	1,34	0,55	0,27	5,40	Nenhuma
Deslocamento horizontal residual (dhr) – mm					
	dh_r1	dh_r2	dh_r3	dh_r-limite (mm)	Falhas ocorridas no ensaio
	0,67	0,43	0,12	1,08	Nenhuma

Onde: d_{hi} – deslocamento horizontal imediato;
d_{hr} – deslocamento horizontal residual.

A Figura 5.36 mostra o gráfico dos deslocamentos horizontais imediatos gerados devido ao ensaio de capacidade suporte de peças suspensas realizado na segunda unidade habitacional de solo-cimento rejuntada.

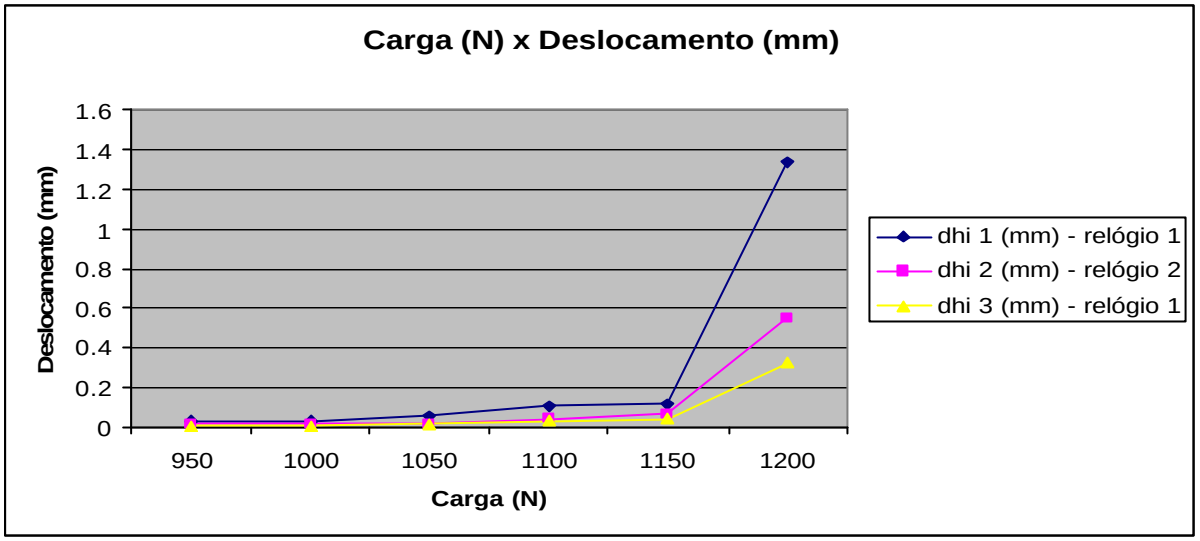

Figura 5.36 – Gráfico dos deslocamentos horizontais imediatos devido ao ensaio de peça suspensa na parede de solo-cimento rejuntada. (casa 80).

A Figura 5.37 mostra o gráfico dos deslocamentos horizontais residuais gerados devido ao ensaio de capacidade suporte de peças suspensas realizado na segunda unidade habitacional de solo-cimento rejuntada.

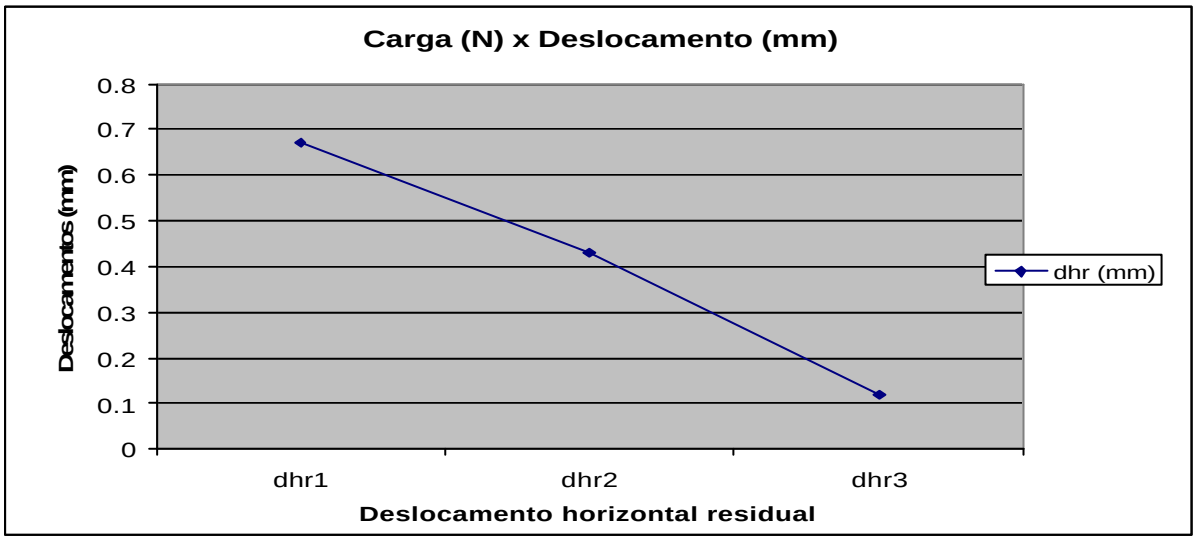

Figura 5.37 – Gráfico dos deslocamentos horizontais residuais devido ao ensaio de peça suspensa na parede de solo-cimento rejuntada. (casa 80).

A Tabela 5.19 mostra os resultados da terceira unidade habitacional dentre as três ensaiadas que apresentou deslocamentos horizontais imediatos e residuais devido ao ensaio de capacidade de suporte de peças suspensas.

Tabela 5.19 – Resultado do ensaio de capacidade de suporte de peças suspensas – parede de solo-cimento rejuntada (casa 81).

Carga	Deslocamento horizontal imediato (dh_i) – mm

(N)	Casa 81			dh_i-limite (mm)	Falhas ocorridas no ensaio
	dh_i1 (mm)	dh_i2 (mm)	dh_i3 (mm)		
950	0,03	0,02	0,01	----------	Nenhuma
1000	0,04	0,02	0,01	----------	Nenhuma
1050	0,06	0,03	0,02	----------	Nenhuma
1100	0,15	0,03	0,03	----------	Nenhuma
1150	0,18	0,03	0,04	----------	Nenhuma
1200	1,47	0,68	0,28	5,40	Nenhuma
Deslocamento horizontal residual (dhr) – mm					
	dh_r1	dh_r2	dh_r3	dh_r-limite (mm)	Falhas ocorridas no ensaio
	1,56	0,63	0,17	1,08	Nenhuma

Onde: d_{hi} – deslocamento horizontal imediato;
d_{hr} – deslocamento horizontal residual.

A Figura 5.38 mostra o gráfico dos deslocamentos horizontais imediatos gerados devido ao ensaio de capacidade de suporte de peças suspensas realizado na terceira unidade habitacional de solo-cimento rejuntada.

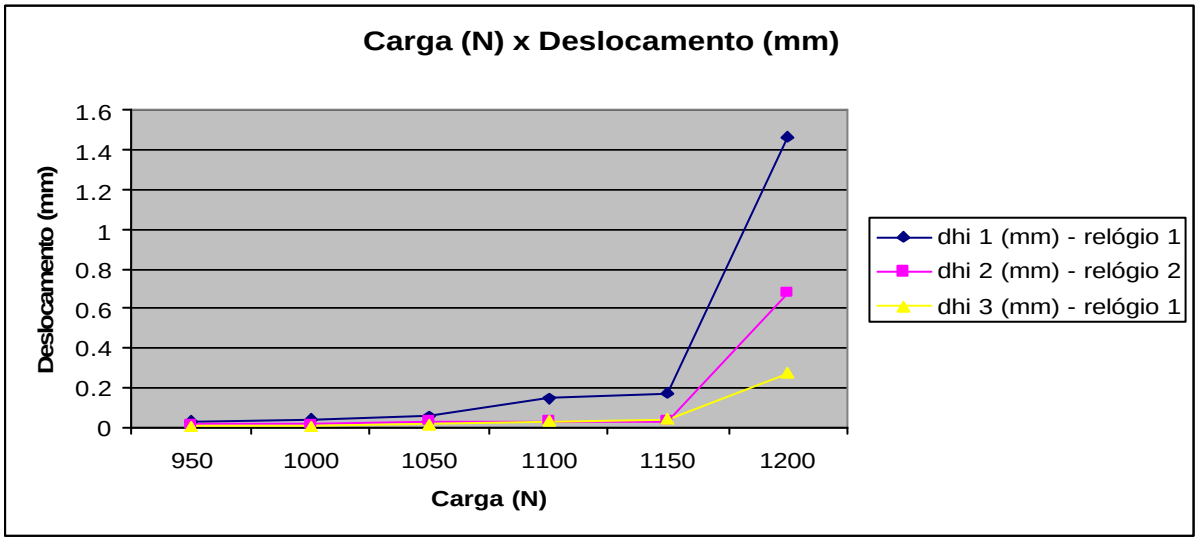

Figura 5.38 – Gráfico dos deslocamentos horizontais imediatos devido ao ensaio de peça suspensa na parede de solo-cimento rejuntada. (casa 81).

A Figura 5.39 mostra o gráfico dos deslocamentos horizontais residuais gerados devido ao ensaio de capacidade de suporte de peças suspensas realizado na terceira unidade habitacional de solo-cimento rejuntada.

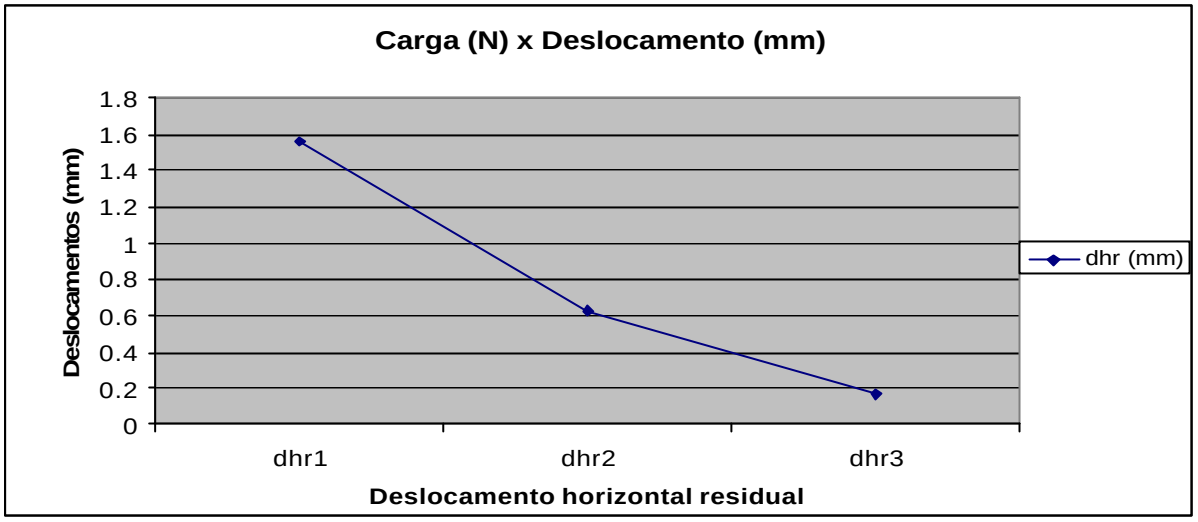

Figura 5.39 – Gráfico dos deslocamentos horizontais residuais devido ao ensaio de peça suspensa na parede de solo-cimento rejuntada. (casa 81).

5.5.3.2 Parede de solo-cimento rebocada

As casas de solo-cimento rebocadas onde foram realizados os ensaios de capacidade de suporte de peças suspensas pertencem ao "Conjunto Habitacional Carlos Braga", conforme tabela 5.2 (p. 50).

A Tabela 5.20 mostra os resultados da primeira unidade habitacional dentre as três ensaiadas que apresentou deslocamentos horizontais imediatos e residuais devido ao ensaio de capacidade de suporte de peças suspensas.

Tabela 5.20 – Resultado do ensaio de capacidade de suporte de peças suspensas – parede de solo-cimento rebocada (casa 40).

Carga (N)	Deslocamento horizontal imediato (dh_i) – mm				
	Casa 40			dh_i-limite (mm)	Falhas ocorridas no ensaio
	dh_i1 (mm)	dh_i2 (mm)	dh_i3 (mm)		
1050	0,00	0,00	0,00	----------	Nenhuma
1100	0,00	0,00	0,00	----------	Nenhuma
1150	0,07	0,02	0,01	----------	Nenhuma
1200	0,09	0,04	0,02	5,40	Nenhuma
Deslocamento horizontal residual (dhr) – mm					
	dh_r1	dh_r2	dh_r3	dh_r-limite (mm)	Falhas ocorridas no ensaio
	0,04	0,02	0,01	1,08	Nenhuma

Onde: d_{hi} – deslocamento horizontal imediato;
d_{hr} – deslocamento horizontal residual.

A Figura 5.40 mostra o gráfico dos deslocamentos horizontais imediatos gerados devido ao ensaio de capacidade de suporte de peças suspensas realizado na primeira unidade habitacional de solo-cimento rebocada.

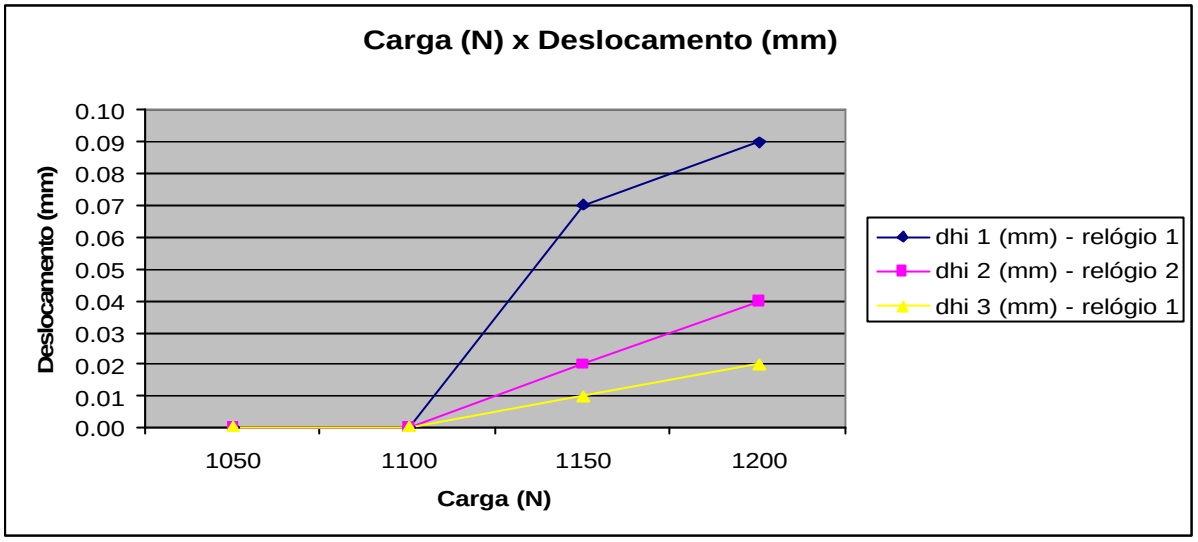

Figura 5.40 – Gráfico dos deslocamentos horizontais imediatos devido ao ensaio de peça suspensa na parede de solo-cimento rebocada. (casa 40).

A Figura 5.41 mostra o gráfico dos deslocamentos horizontais residuais gerados devido ao ensaio de capacidade de suporte de peças suspensas realizado na primeira unidade habitacional de solo-cimento rebocada.

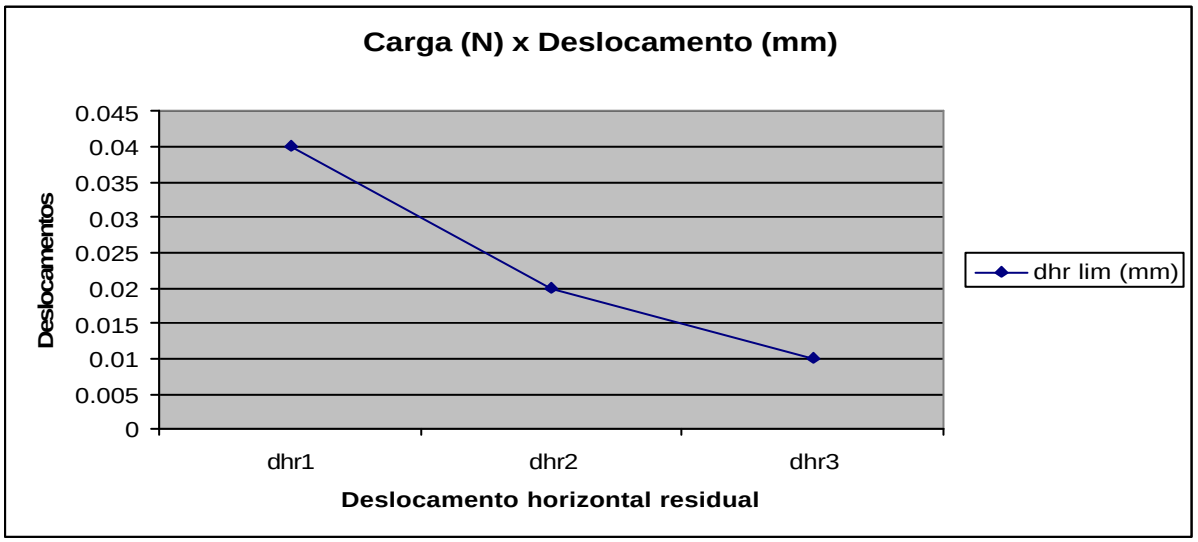

Figura 5.41 – Gráfico dos deslocamentos horizontais residuais devido ao ensaio de peça suspensa na parede de solo-cimento rebocada. (casa 40).

A Tabela 5.21 mostra os resultados da segunda unidade habitacional dentre as três ensaiadas que apresentou deslocamentos horizontais imediatos e residuais devido ao ensaio de capacidade de suporte de peças suspensas.

Tabela 5.21 – Resultado do ensaio de capacidade de suporte de peças suspensas – parede de solo-cimento rebocada (casa 57).

Carga (N)	Deslocamento horizontal imediato (dh_i) – mm				
	Casa 57			dh_i-limite (mm)	Falhas ocorridas no ensaio
	dh_i1 (mm)	dh_i2 (mm)	dh_i3 (mm)		
1050	0,00	0,00	0,00	----------	Nenhuma
1100	0,02	0,00	0,00	----------	Nenhuma
1150	0,04	0,01	0,01	----------	Nenhuma
1200	0,07	0,03	0,02	5,40	Nenhuma
Deslocamento horizontal residual (dhr) – mm					
	dh_r1	dh_r2	dh_r3	dh_r-limite (mm)	Falhas ocorridas no ensaio
	0,03	0,02	0,01	1,08	Nenhuma

Onde: d_{hi} – deslocamento horizontal imediato;
d_{hr} – deslocamento horizontal residual.

A Figura 5.42 mostra o gráfico dos deslocamentos horizontais imediatos gerados devido ao ensaio de capacidade de suporte de peças suspensas realizado na segunda unidade habitacional de solo-cimento rebocada.

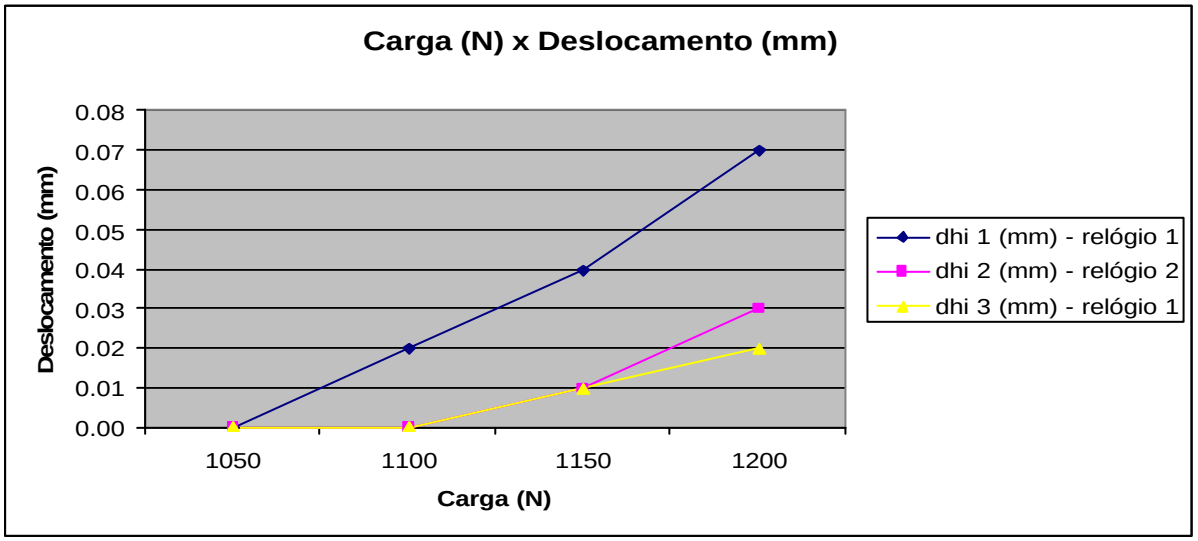

Figura 5.42 – Gráfico dos deslocamentos horizontais imediatos devido ao ensaio de peça suspensa na parede de solo-cimento rebocada. (casa 57).

A Figura 5.43 mostra o gráfico dos deslocamentos horizontais residuais gerados devido ao ensaio de capacidade de suporte de peças suspensas realizado na segunda unidade habitacional de solo-cimento rebocada.

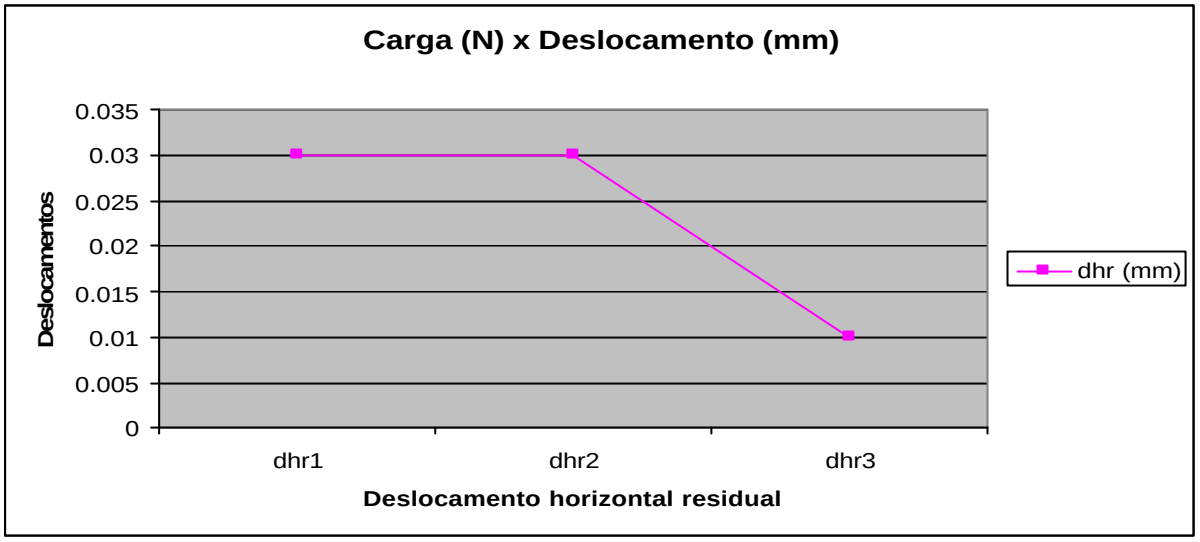

Figura 5.43 – Gráfico dos deslocamentos horizontais residuais devido ao ensaio de peça suspensa na parede de solo-cimento rebocada. (casa 57).

A Tabela 5.22 mostra os resultados da terceira unidade habitacional dentre as três ensaiadas que apresentou deslocamentos horizontais imediatos e residuais devido ao ensaio de capacidade de suporte de peças suspensas.

Tabela 5.22 – Resultado do ensaio de capacidade de suporte de peças suspensas – parede de solo-cimento rebocada (casa 78).

Carga (N)	Deslocamento horizontal imediato (dh_i) – mm				
	Casa 78			dh_i-limite (mm)	Falhas ocorridas no ensaio
	dh_i1 (mm)	dh_i2 (mm)	dh_i3 (mm)		
1050	0,00	0,00	0,00	----------	Nenhuma
1100	0,02	0,01	0,01	----------	Nenhuma
1150	0,02	0,01	0,01	----------	Nenhuma
1200	0,06	0,03	0,01	5,40	Nenhuma
Deslocamento horizontal residual (dhr) – mm					
	dh_r1	dh_r2	dh_r3	dh_r-limite (mm)	Falhas ocorridas no ensaio
	0,03	0,02	0,01	1,08	Nenhuma

Onde: d_{hi} – deslocamento horizontal imediato;
d_{hr} – deslocamento horizontal residual.

A Figura 5.44 mostra o gráfico dos deslocamentos horizontais imediatos gerados devido ao ensaio de capacidade de suporte de peças suspensas realizado na terceira unidade habitacional de solo-cimento rebocada.

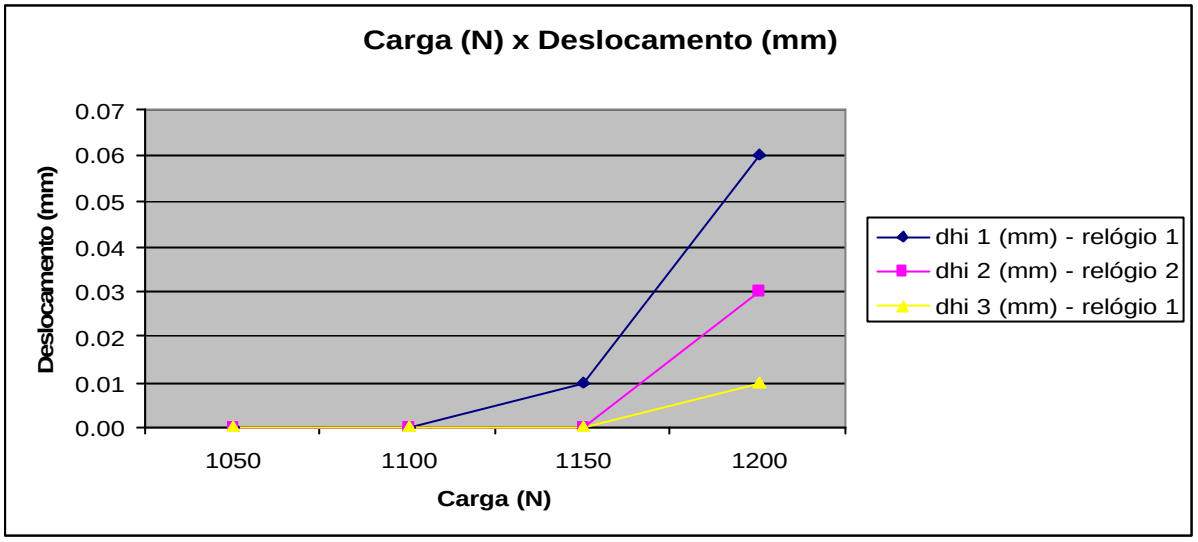

Figura 5.44 – Gráfico dos deslocamentos horizontais imediatos devido ao ensaio de peça suspensa na parede de solo-cimento rebocada. (casa 78).

A Figura 5.45 mostra o gráfico dos deslocamentos horizontais residuais gerados devido ao ensaio de capacidade de suporte de peças suspensas realizado na terceira unidade habitacional de solo-cimento rebocada.

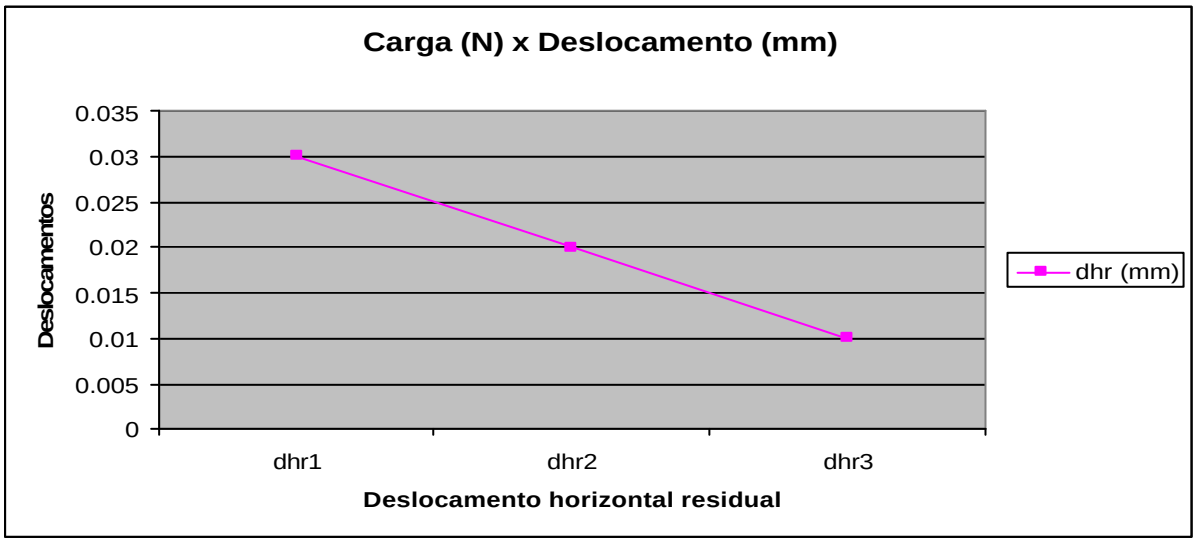

Figura 5.45 – Gráfico dos deslocamentos horizontais residuais devido ao ensaio de peça suspensa na parede de solo-cimento rebocada. (casa 78).

5.5.3.3 Parede de concreto celular armada

As casas de concreto celular armada onde foram realizados os ensaios de capacidade de suporte de peças suspensas pertencem ao "Conjunto Habitacional Cidadão" V e "Conjunto Habitacional Cidadão VI", conforme Tabela 5.2 (p. 50).

A Tabela 5.23 mostra os resultados da primeira unidade habitacional dentre as três ensaiadas que apresentou deslocamentos horizontais imediatos e residuais devido ao ensaio de capacidade de suporte de peças suspensas.

Tabela 5.23 – Resultado do ensaio de capacidade de suporte de peças suspensas – parede de concreto celular armada (casa 07).

Carga (N)	Deslocamento horizontal imediato (dhi) – mm				
	Casa 07			dh_i-limite (mm)	Falhas ocorridas no ensaio
	dh_i1 (mm)	dh_i2 (mm)	dh_i3 (mm)		
950	0,13	0,03	0,00	----------	Nenhuma
1000	0,17	0,03	0,00	----------	Nenhuma
1050	0,20	0,05	0,00	----------	Nenhuma
1100	0,21	0,07	0,03	----------	Nenhuma
1150	0,29	0,07	0,05	----------	Nenhuma
1200	0,60	0,40	0,32	5,40	Nenhuma
Deslocamento horizontal residual (dhr) – mm					
	dh_r1	dh_r2	dh_r3	dh_r-limite (mm)	Falhas ocorridas no ensaio
	0,40	0,33	0,21	1,08	Nenhuma

Onde: d_{hi} – deslocamento horizontal imediato;
d_{hr} – deslocamento horizontal residual.

A Figura 5.46 mostra o gráfico dos deslocamentos horizontais imediatos gerados devido ao ensaio de capacidade de suporte de peças suspensas realizado na primeira unidade habitacional de concreto celular armada.

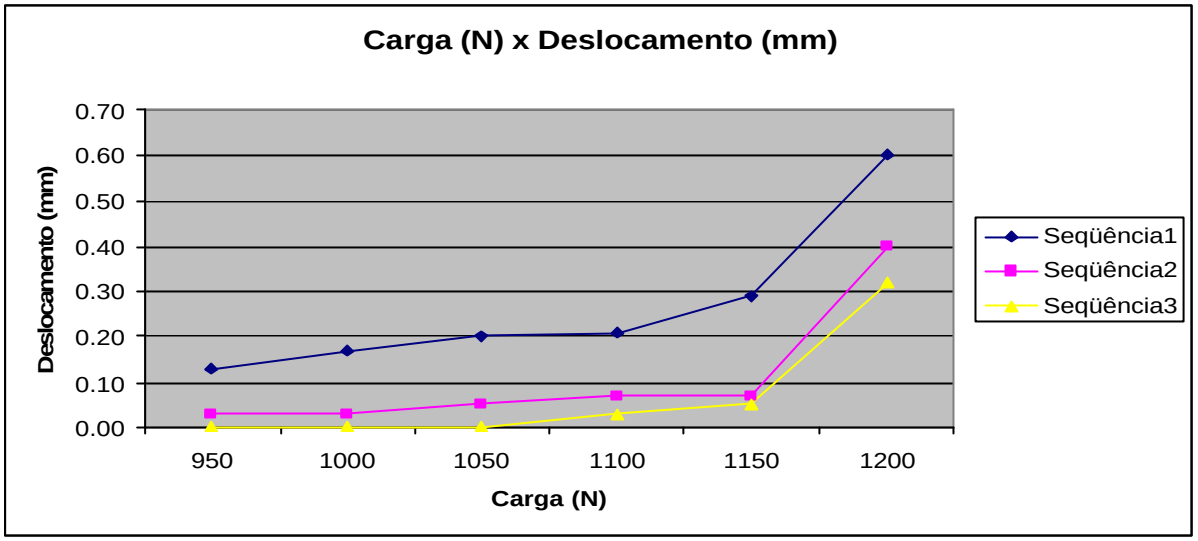

Figura 5.46 – Gráfico dos deslocamentos horizontais imediatos devido ao ensaio de peça suspensa na parede de concreto celular armada. (casa 07).

A Figura 5.47 mostra o gráfico dos deslocamentos horizontais residuais gerados devido ao ensaio de capacidade de suporte de peças suspensas realizado na primeira unidade habitacional de concreto celular armada.

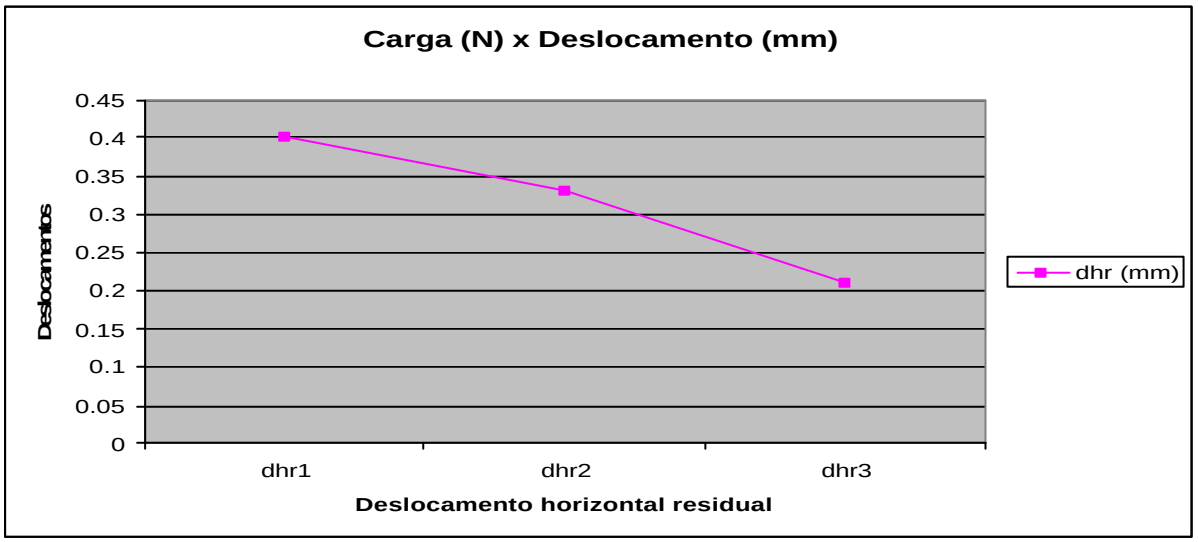

Figura 5.47 – Gráfico dos deslocamentos horizontais residuais devido ao ensaio de peça suspensa na parede de concreto celular armada. (casa 07).

A Tabela 5.24 mostra os resultados da segunda unidade habitacional dentre as três ensaiadas que apresentou deslocamentos horizontais imediatos e residuais devido ao ensaio de capacidade de suporte de peças suspensas.

Tabela 5.24 – Resultado do ensaio de capacidade de suporte de peças suspensas – parede concreto celular armada (casa 148).

Carga (N)	Deslocamento horizontal imediato (dh_i) – mm				
	Casa 148			dh_i-limite (mm)	Falhas ocorridas no ensaio
	dh_i1 (mm)	dh_i2 (mm)	dh_i3 (mm)		
950	0,00	0.00	0,00	----------	Nenhuma
1000	0,00	0,00	0,00	----------	Nenhuma
1050	0,12	0,03	0,00	----------	Nenhuma
1100	0,12	0,07	0,05	----------	Nenhuma
1150	0,37	0,07	0,06	----------	Nenhuma
1200	0,56	0,38	0,35	5,40	Nenhuma
Deslocamento horizontal residual (dhr) – mm					
	dh_r1	dh_r2	dh_r3	dh_r-limite (mm)	Falhas ocorridas no ensaio
	0,33	0,22	0,20	1,08	Nenhuma

Onde: d_{hi} – deslocamento horizontal imediato;
d_{hr} – deslocamento horizontal residual.

A Figura 5.48 mostra o gráfico dos deslocamentos horizontais imediatos gerados devido ao ensaio de capacidade de suporte de peças suspensas realizado na segunda unidade habitacional de concreto celular armada.

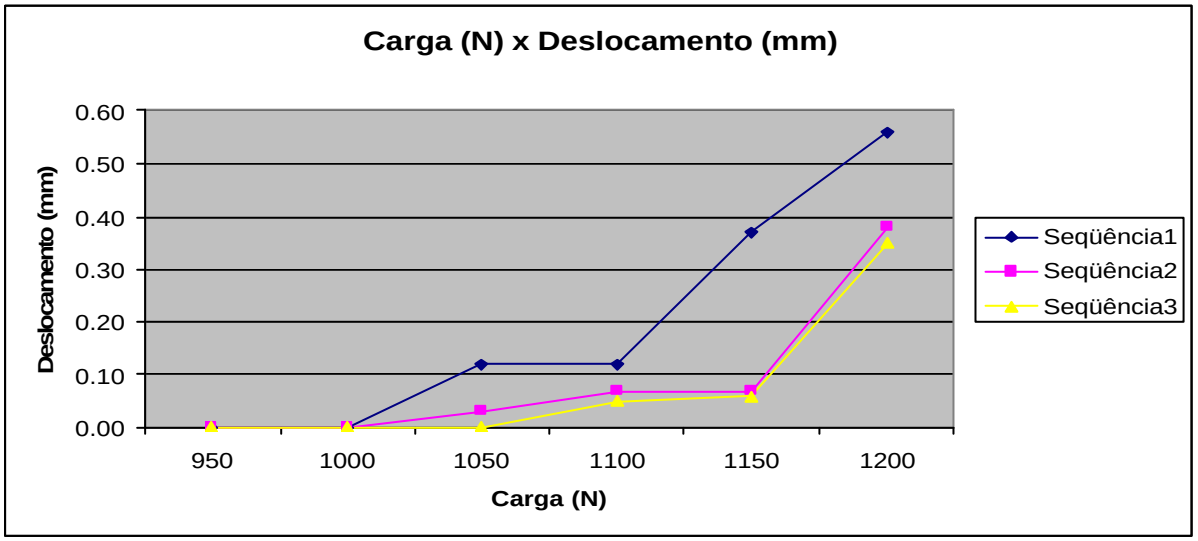

Figura 5.48 – Gráfico dos deslocamentos horizontais imediatos devido ao ensaio de peça suspensa na parede de concreto celular armada. (casa 148).

A Figura 5.49 mostra o gráfico dos deslocamentos horizontais residuais gerados devido ao ensaio de capacidade de suporte de peças suspensas realizado na segunda unidade habitacional de concreto celular armada.

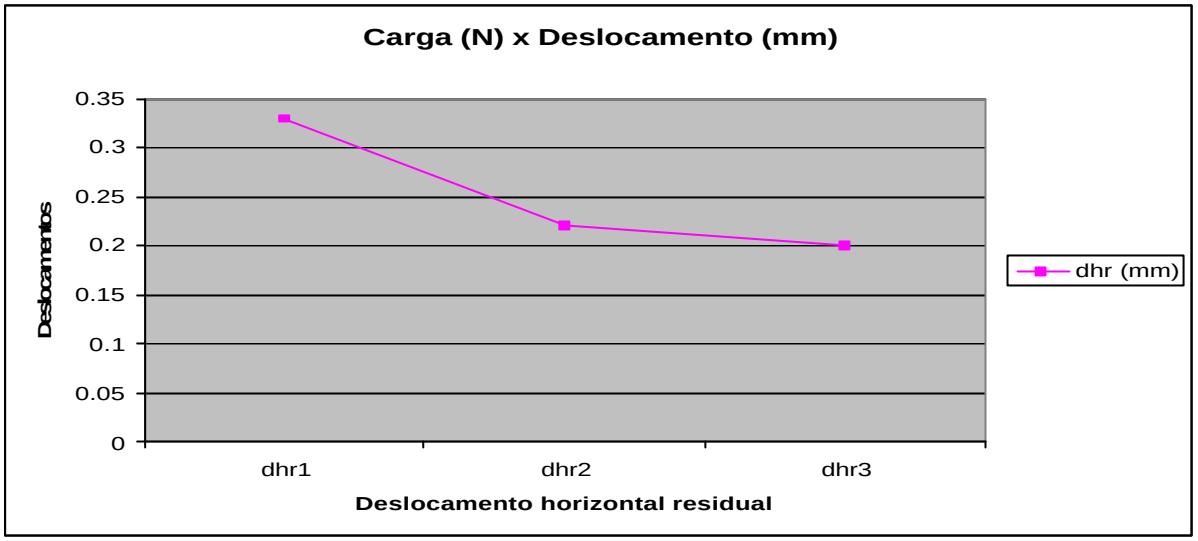

Figura 5.49 – Gráfico dos deslocamentos horizontais residuais devido ao ensaio de peça suspensa na parede de concreto celular armada. (casa 148).

A Tabela 5.25 mostra os resultados da terceira unidade habitacional dentre as três ensaiadas que apresentou deslocamentos horizontais imediatos e residuais devido ao ensaio de capacidade de suporte de peças suspensas.

Tabela 5.25 – Resultado do ensaio de capacidade de suporte de peças suspensas – parede de concreto celular armada (casa 149).

Carga (N)	Deslocamento horizontal imediato (dh_i) – mm				
	Casa 149			dh_i-limite (mm)	Falhas ocorridas no ensaio
	dh_i1 (mm)	dh_i2 (mm)	dh_i3 (mm)		
950	0,00	0.00	0,00	----------	Nenhuma
1000	0,00	0,00	0,00	----------	Nenhuma
1050	0,08	0,00	0,00	----------	Nenhuma
1100	0,10	0,03	0,00	----------	Nenhuma
1150	0,12	0,03	0,01	----------	Nenhuma
1200	0,45	0,38	0,28	5,40	Nenhuma
Deslocamento horizontal residual (dhr) – mm					
	dh_r1	dh_r2	dh_r3	dh_r-limite (mm)	Falhas ocorridas no ensaio
	0,36	0,22	0,21	1,08	Nenhuma

Onde: d_{hi} – deslocamento horizontal imediato;
d_{hr} – deslocamento horizontal residual.

A Figura 5.50 mostra o gráfico dos deslocamentos horizontais imediatos gerados devido ao ensaio de capacidade de suporte de peças suspensas realizado na terceira unidade habitacional de concreto celular armada.

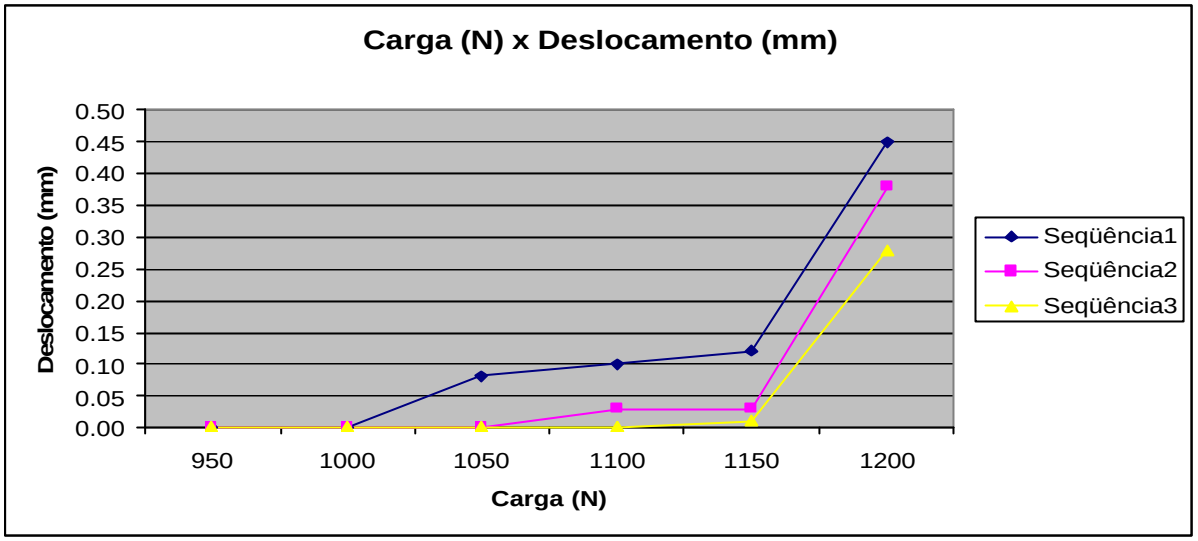

Figura 5.50 – Gráfico dos deslocamentos horizontais imediatos devido ao ensaio de peça suspensa na parede de concreto celular armada. (casa 149).

A Figura 5.51 mostra o gráfico dos deslocamentos horizontais residuais gerados devido ao ensaio de capacidade de suporte de peças suspensas realizado na terceira unidade habitacional de concreto celular armada concreto.

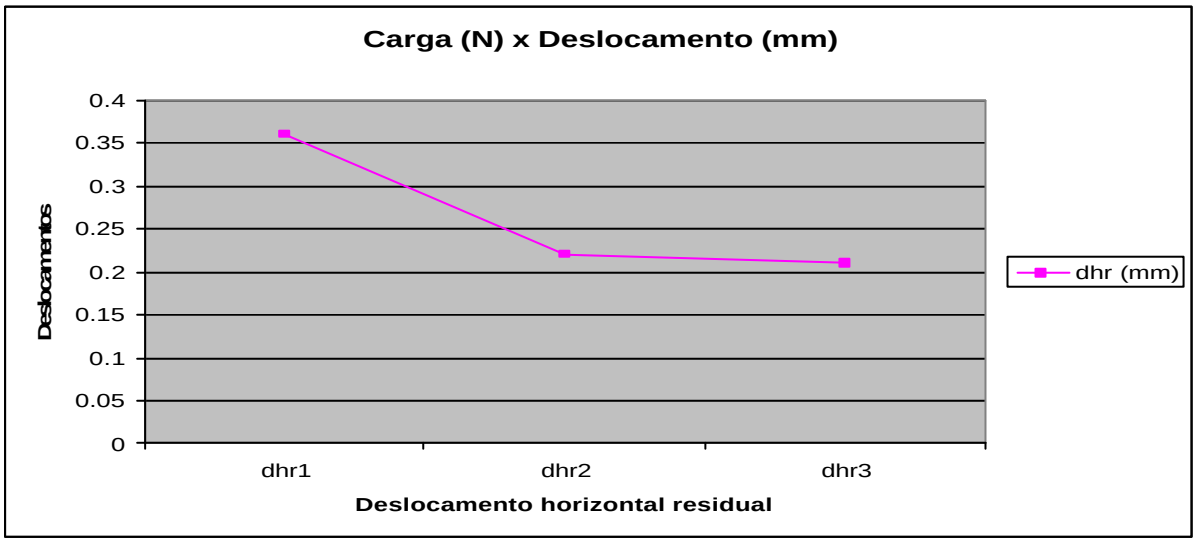

Figura 5.51 – Gráfico dos deslocamentos horizontais residuais devido ao ensaio de peça suspensa na parede de concreto celular armada. (casa 149).

5.5.3.4 Parede de concreto celular parcialmente armada

As casas de concreto celular parcialmente armada onde foram realizados os ensaios de capacidade suporte de peças suspensas pertencem ao "Conjunto Habitacional Cidadão V" e "Conjunto Habitacional Cidadão VI", conforme Tabela 5.2 (p. 50).

A Tabela 5.26 mostra os resultados da primeira unidade habitacional dentre as três ensaiadas que apresentou deslocamentos horizontais imediatos e residuais devido ao ensaio de capacidade de suporte de peças suspensas.

Tabela 5.26 – Resultado do ensaio de capacidade de suporte de peças suspensas – parede de concreto celular parcialmente armada (casa 03).

Carga (N)	Deslocamento horizontal imediato (dhi) – mm				
	Casa 03			dh_i-limite (mm)	Falhas ocorridas no ensaio
	dh_i1 (mm)	dh_i2 (mm)	dh_i3 (mm)		
950	0,25	0,05	0,03	----------	Nenhuma
1000	0,35	0,12	0,06	----------	Nenhuma
1050	0,50	0,13	0,08	----------	Nenhuma
1100	0,66	0,15	0,10	----------	Nenhuma
1150	0,83	0,30	0,13	----------	Nenhuma
1200	1,02	0,43	0,35	5,40	Nenhuma
Deslocamento horizontal residual (dhr) – mm					
	dh_r1	dh_r2	dh_r3	dh_r-limite (mm)	Falhas ocorridas no ensaio
	0,93	0,35	0,23	1,08	Nenhuma

Onde: d_{hi} – deslocamento horizontal imediato;
d_{hr} – deslocamento horizontal residual.

A Figura 5.52 mostra o gráfico dos deslocamentos horizontais imediatos gerados devido ao ensaio de capacidade de suporte de peças suspensas realizado na primeira unidade habitacional de concreto celular parcialmente armada.

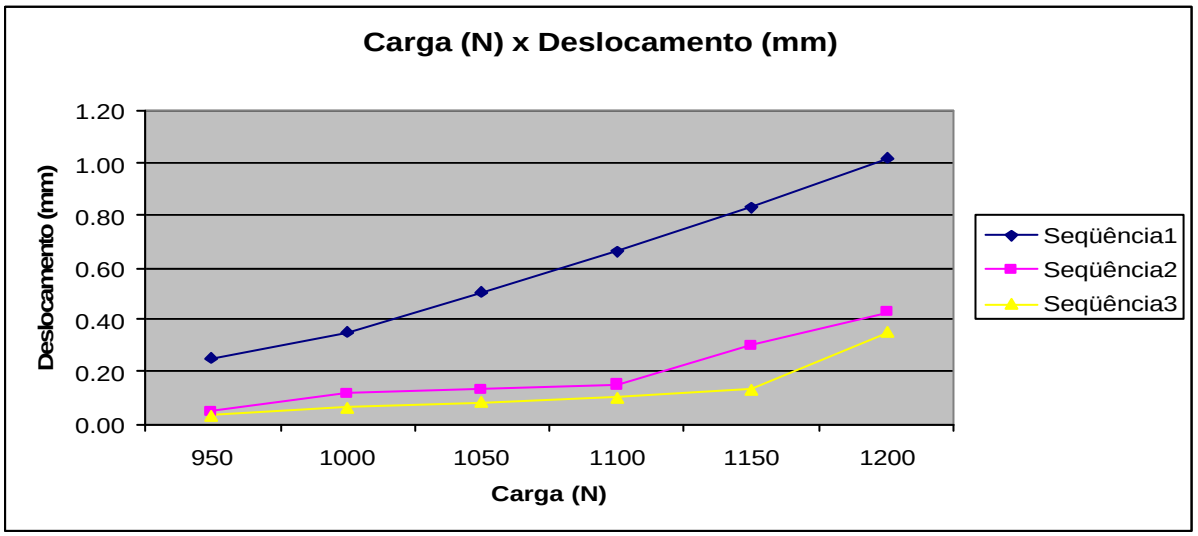

Figura 5.52 – Gráfico dos deslocamentos horizontais imediatos devido ao ensaio de peça suspensa na parede de concreto celular parcialmente armada. (casa 3).

A Figura 5.53 mostra o gráfico dos deslocamentos horizontais residuais gerados devido ao ensaio de capacidade de suporte de peças suspensas realizado na primeira unidade habitacional de concreto celular parcialmente armada.

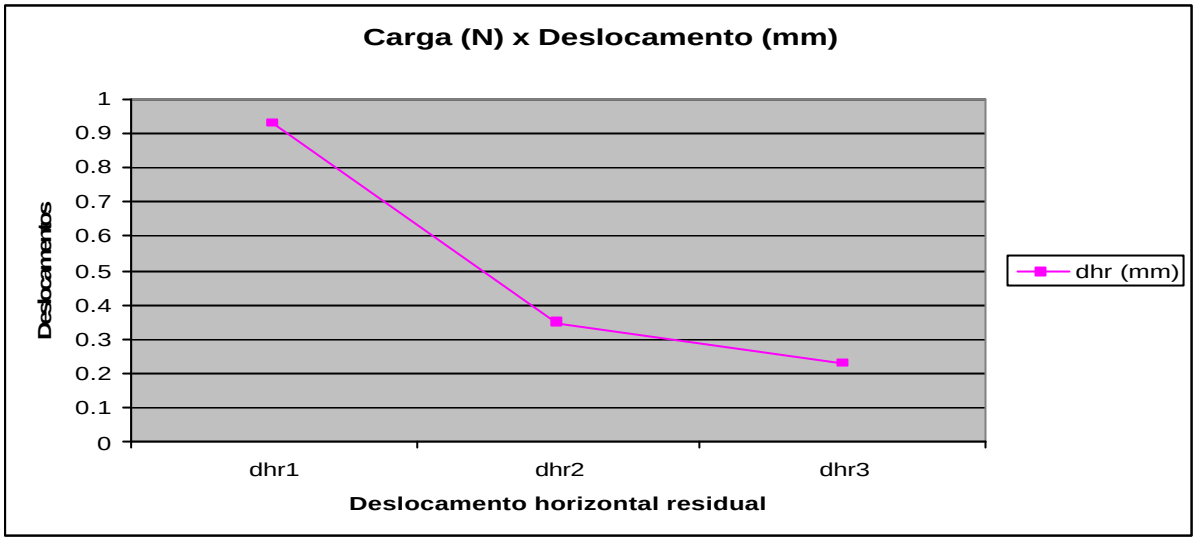

Figura 5.53 – Gráfico dos deslocamentos horizontais residuais devido ao ensaio de peça suspensa na parede de concreto celular parcialmente armada. (casa 3).

A Tabela 5.27 mostra os resultados da segunda unidade habitacional dentre as três ensaiadas que apresentou deslocamentos horizontais imediatos e residuais devido ao ensaio de capacidade de suporte de peças suspensas.

Tabela 5.27 – Resultado do ensaio de capacidade de suporte de peças suspensas – concreto celular parcialmente armada (casa 06).

Carga (N)	Deslocamento horizontal imediato (dh_i) – mm				
	Casa 06			dh_i-limite (mm)	Falhas ocorridas no ensaio
	dh_i1 (mm)	dh_i2 (mm)	dh_i3 (mm)		
950	0,12	0,03	0,00	----------	Nenhuma
1000	0,22	0,09	0,03	----------	Nenhuma
1050	0,22	0,09	0,03	----------	Nenhuma
1100	0,33	0,13	0,03	----------	Nenhuma
1150	0,67	0,23	0,08	----------	Nenhuma
1200	0,97	0,42	0,30	5,40	Nenhuma
Deslocamento horizontal residual (dhr) – mm					
	dh_r1	dh_r2	dh_r3	dh_r-limite (mm)	Falhas ocorridas no ensaio
	0,87	0,33	0,25	1,08	Nenhuma

Onde: d_{hi} – deslocamento horizontal imediato;
d_{hr} – deslocamento horizontal residual.

A Figura 5.54 mostra o gráfico dos deslocamentos horizontais imediatos gerados devido ao ensaio de capacidade de suporte de peças suspensas realizado na segunda unidade habitacional de concreto celular parcialmente armada.

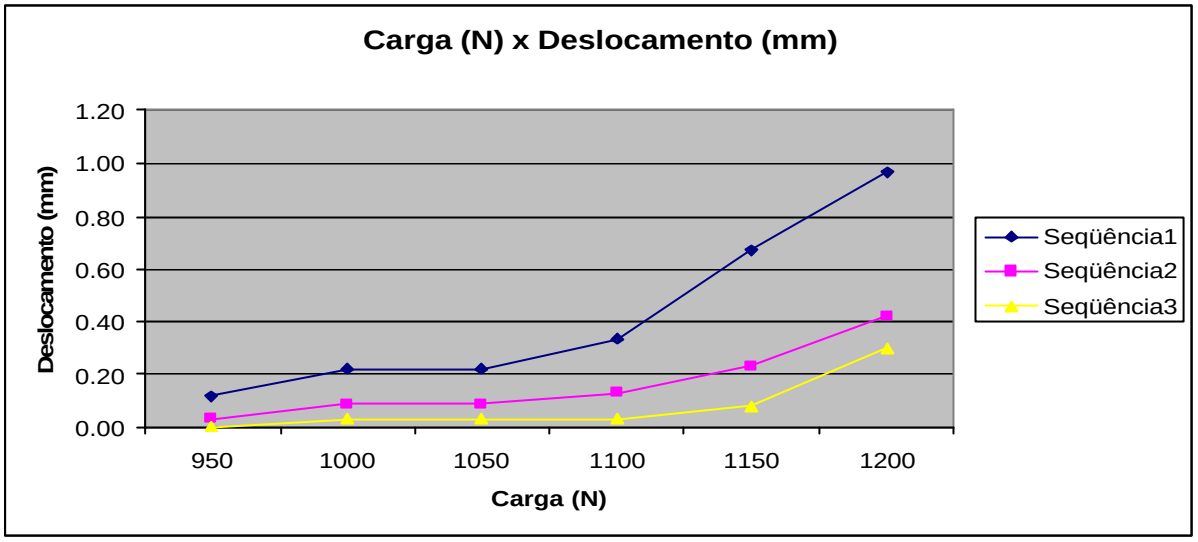

Figura 5.54 – Gráfico dos deslocamentos horizontais imediatos devido ao ensaio de peça suspensa na parede de concreto celular parcialmente armada. (casa 06).

A Figura 5.55 mostra o gráfico dos deslocamentos horizontais residuais gerados devido ao ensaio de capacidade de suporte de peças suspensas realizado na segunda unidade habitacional de concreto celular parcialmente armada.

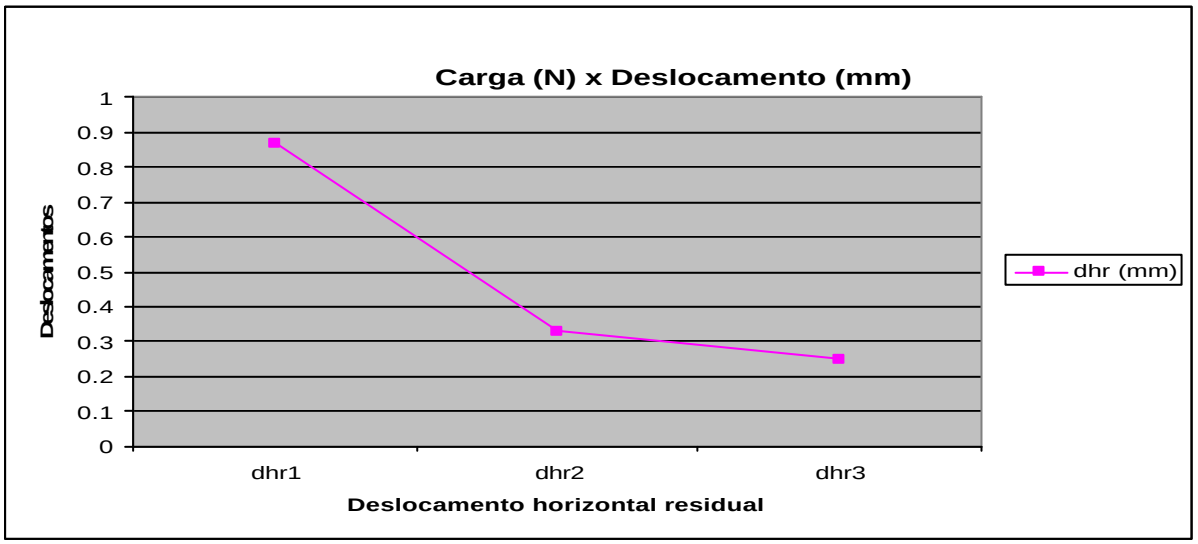

Figura 5.55 – Gráfico dos deslocamentos horizontais residuais devido ao ensaio de peça suspensa na parede de concreto celular parcialmente armada. (casa 06).

A Tabela 5.28 mostra os resultados da terceira unidade habitacional dentre as três ensaiadas que apresentou deslocamentos horizontais imediatos e residuais devido ao ensaio de capacidade de suporte de peças suspensas.

Tabela 5.28 – Resultado do ensaio de capacidade de suporte de peças suspensas – parede de concreto celular parcialmente armada (casa 11).

Carga (N)	Deslocamento horizontal imediato (dh_i) – mm				
	Casa 11			dh_i-limite (mm)	Falhas ocorridas no ensaio
	dh_i1 (mm)	dh_i2 (mm)	dh_i3 (mm)		
950	0,00	0,01	0,00	----------	Nenhuma
1000	0,12	0,01	0,00	----------	Nenhuma
1050	0,23	0,01	0,01	----------	Nenhuma
1100	0,44	0,02	0,02	----------	Nenhuma
1150	0,45	0,18	0,17	----------	Nenhuma
1200	0,80	0,38	0,30	5,40	Nenhuma
Deslocamento horizontal residual (dhr) – mm					
	dh_r1	dh_r2	dh_r3	dh_r-limite (mm)	Falhas ocorridas no ensaio
	0,36	0,22	0,21	1,08	Nenhuma

Onde: d_{hi} – deslocamento horizontal imediato;
d_{hr} – deslocamento horizontal residual.

A Figura 5.56 mostra o gráfico dos deslocamentos horizontais imediatos gerados devido ao ensaio de capacidade de suporte de peças suspensas realizado na terceira unidade habitacional de concreto celular parcialmente armada.

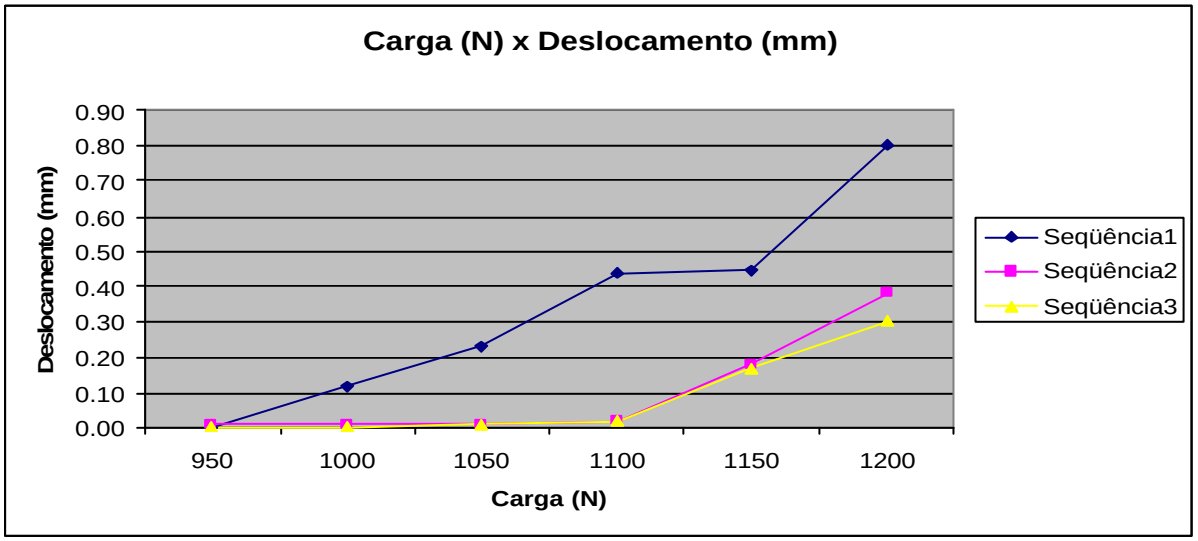

Figura 5.56 – Gráfico dos deslocamentos horizontais imediatos devido ao ensaio de peça suspensa na parede de concreto celular parcialmente armada. (casa 11).

A Figura 5.57 mostra o gráfico dos deslocamentos horizontais residuais gerados devido ao ensaio de capacidade de suporte de peças suspensas realizado na terceira unidade habitacional de concreto celular parcialmente armada.

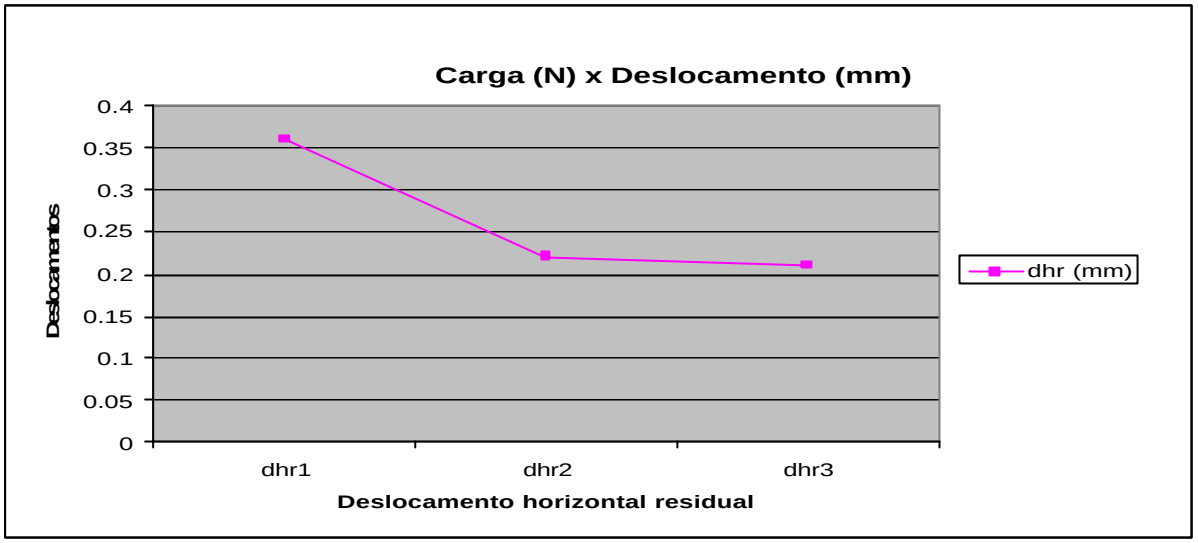

Figura 5.57 – Gráfico dos deslocamentos horizontais residuais devido ao ensaio de peça suspensa na parede de concreto celular parcialmente armada. (casa 11).

5.6 INTERAÇÃO ENTRE PAREDES E PORTAS

5.6.1 MÉTODO DE AVALIAÇÃO DE INTERAÇÃO ENTRE PAREDES E PORTAS

Este ensaio procura reproduzir os fechamentos bruscos de portas, causados por manobras anormais como, por exemplo, o vento (figura 5.58), bem como o impacto de corpo mole, causado por forças de arrancamento como, por exemplo, tentativa de arrombamento.

Figura 5.58 - Exemplo de fechamento brusco de porta.

O procedimento do ensaio consiste em manter a folha da porta aberta formando um ângulo de 60º com o plano do batente e com o auxílio de um sistema constituído por um fio de aço, roldana, suporte de roldana e contrapeso. Deve-se aplicar a maçaneta da porta uma força de 150 N perpendicular ao plano da porta, de modo que, antes da porta atingir o marco, a força produzida não esteja mais atuando (figura 5.59). São aplicados 10 fechamentos bruscos

evitando repiques. Após cada um deles são registradas as ocorrências observadas tanto no contorno do marco quanto na porta ensaiada (Projeto de Norma 02.136.01.004, ABNT 2004).

Figura 5.59 – Ensaio de interação entre paredes e portas – fechamento bruscos.

No que se refere ao impacto de corpo mole, o ensaio é realizado com a porta fechada, aplicando a energia de 240J no centro geométrico da porta. Aplicam-se dois impactos na folha da porta, onde o primeiro impacto é aplicado no sentido do fechamento da porta (folha compelida contra o batente) e o segundo no sentido da abertura da porta (figura 5.60). Após aplicar a energia de impacto, registra-se as ocorrências, observadas tanto no contorno do marco quanto na porta ensaiada (ABNT - projeto 02.136.01.004, 2004).

Figura 5.60 – Ensaio de interação entre paredes e portas – impacto de corpo mole.

5.6.2 APARELHAGEM

As Figuras 5.59 e 5.60 mostram os aparelhos utilizados na realização dos ensaios de interação entre paredes e portas, nas unidades habitacionais de solo-cimento e concreto celular. A aparelhagem necessária está de acordo com a NBR 8054 (ABNT, 1983), sendo a seguinte:

- Saco cilíndrico, com diâmetro 350 mm e altura aproximada de 900 mm, contendo no seu interior areia seca e serragem, com peso total de 400 N, para ser usado como corpo mole.

- Sistema pendular constituído de um suporte com altura superior à altura da porta a ser ensaiada;

- Pórtico metálico para suspender o saco cilíndrico gerando as energias de impactos;

- Fio destinado à sustentação do saco cilíndrico;

5.6.3 RESULTADOS DOS ENSAIOS

Os ensaios de interação entre paredes e portas foram realizados nas unidades habitacionais de solo-cimento e concreto celular, observando os critérios de desempenho para a energia de impacto de 240 J conforme ensaio de corpo mole e dez operações de fechamento brusco de portas. Os critérios de desempenho deste ensaio estão descritos no item 2.2.9 (p.22) desta pesquisa.

5.6.3.1 Parede de solo-cimento rejuntada

A Tabela 5.29 mostra os resultados das unidades habitacionais relativo ao ensaio de interação entre paredes e portas. As casas de solo-cimento rejuntadas onde foram realizados os ensaios de interação entre paredes e portas pertencem ao "Conjunto Habitacional Carlos Braga", conforme Tabela 5.2 (p. 50).

Tabela 5.29 – Resultado do ensaio de interação entre paredes e portas – parede de solo-cimento rejuntada.

		Ensaios	Falhas apresentadas após a realização dos ensaios	
Elementos	Paredes	Operações de fechamento brusco	Nenhuma	
		Impacto de corpo mole	Danos localizados no contorno com o marco: Fissurações	
Casas ensaiadas no Conjunto Carlos Braga		Casa 78	Casa 80	Casa 81

A Figura 5.61 ilustra as fissuras localizadas no contorno com o marco geradas devido o ensaio de interação entre paredes e portas.

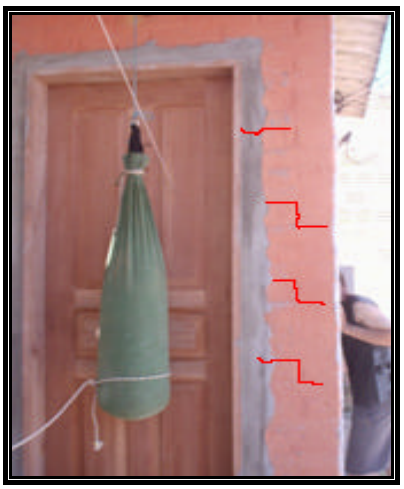

Figura 5.61 – Fissuras devido ao ensaio de interação entre paredes e portas.

5.6.3.2 Parede de solo-cimento rebocada

A Tabela 5.30 mostra os resultados das unidades habitacionais, relativo ao ensaio de interação entre paredes e portas. As casas de solo-cimento rebocadas onde foram realizados os ensaios de interação entre paredes e portas pertencem ao "Conjunto Habitacional Carlos Braga", conforme Tabela 5.2 (p. 50).

Tabela 5.30 – Resultado do ensaio de interação entre paredes e portas – parede de solo-cimento rebocada.

		Ensaios	Falhas apresentadas após a realização dos ensaios	
Elementos	Paredes	Operações de fechamento brusco	Nenhuma	
		Impacto de corpo mole	Nenhuma	
Casas ensaiadas no Conjunto Carlos Braga		Casa 40	Casa 57	Casa 78

5.6.3.3 Parede de concreto celular armada

A Tabela 5.31 mostra os resultados das unidades habitacionais relativo ao ensaio de interação entre paredes e portas. As casas de concreto celular armada onde foram realizados os ensaios de interação entre paredes e portas pertencem ao "Conjunto Habitacional Cidadão V" e "Conjunto Habitacional Cidadão VI", conforme Tabela 5.2 (p. 50).

Tabela 5.31 – Resultado do ensaio de interação entre paredes e portas – parede de concreto celular armada.

	Ensaios	Falhas apresentadas após a realização dos ensaios

Elementos	Paredes	Operações de fechamento brusco	Nenhuma	
		Impacto de corpo mole	Danos localizados no contorno com o marco: Fissurações	
Conjunto Cidadão V e VI		Casa 07	Casa 148	Casa 149

5.6.3.4 Parede de concreto celular parcialmente armada

A Tabela 5.32 mostra os resultados das unidades habitacionais relativo ao ensaio de interação entre paredes e portas. As casas de concreto celular parcialmente armada onde foram realizados os ensaios de interação entre paredes e portas pertencem ao "Conjunto Habitacional Cidadão V" e "Conjunto Habitacional Cidadão VI", conforme Tabela 5.2 (p. 50).

Tabela 5.32 – Resultado do ensaio de interação entre paredes e portas – parede de concreto celular parcialmente armada.

		Ensaios	Falhas apresentadas após a realização dos ensaios	
Elementos	Paredes	Operações de fechamento brusco	Nenhuma	
		Impacto de corpo mole	Danos localizados no contorno com o marco: Fissurações	
Conjunto Cidadão V e VI		Casa 03	Casa 06	Casa 11

5.7 SUSTENTAÇÃO DE REDE DE DORMIR

5.7.1 MÉTODO DE AVALIAÇÃO DE SUSTENTAÇÃO DE REDE DE DORMIR

Este ensaio é aplicável em paredes externas e internas e verifica seu comportamento quando submetidos às solicitações transmitidas por cargas provenientes de peças suspensas, mais especificamente neste caso, rede de dormir. Após colocar a rede nos armadores que estarão chumbados diretamente nas paredes, devem-se colocar os contra pesos que deverão produzir uma força de arrancamento de 2000 N diretamente nos ganchos (armadores) e estes transmitirão a parede (Projeto de Norma 02.136.01.004 - ABNT, 2004). No lado oposto da parede onde se aplica as cargas nos armadores, colocam-se os relógios comparadores para medir os deslocamentos horizontal imediato e residual (figuras 5.62 e 5.63).

Figura 5.62 – Ensaio de sustentação de rede de dormir.

Figura 5.63 – Relógios comparadores colocados no lado oposto da parede onde se realiza o ensaio de sustentação de rede de dormir.

5.7.2 APARELHAGEM

As Figuras 5.62 e 5.63 mostram os aparelhos utilizados na realização dos ensaios sustentação de rede de dormir nas unidades habitacionais de solo-cimento e concreto celular. A aparelhagem necessária está de acordo com a NBR 8054 (ABNT, 1983), sendo a seguinte:

- Rede de dormir e armador de rede chumbado na parede a ser ensaiada;
- Relógios comparadores (extensômetros);
- Estrutura vertical (perfil C metálico) para colocação dos relógios comparadores.

5.7.3 RESULTADOS DOS ENSAIOS

Conforme item 2.2.11 (p.23) as paredes de solo-cimento e concreto celular devem apresentar respectivamente para carga de serviço de 2 kN valores de deslocamento horizontal imediato (d_{hi}) e horizontal residual (d_{hr}) de no máximo 5,40 e 1,08 mm. O Projeto de Norma 02.136.01.004 (ABNT, 2004) determina que os valores máximos de deslocamentos horizontal imediato e residual que as paredes devem apresentar para carga de serviço de 2 kN são obtidos pela expressão:

- $d_{hi} = \frac{H}{500}$;
- $dh_r = \frac{H}{2500}$.

Desta forma, levando em consideração os limites de deslocamentos e os demais critérios de desempenho para a carga de serviço aplicada conforme item 2.2.11 desta pesquisa, é que se

realiza o ensaio na parede, registrando as ocorrências após a aplicação dos contrapesos. Os ensaios foram realizados tomando como referência o Manual do IPT (1981) e o Projeto de Norma da ABNT 02.136.01.004 (ABNT, 2004).

5.7.3.1 Parede de solo-cimento rejuntada

As casas de solo-cimento rejuntadas onde foram realizados os ensaios de sustentação de rede de dormir pertencem ao "Conjunto Habitacional Carlos Braga", conforme Tabela 5.2 (p. 50).

A Tabela 5.33 mostra os resultados da primeira unidade habitacional dentre as três ensaiadas que apresentou deslocamentos horizontais imediatos e residuais devido ao ensaio de sustentação de rede de dormir.

Tabela 5.33 – Resultado do ensaio de sustentação de rede de dormir – parede de solo-cimento rejuntada (casa 78).

Carga (N)	Deslocamento horizontal imediato (dh_i) – mm				
	Casa 78			dh_i-limite (mm)	Falhas ocorridas no ensaio
	dh_i1 (mm)	dh_i2 (mm)	dh_i3 (mm)		
2000	1,12	0,70	0,22	5,40	Nenhuma
Deslocamento horizontal residual (dhr) – mm					
	dh_r1	dh_r2	dh_r3	dh_r-limite (mm)	Falhas ocorridas no ensaio
	0,88	0,63	0,18	1,08	Nenhuma

Onde: d_{hi} – deslocamento horizontal imediato;
d_{hr} – deslocamento horizontal residual.

A Figura 5.64 mostra o gráfico que representa os deslocamentos horizontais imediatos e residuais na parede de solo-cimento rejuntada.

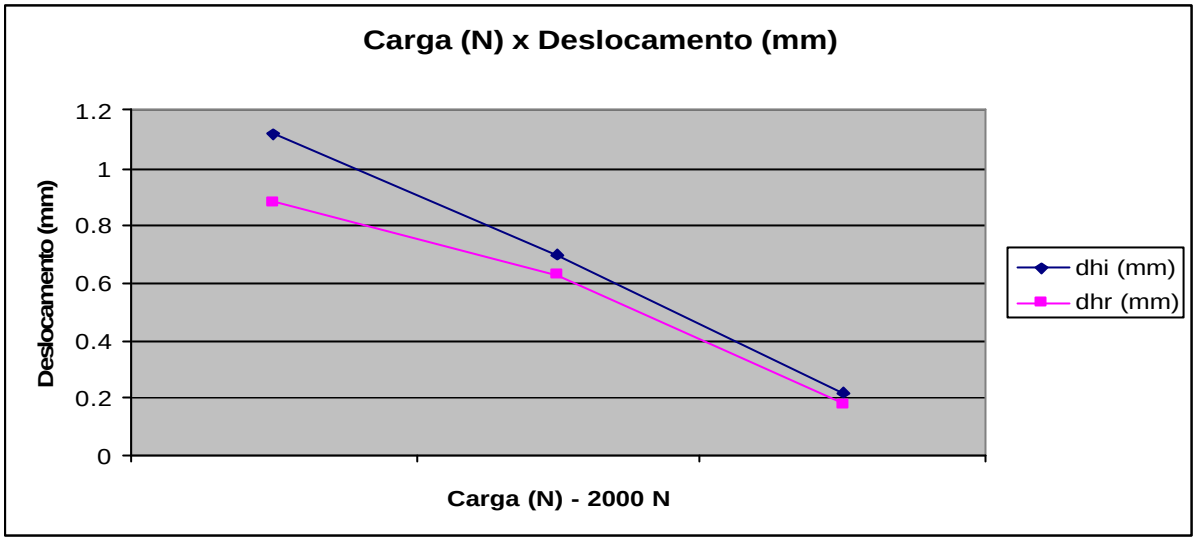

Figura 5.64 – Gráfico dos deslocamentos horizontais imediatos e residuais na parede de solo-cimento rejuntada devido ao ensaio de sustentação de rede de dormir. (casa 78).

A Tabela 5.34 mostra os resultados da segunda unidade habitacional dentre as três ensaiadas que apresentou deslocamentos horizontais imediatos e residuais devido ao ensaio de sustentação de rede de dormir

Tabela 5.34 – Resultado do ensaio de sustentação de rede de dormir – parede de solo-cimento rejuntada (casa 80).

Carga (N)	Deslocamento horizontal imediato (dh_i) – mm				
	Casa 80			dh_i-limite (mm)	Falhas ocorridas no ensaio
	dh_i1 (mm)	dh_i2 (mm)	dh_i3 (mm)		
2000	0,88	0,55	0,12	5,40	Nenhuma
Deslocamento horizontal residual (dhr) – mm					
	dh_r1	dh_r2	dh_r3	dh_r-limite (mm)	Falhas ocorridas no ensaio
	0,65	0,33	0,08	1,08	Nenhuma

Onde: d_{hi} – deslocamento horizontal imediato;
d_{hr} – deslocamento horizontal residual.

A Figura 5.65 mostra o gráfico que representa os deslocamentos horizontais imediatos e residuais na parede de solo-cimento rejuntada.

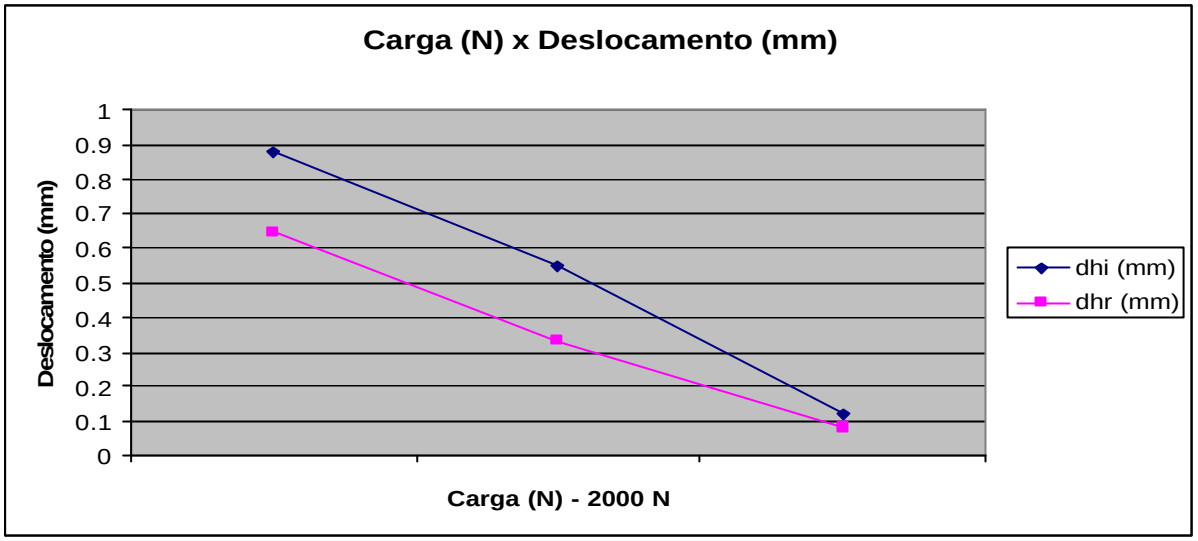

Figura 5.65 – Gráfico dos deslocamentos horizontais imediatos e residuais na parede de solo-cimento rejuntada devido ao ensaio de sustentação de rede de dormir. (casa 80).

A Tabela 5.35 mostra os resultados da segunda unidade habitacional dentre as três ensaiadas que apresentou deslocamentos horizontais imediatos e residuais devido ao ensaio de sustentação de rede de dormir

Tabela 5.35 – Resultado do ensaio de sustentação de rede de dormir – parede de solo-cimento rejuntada (casa 81).

Carga (N)	Deslocamento horizontal imediato (dh_i) – mm				
	Casa 81			dh_i-limite (mm)	Falhas ocorridas no ensaio
	dh_i1 (mm)	dh_i2 (mm)	dh_i3 (mm)		
2000	0,93	0,37	0,10	5,40	Nenhuma
Deslocamento horizontal residual (dhr) – mm					
	dh_r1	dh_r2	dh_r3	dh_r-limite (mm)	Falhas ocorridas no ensaio
	0,78	0,21	0,02	1,08	Nenhuma

Onde: d_{hi} – deslocamento horizontal imediato;
d_{hr} – deslocamento horizontal residual.

A Figura 5.66 mostra o gráfico que representa os deslocamentos horizontais imediatos e residuais na parede de solo-cimento rejuntada.

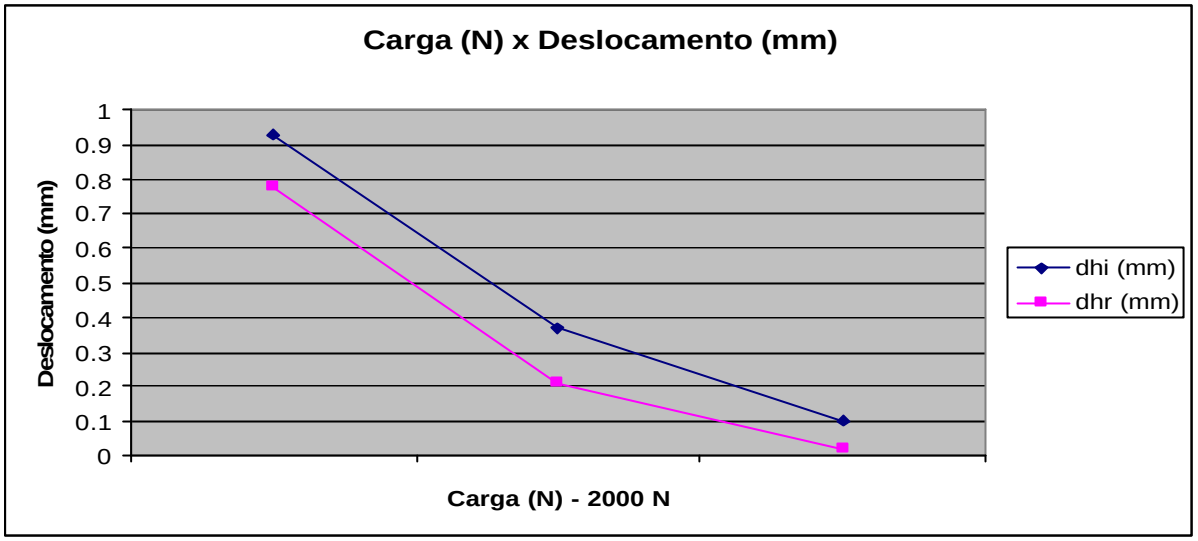

Figura 5.66 – Gráfico dos deslocamentos horizontais imediatos e residuais na parede de solo-cimento rejuntada devido ao ensaio de sustentação de rede de dormir. (casa 81).

5.7.3.2 Parede de solo-cimento rebocada

As casas de solo-cimento rebocadas onde foram realizados os ensaios de sustentação de rede de dormir pertencem ao "Conjunto Habitacional Carlos Braga", conforme Tabela 5.2 (p. 50).

A Tabela 5.36 mostra os resultados da primeira unidade habitacional dentre as três ensaiadas que apresentou deslocamentos horizontais imediatos e residuais devido ao ensaio de sustentação de rede de dormir.

Tabela 5.36 – Resultado do ensaio de sustentação de rede de dormir – parede de solo-cimento rebocada (casa 78).

Carga (N)	Deslocamento horizontal imediato (dh_i) – mm				
	Casa 78			dh_i-limite (mm)	Falhas ocorridas no ensaio
	dh_i1 (mm)	dh_i2 (mm)	dh_i3 (mm)		
2000	0,34	0,12	0,08	5,40	Nenhuma
Deslocamento horizontal residual (dhr) – mm					
	dh_r1	dh_r2	dh_r3	dh_r-limite (mm)	Falhas ocorridas no ensaio
	0,22	0,06	0,03	1,08	Nenhuma

Onde: d_{hi} – deslocamento horizontal imediato;
d_{hr} – deslocamento horizontal residual.

A Figura 5.67 mostra o gráfico que representa os deslocamentos horizontais imediatos e residuais na parede de solo-cimento rejuntada.

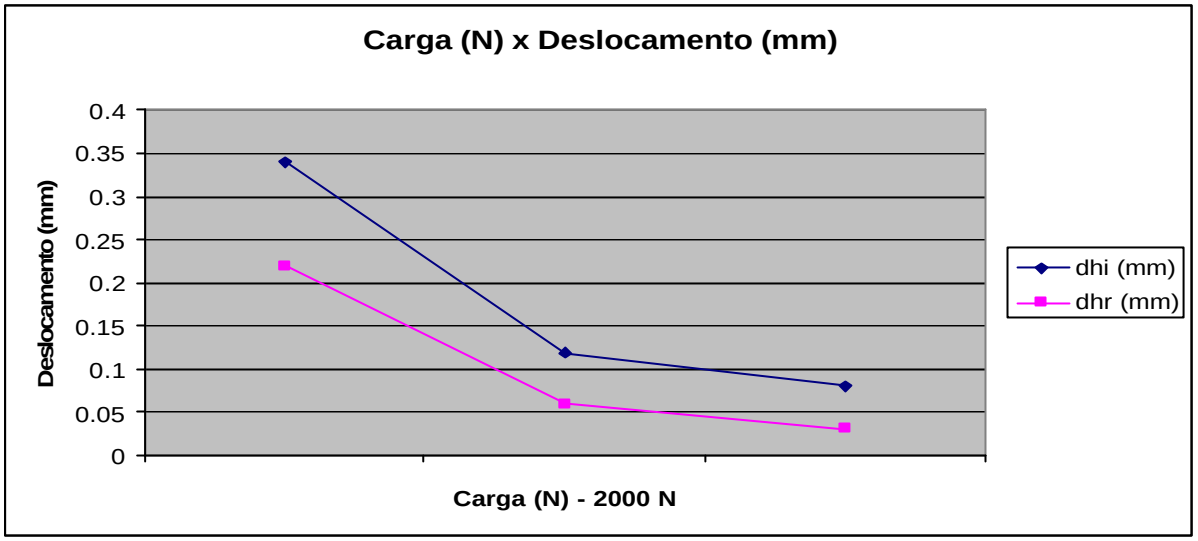

Figura 5.67 – Gráfico dos deslocamentos horizontais imediatos e residuais na parede de solo-cimento rebocada devido ao ensaio de sustentação de rede de dormir. (casa 78).

A Tabela 5.37 mostra os resultados da segunda unidade habitacional dentre as três ensaiadas que apresentou deslocamentos horizontais imediatos e residuais devido ao ensaio de sustentação de rede de dormir

Tabela 5.37 – Resultado do ensaio de sustentação de rede de dormir – parede de solo-cimento rebocada (casa 57).

Carga (N)	Deslocamento horizontal imediato (dh_i) – mm				
	Casa 57			dh_i-limite (mm)	Falhas ocorridas no ensaio
	dh_i1 (mm)	dh_i2 (mm)	dh_i3 (mm)		
2000	0,21	0,11	0,06	5,40	Nenhuma
Deslocamento horizontal residual (dhr) – mm					
	dh_r1	dh_r2	dh_r3	dh_r-limite (mm)	Falhas ocorridas no ensaio
	0,13	0,07	0,04	1,08	Nenhuma

Onde: d_{hi} – deslocamento horizontal imediato;
d_{hr} – deslocamento horizontal residual.

A Figura 5.68 mostra o gráfico que representa os deslocamentos horizontais imediatos e residuais na parede de solo-cimento rebocada.

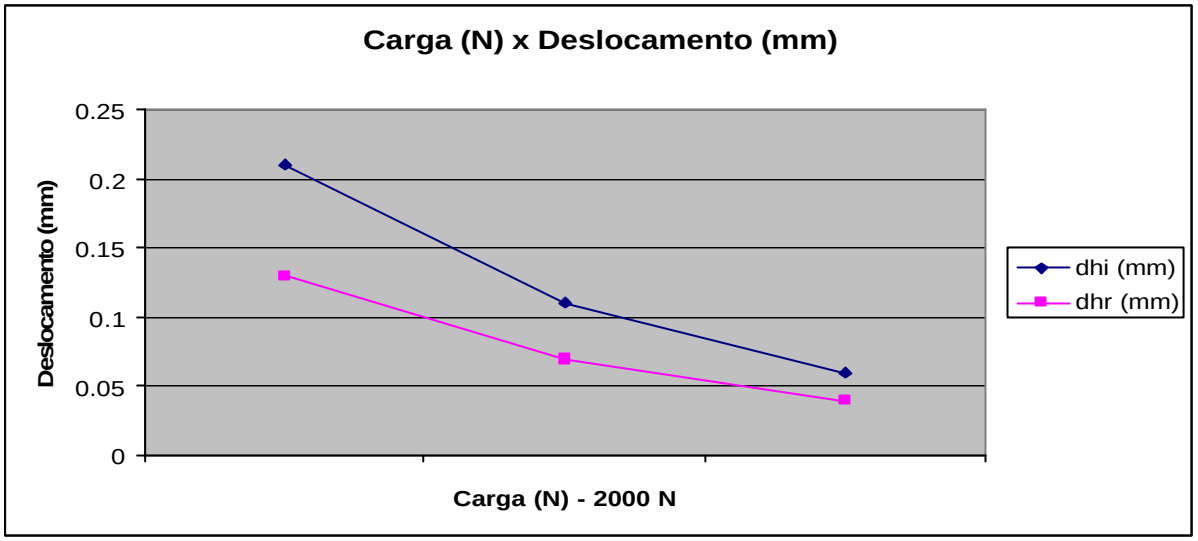

Figura 5.68 – Gráfico dos deslocamentos horizontais imediatos e residuais na parede de solo-cimento rebocada devido ao ensaio de sustentação de rede de dormir. (casa 57).

A Tabela 5.38 mostra os resultados da segunda unidade habitacional dentre as três ensaiadas que apresentou deslocamentos horizontais imediatos e residuais devido ao ensaio de sustentação de rede de dormir

Tabela 5.38 – Resultado do ensaio de sustentação de rede de dormir – parede de solo-cimento rebocada (casa 40).

Carga (N)	Deslocamento horizontal imediato (dh_i) – mm				
	Casa 40			dh_i-limite (mm)	Falhas ocorridas no ensaio
	dh_i1 (mm)	dh_i2 (mm)	dh_i3 (mm)		
2000	0,23	0,15	0,02	5,40	Nenhuma
Deslocamento horizontal residual (dhr) – mm					
	dh_r1	dh_r2	dh_r3	dh_r-limite (mm)	Falhas ocorridas no ensaio
	0,17	0,12	0,01	1,08	Nenhuma

Onde: d_{hi} – deslocamento horizontal imediato;
d_{hr} – deslocamento horizontal residual.

A Figura 5.69 mostra o gráfico que representa os deslocamentos horizontais imediatos e residuais na parede de solo-cimento rebocada.

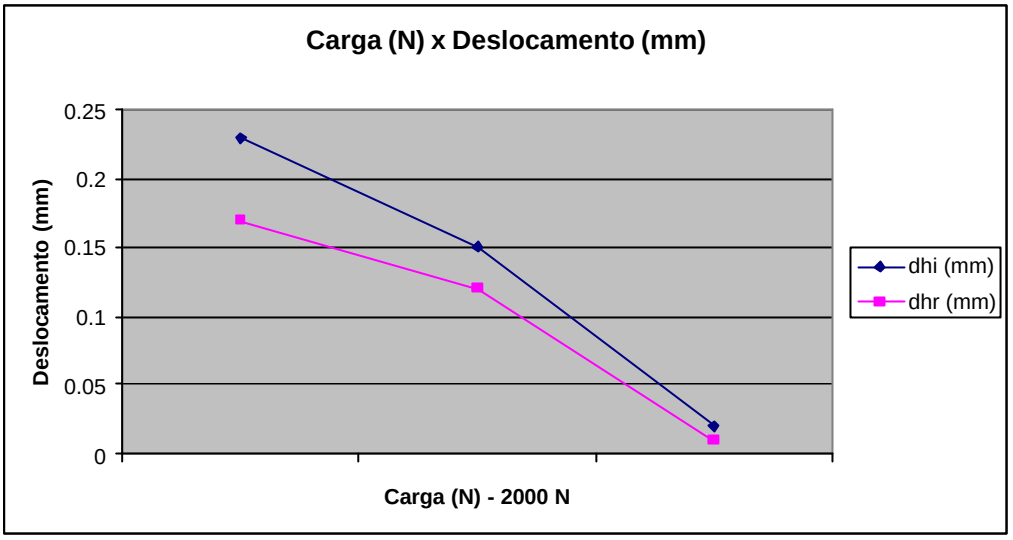

Figura 5.69 – Gráfico dos deslocamentos horizontais imediatos e residuais na parede de solo-cimento rebocada devido ao ensaio de sustentação de rede de dormir (casa 40).

5.7.3.3 Parede de concreto celular armada

As casas de concreto celular armada onde foram realizados os ensaios de sustentação de rede de dormir pertencem ao "Conjunto Habitacional Cidadão V" e "Conjunto Habitacional Cidadão VI", conforme Tabela 5.2 (p. 50).

A Tabela 5.39 mostra os resultados da primeira unidade habitacional dentre as três ensaiadas que apresentou deslocamentos horizontais imediatos e residuais devido ao ensaio de sustentação de rede de dormir.

Tabela 5.39 – Resultado do ensaio de sustentação de rede de dormir – parede de concreto celular armada (casa 07).

Carga (N)	Deslocamento horizontal imediato (dh_i) – mm				
	Casa 07			dh_i-limite (mm)	Falhas ocorridas no ensaio
	dh_i1 (mm)	dh_i2 (mm)	dh_i3 (mm)		
2000	0,97	0,45	0,34	5,40	Nenhuma
Deslocamento horizontal residual (dhr) – mm					
	dh_r1	dh_r2	dh_r3	dh_r-limite (mm)	Falhas ocorridas no ensaio
	0,77	0,30	0,23	1,08	Nenhuma

Onde: d_{hi} – deslocamento horizontal imediato;
d_{hr} – deslocamento horizontal residual.

A Figura 5.70 mostra o gráfico que representa os deslocamentos horizontais imediatos e residuais na parede de concreto celular armada.

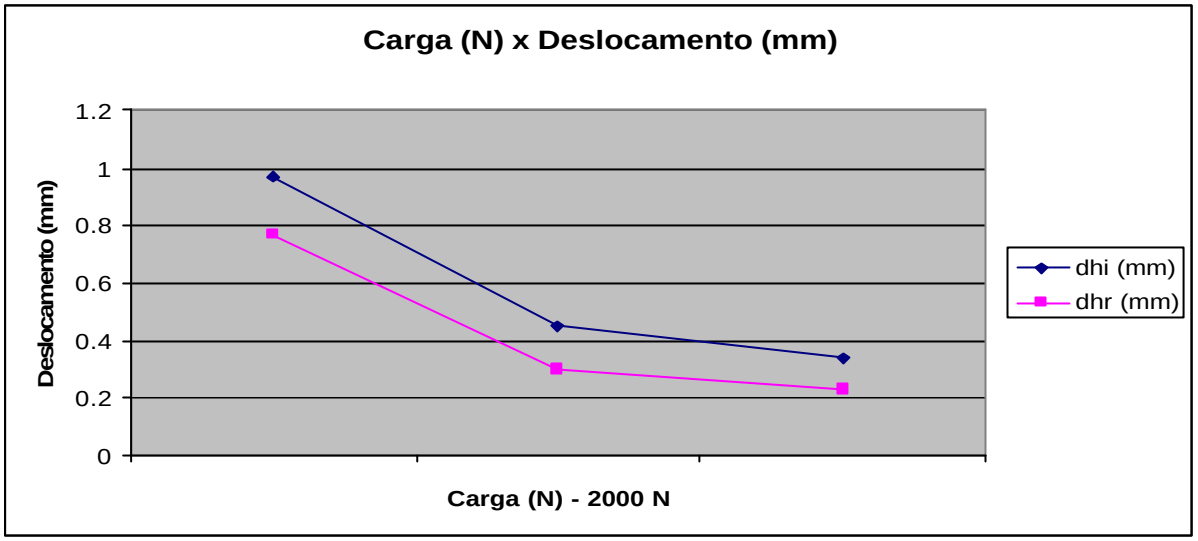

Figura 5.70 – Gráfico dos deslocamentos horizontais imediatos e residuais na parede de concreto celular armada devido ao ensaio de sustentação de rede de dormir (casa 07).

A Tabela 5.40 mostra os resultados da segunda unidade habitacional dentre as três ensaiadas que apresentou deslocamentos horizontais imediatos e residuais devido ao ensaio de sustentação de rede de dormir

Tabela 5.40 – Resultado do ensaio de sustentação de rede de dormir – parede de concreto celular armada (casa 148).

Carga (N)	Deslocamento horizontal imediato (dh_i) – mm				
	Casa 148			dh_i-limite (mm)	Falhas ocorridas no ensaio
	dh_i1 (mm)	dh_i2 (mm)	dh_i3 (mm)		
2000	0,55	0,32	0,20	5,40	Nenhuma
Deslocamento horizontal residual (dhr) – mm					
	dh_r1	dh_r2	dh_r3	dh_r-limite (mm)	Falhas ocorridas no ensaio
	0,30	0,21	0,17	1,08	Nenhuma

Onde: d_{hi} – deslocamento horizontal imediato;
d_{hr} – deslocamento horizontal residual.

A Figura 5.71 mostra o gráfico que representa os deslocamentos horizontais imediatos e residuais na parede de concreto celular armada.

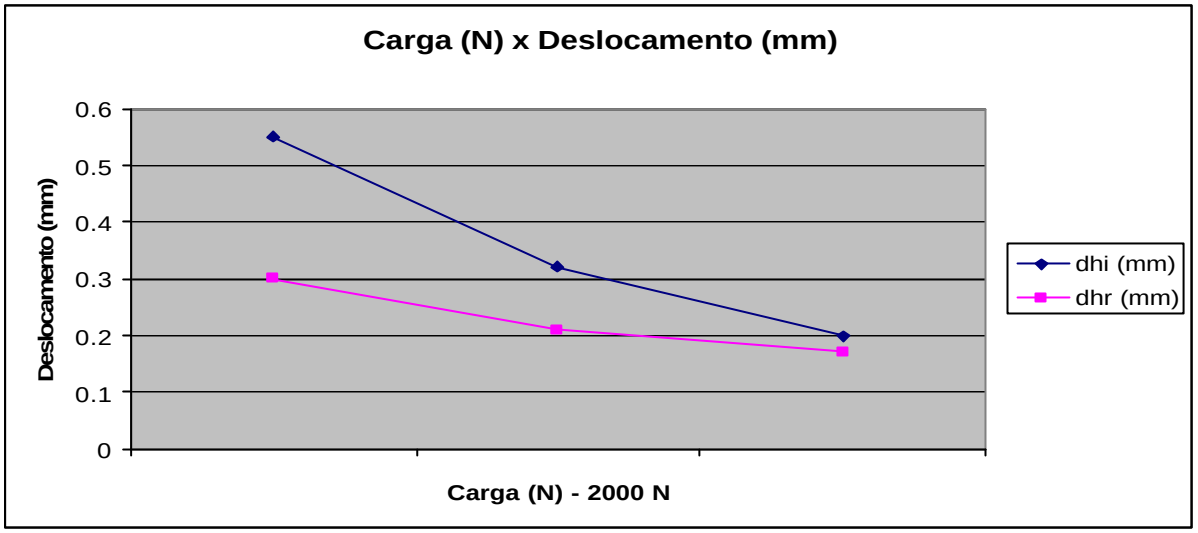

Figura 5.71 – Gráfico dos deslocamentos horizontais imediatos e residuais na parede de concreto celular armada devido ao ensaio de sustentação de rede de dormir (casa 148).

A Tabela 5.41 mostra os resultados da segunda unidade habitacional dentre as três ensaiadas que apresentou deslocamentos horizontais imediatos e residuais devido ao ensaio de sustentação de rede de dormir.

Tabela 5.41 – Resultado do ensaio de sustentação de rede de dormir – parede de concreto celular armada (casa 149).

Carga (N)	Deslocamento horizontal imediato (dh_i) – mm				
	Casa 149			dh_i-limite (mm)	Falhas ocorridas no ensaio
	dh_i1 (mm)	dh_i2 (mm)	dh_i3 (mm)		
2000	0,68	0,48	0,27	5,40	Nenhuma
Deslocamento horizontal residual (dhr) – mm					
	dh_r1	dh_r2	dh_r3	dh_r-limite (mm)	Falhas ocorridas no ensaio
	0,45	0,33	0,21	1,08	Nenhuma

Onde: d_{hi} – deslocamento horizontal imediato;
d_{hr} – deslocamento horizontal residual.

A Figura 5.72 mostra o gráfico que representa os deslocamentos horizontais imediatos e residuais na parede de concreto celular armada.

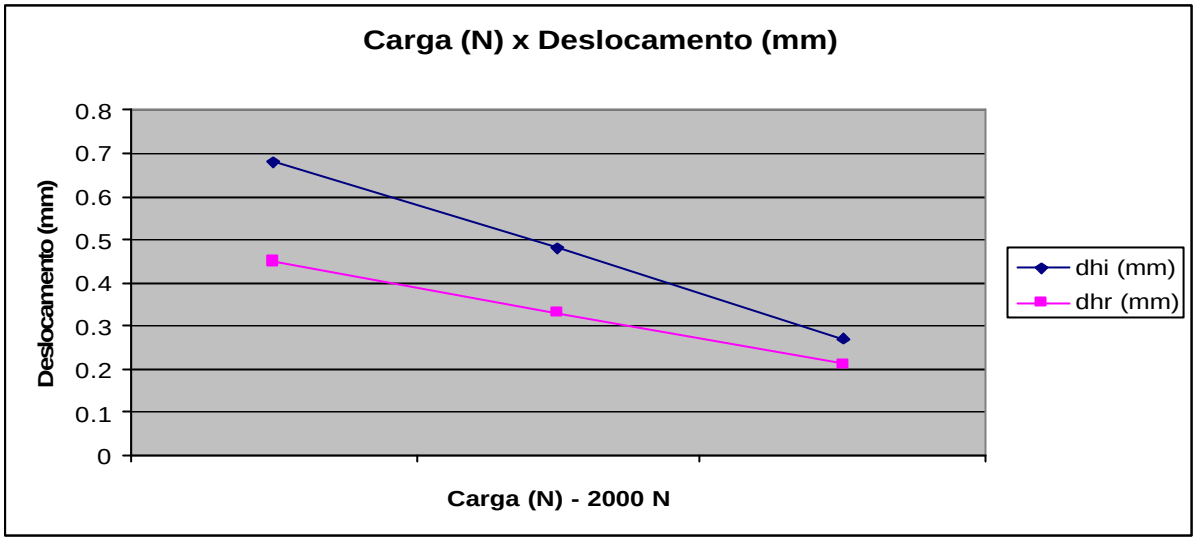

Figura 5.72 – Gráfico dos deslocamentos horizontais imediatos e residuais na parede de concreto celular armada devido ao ensaio de sustentação de rede de dormir (casa 149).

5.7.3.4 Parede de concreto celular parcialmente armada

As casas de concreto celular parcialmente armada onde foram realizados os ensaios de sustentação de rede de dormir pertencem ao "Conjunto Habitacional Cidadão V" e "Conjunto Habitacional Cidadão VI", conforme Tabela 5.2 (p. 50).

A Tabela 5.42 mostra os resultados da primeira unidade habitacional dentre as três ensaiadas que apresentou deslocamentos horizontais imediatos e residuais devido ao ensaio de sustentação de rede de dormir.

Tabela 5.42 – Resultado do ensaio de sustentação de rede de dormir – parede de concreto celular parcialmente armada (casa 03).

Carga (N)	Deslocamento horizontal imediato (dh_i) – mm				
	Casa 03			dh_i-limite (mm)	Falhas ocorridas no ensaio
	dh_i1 (mm)	dh_i2 (mm)	dh_i3 (mm)		
2000	1,56	0,89	0,67	5,40	Nenhuma
Deslocamento horizontal residual (dhr) – mm					
	dh_r1	dh_r2	dh_r3	dh_r-limite (mm)	Falhas ocorridas no ensaio
	1,30	0,70	0,45	1,08	Nenhuma

Onde: d_{hi} – deslocamento horizontal imediato;
d_{hr} – deslocamento horizontal residual.

A Figura 5.73 mostra o gráfico que representa os deslocamentos horizontais imediatos e residuais na parede de concreto celular parcialmente armada.

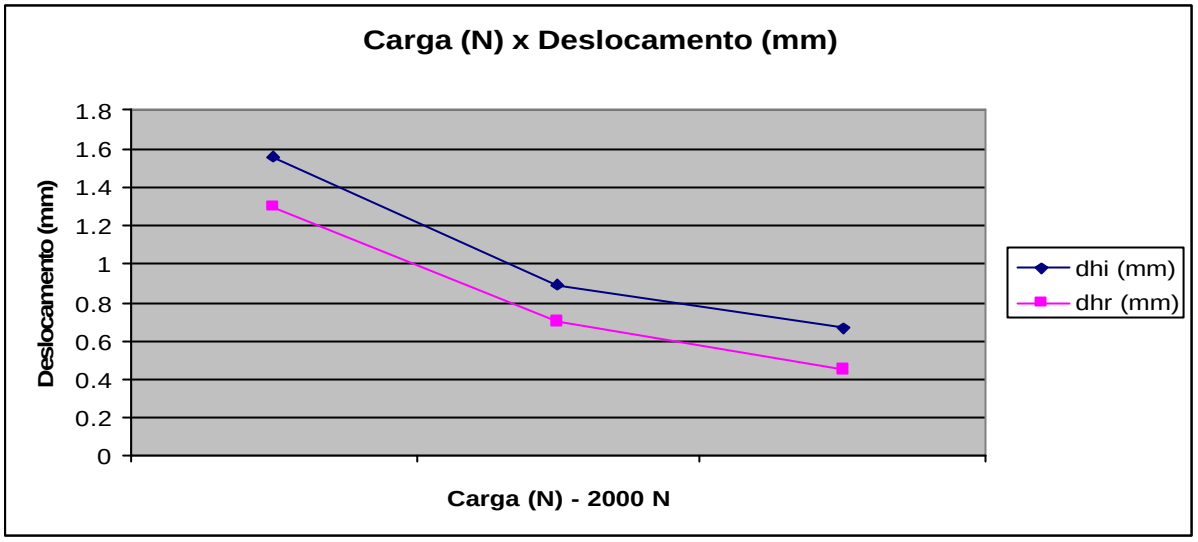

Figura 5.73 – Gráfico dos deslocamentos horizontais imediatos e residuais na parede de concreto celular parcialmente armada devido ao ensaio de sustentação de rede de dormir (casa 03).

A Tabela 5.43 mostra os resultados da segunda unidade habitacional dentre as três ensaiadas que apresentou deslocamentos horizontais imediatos e residuais devido ao ensaio de sustentação de rede de dormir.

Tabela 5.43 – Resultado do ensaio de sustentação de rede de dormir – parede de concreto celular parcialmente armada (casa 06).

Carga (N)	Deslocamento horizontal imediato (dh_i) – mm				
	Casa 06			dh_i-limite (mm)	Falhas ocorridas no ensaio
	dh_i1 (mm)	dh_i2 (mm)	dh_i3 (mm)		
2000	1,12	0,56	0,32	5,40	Nenhuma
Deslocamento horizontal residual (dhr) – mm					
	dh_r1	dh_r2	dh_r3	dh_r-limite (mm)	Falhas ocorridas no ensaio
	0,93	0,33	0,27	1,08	Nenhuma

Onde: d_{hi} – deslocamento horizontal imediato;
d_{hr} – deslocamento horizontal residual.

A Figura 5.74 mostra o gráfico que representa os deslocamentos horizontais imediatos e residuais na parede de concreto celular parcialmente armada.

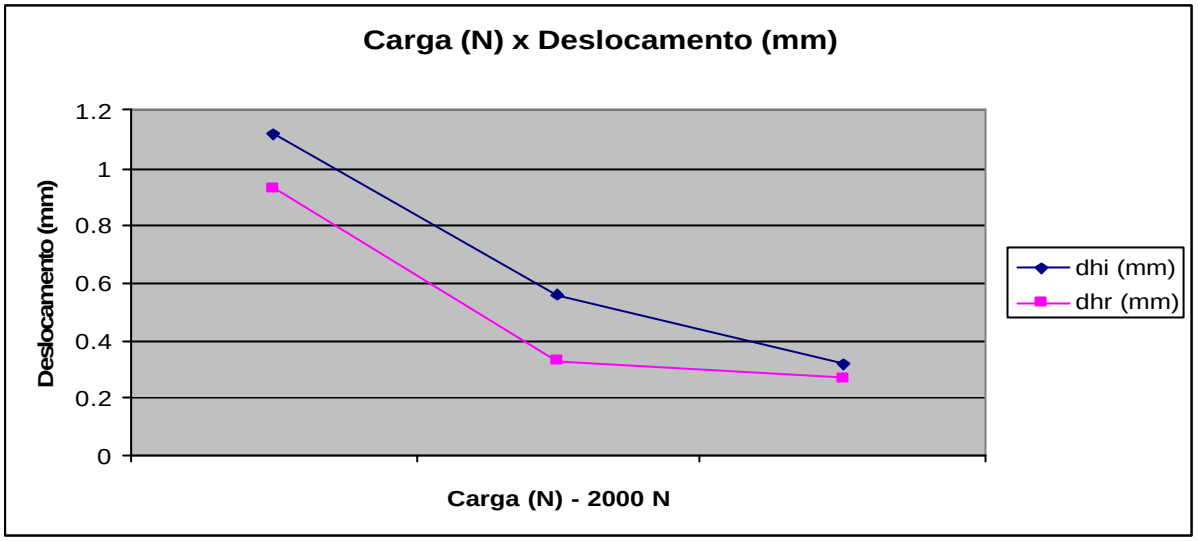

Figura 5.74 – Gráfico dos deslocamentos horizontais imediatos e residuais na parede de concreto celular parcialmente armada devido ao ensaio de sustentação de rede de dormir (casa 06).

A Tabela 5.44 mostra os resultados da segunda unidade habitacional dentre as três ensaiadas que apresentou deslocamentos horizontais imediatos e residuais devido ao ensaio de sustentação de rede de dormir

Tabela 5.44 – Resultado do ensaio de sustentação de rede de dormir – parede de concreto celular parcialmente armada (casa 11).

Carga (N)	Deslocamento horizontal imediato (dh_i) – mm				
	Casa 11			dh_i-limite (mm)	Falhas ocorridas no ensaio
	dh_i1 (mm)	dh_i2 (mm)	dh_i3 (mm)		
2000	1,17	0,55	0,35	5,40	Nenhuma
Deslocamento horizontal residual (dhr) – mm					
	dh_r1	dh_r2	dh_r3	dh_r-limite (mm)	Falhas ocorridas no ensaio
	0,88	0,43	0,21	1,08	Nenhuma

Onde: d_{hi} – deslocamento horizontal imediato;
d_{hr} – deslocamento horizontal residual.

A Figura 5.75 mostra o gráfico que representa os deslocamentos horizontais imediatos e residuais na parede de concreto celular parcialmente armada.

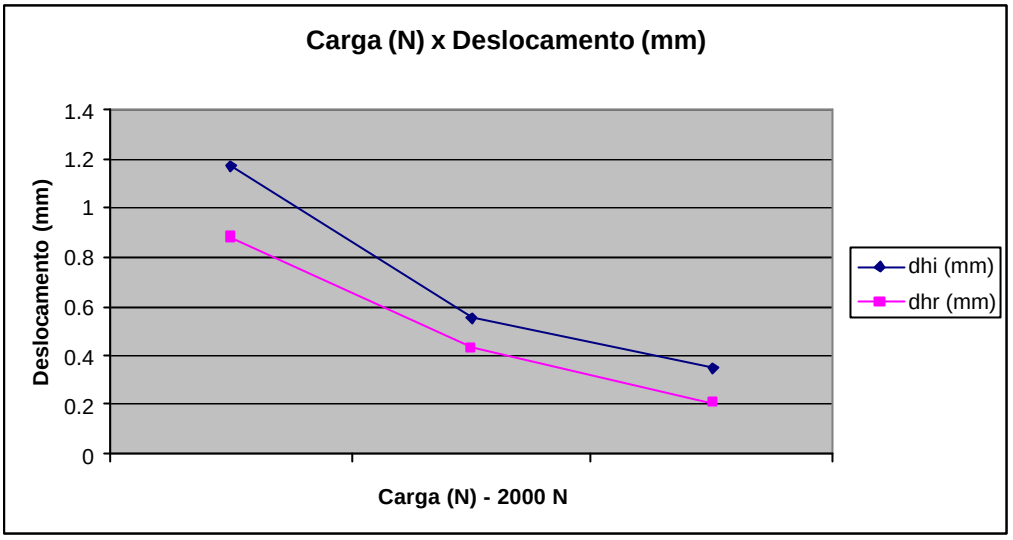

Figura 5.75 – Gráfico dos deslocamentos horizontais imediatos e residuais na parede de concreto celular parcialmente armada devido ao ensaio de sustentação de rede de dormir (casa 11).

CAPÍTULO 6

ANÁLISE DOS RESULTADOS

Apresenta-se neste capítulo a análise dos resultados obtidos nos ensaios de campo, objetivando avaliar o desempenho estrutural das unidades habitacionais de solo-cimento e concreto celular.

6.1 AVALIAÇÃO DO ESTADO LIMITE DE UTILIZAÇÃO

Após as inspeções realizadas nas unidades habitacionais de solo-cimento e concreto celular, tomando como referência o Projeto de Norma 02.136.01.002 da ABNT de 2004 permitiram que se realizassem as seguintes análises:

- As inspeções realizadas nas unidades habitacionais de solo-cimento rejuntado para verificar se as mesmas atendiam aos critérios de desempenho estabelecidos pelo Projeto de Norma com relação ao critério estado limite utilização, observou-se na tabela 5.3 (p. 56) que tais unidades apresentaram falhas como: fissuras perceptíveis a olho nu por um observador posicionado a uma distância de 1 m da superfície em análise (figura 6.1) e destacamento dos tijolos (figura 6.2), não atendendo aos critérios de desempenho estabelecidos.

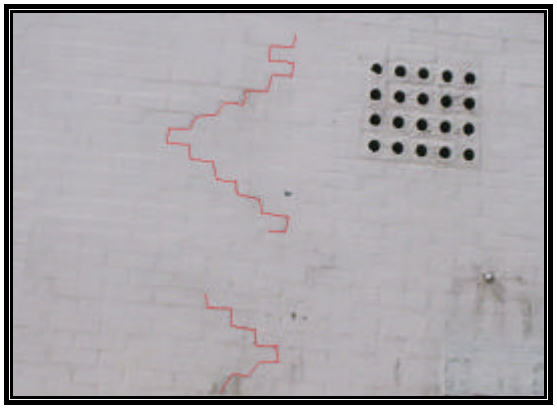

Figura 6.1 – Fissuras na parede de solo-cimento rejuntada – ELS.

Figura 6.2 – Destacamento dos tijolos na parede de solo-cimento rejuntada – ELS.

- As inspeções realizadas nas unidades habitacionais de solo-cimento rebocado e concreto celular armado atenderam aos critérios de desempenho estabelecidos pelo Projeto de Norma, não apresentando nenhum tipo de falha como: deslocamentos superiores aos indicados na Tabela 2.2 (p.17), abertura maiores que as indicadas no item 2.2.2 (p.17) , lascamentos, fraturas localizadas, destacamentos, etc (tabela 5.4 e 5.5).

- As inspeções realizadas nas unidades habitacionais de concreto celular parcialmente armado para verificar se as mesmas atendiam aos critérios de desempenho estabelecidos pelo Projeto de Norma com relação ao critério estado limite de utilização, observaram-se aberturas bem maiores que 0,4 mm (figuras 6.3, 6.4 e tabela 5.6), limite estabelecido pelo Projeto de Norma (item 2.2.2 desta pesquisa), não atendendo aos critérios de desempenho .

Figura 6.3 – Detalhe da fissura na casa de concreto celular parcialmente armado – ELS.

Figura 6.4 – Detalhe da fissura tratada numa casa de concreto celular parcialmente armado – ELS.

6.2 ENSAIO DE RESISTÊNCIA A IMPACTO DE CORPO MOLE

Após a realização dos ensaios de impacto de corpo mole nas paredes de solo-cimento e concreto celular, tomando como referência o Projeto de Norma 02.136.01.004 da ABNT de 2004, pôde-se realizar as seguintes análises:

- Os ensaios de impactos de corpo mole realizados nas unidades habitacionais construídas através da técnica de solo-cimento rejuntada, obedeceram aos critérios exigidos, conforme item 2.2.4 (p.19), principalmente no que se refere aos

deslocamentos horizontais imediatos e residuais que apresentam valores menores que os limites estabelecidos por Norma (tabela 5.8). Foi observado no item 5.3.3.1, que a partir da energia de 720 J, a face da parede oposta ao impacto, onde ocorre tração, começa a apresentar falhas como o destacamento de tijolos (figura 6.5) e fissuras nas paredes adjacentes à ensaiada (figura 6.6), o que é totalmente permitido pelos critérios estabelecidos pelo Projeto de Norma, onde indica que a partir desta energia de impacto, para o nível de desempenho I (intermediário), não deve ocorrer a ruína da parede (tabela 2.3).

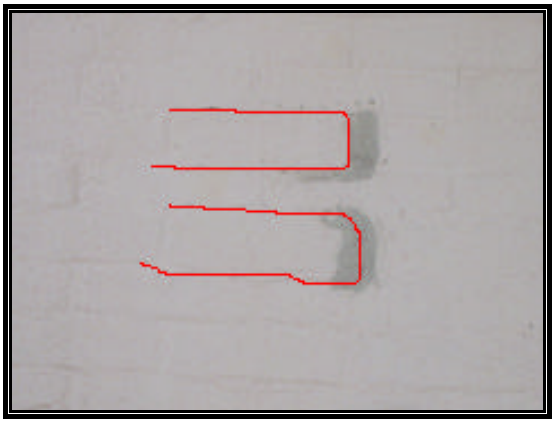

Figura 6.5 – Detalhe do destacamento dos tijolos das paredes de solo-cimento rejuntado.

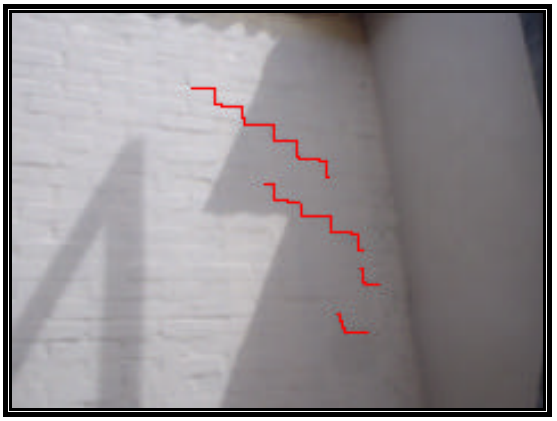

Figura 6.6 – Fissuras nas paredes de solo-cimento rejuntado.

- A realização dos ensaios de impactos de corpo mole nas unidades habitacionais de solo-cimento rebocados, obedeceu aos critérios exigidos pelo Projeto de Norma (tabela 2.3), tendo os deslocamentos horizontal imediato e residual bem abaixo dos deslocamentos limites, conforme mostra a Tabela 5.9. Não foi observado neste tipo de parede nenhuma fissura ou qualquer outra falha após os ensaios que pudesse comprometer o sistema, destacando que para energia de impacto de 240 J, os deslocamentos horizontais imediatos foram ainda menores que os deslocamentos horizontais residuais limites (tabela 5.9).

- A realização dos ensaios de impactos de corpo mole nas unidades habitacionais de concreto celular armado obedeceu aos critérios exigidos pelo Projeto de Norma (tabela 2.3), principalmente no que se refere aos deslocamentos horizontal imediato e residual (tabela 5.10). Da mesma forma que na parede de solo-cimento rejuntada, para energia

de 720 J, as fissuras começaram a aparecer, sendo esta falha totalmente permitida pelos critérios estabelecidos pela Norma (figura 6.7).

Figura 6.7 – Fissuras na parede de concreto celular armada.

- Os ensaios de impactos de corpo mole realizados nas unidades habitacionais de concreto celular parcialmente armado atenderam aos critérios de deslocamento horizontal imediato e residual para energia de 240 J (tabela 5.11). Porém, a partir desta energia de impacto, a parede começa a apresentar falha (fissuras), não atendendo ao critério estabelecido pelo Projeto de Norma (figura 6.8). Na energia de impacto de 480 J, a parede atinge a ruína, apresentando fissuras nas duas faces da parede ensaiada e arranque dos perfis metálicos da cobertura que estavam chumbados na parede (figura 6.9).

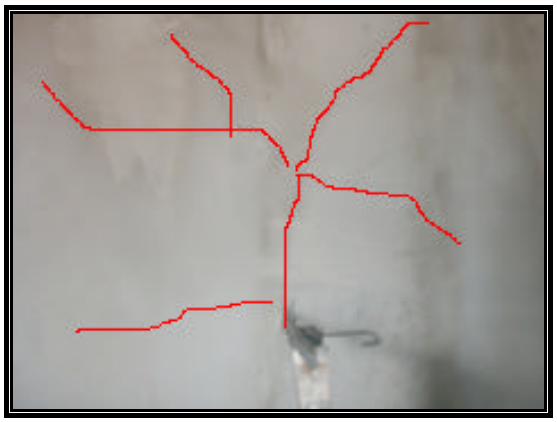

Figura 6.8 – Fissuras na parede de concreto celular parcialmente armado.

Figura 6.9 – Fissuras na parede externa e arranque dos perfis metálicos.

6.3 ENSAIO DE RESISTÊNCIA A IMPACTO DE CORPO DURO

Após a realização dos ensaios de impacto de corpo duro nas paredes de solo-cimento e concreto celular, tomando como referência o Projeto de Norma 02.136.01.004 da ABNT de 2004 pôde-se realizar as seguintes análises:

- As paredes de solo-cimento rejuntada atenderam aos critérios estabelecidos pelo Projeto de Norma para o ensaio de impacto de corpo duro de pequena dimensão (esfera de aço com massa de 0,50 kg) com energia de impacto de 3,75 J, não ocorrendo falhas como fissuras, escamações e obedecendo aos limites de profundidade das mossas. Porém, para o corpo duro de grande dimensão (esfera de aço com massa de 0,5 kg) com energia de impacto de 20 J, as paredes de solo-cimento rejuntadas, não atenderam aos critérios estabelecidos pela Norma, pois o impacto gerado pela esfera contra parede levou a ocorrência de ruptura e traspassamento (figuras 6.10 e 6.11).

Figura 6.10 – Traspassamento da parede de solo-cimento rejuntada – parede interna.

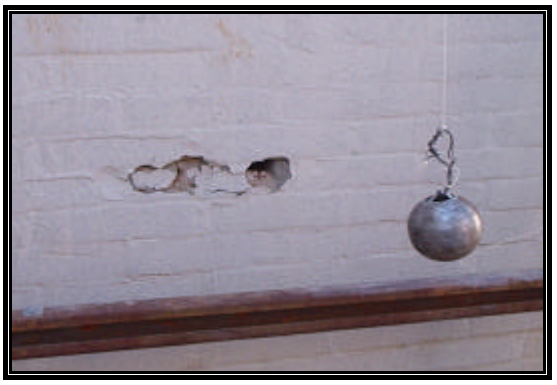

Figura 6.11 – Traspassamento da parede de solo-cimento rejuntada – parede externa.

- A realização do ensaio de corpo duro nas unidades habitacionais de concreto celular armado e parcialmente armado e solo-cimento rebocado atenderam a todos os critérios estabelecidos pelo Projeto de Norma, tanto para os corpos de pequena dimensão (esfera de aço com massa de 0,50 kg), produzindo energia de impacto de 3,75 J, quanto para os corpos de grande dimensão (esfera de aço com massa de 1 kg), produzindo energia de impacto de 20 J, não ocorrendo falhas como fissuras, escamações e obedecendo aos limites de profundidade das mossas (figuras 6.12 e 6.13).

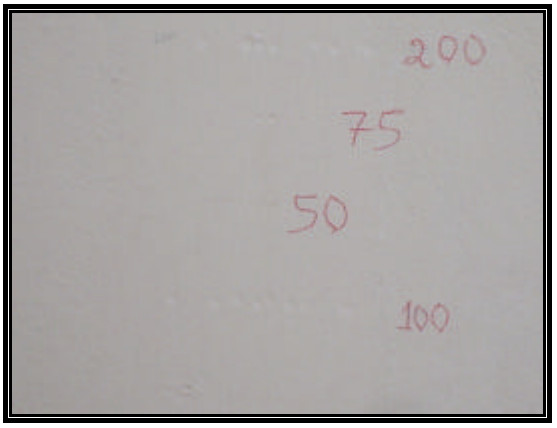

Figura 6.12 – Detalhe da parede de concreto celular armada após o ensaio de corpo duro.

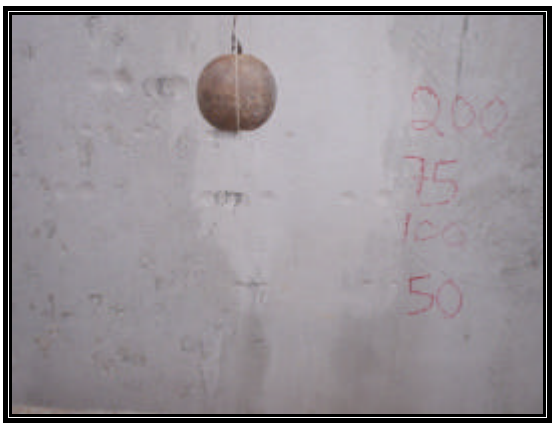

Figura 6.13 – Detalhe da parede de concreto celular parcialmente armada após o ensaio de corpo duro.

6.4 ENSAIO DE CAPACIDADE DE SUPORTE DE PEÇAS SUSPENSAS

Após a realização dos ensaios de capacidade de suporte de peças suspensas nas paredes de solo-cimento e concreto celular, tomando como referência o Projeto de Norma 02.136.01.004 da ABNT de 2004 pôde-se realizar as seguintes análises:

- Tanto a parede de solo-cimento rejuntada quanto a rebocada e a parede de concreto celular armada e parcialmente armada, atenderam aos critérios estabelecidos pelo Projeto de Norma para o ensaio de capacidade de suporte de peças suspensas, apresentando deslocamentos horizontal imediato e residual menores que os deslocamentos limites (tabelas 5.17, 5.18, 5.19, 5.20, 5.21, 5.22, 5.23, 5.24, 5.25, 5.26, 5.27 e 5.28), e nem qualquer outro tipo de falha como fissuras, destacamentos e lascamentos (figuras 6.14 e 6.15).

Figura 6.14 – Relógios comparadores colocados na parede para medir deslocamento.

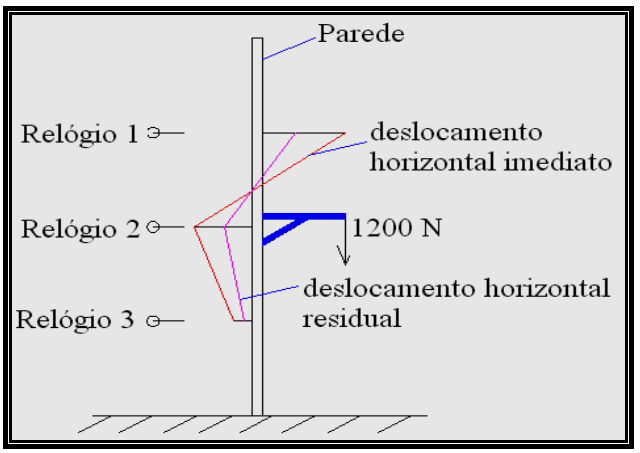

Figura 6.15 – Deslocamentos da parede após o ensaio de peças suspensas.

6.5 ENSAIO DE INTERAÇÃO ENTRE PAREDES E PORTAS

Após a realização dos ensaios de interação entre paredes e portas nas alvenarias de solo-cimento e concreto celular, tomando como referência o Projeto de Norma 02.136.01.004 da ABNT de 2004 pôde-se realizar as seguintes análises:

- A realização do ensaio de interação entre paredes e portas nas unidades habitacionais de solo-cimento rejuntado atenderam a todos os critérios estabelecidos pelo Projeto de Norma, conforme item 2.2.9 (p. 22) deste trabalho, no que se refere ao fechamento brusco de portas não apresentando falhas como rupturas, fissurações, destacamentos no encontro com o marco, cisalhamento nas regiões de solidarização do marco, destacamentos em juntas entre componentes das paredes, etc. Para o ensaio de corpo mole em portas, com energia de impacto de 240 J, as paredes também atenderam aos critérios exigidos pelo Projeto de Norma apesar de terem apresentados falhas como fissuras nos tijolos (figura 6.16).

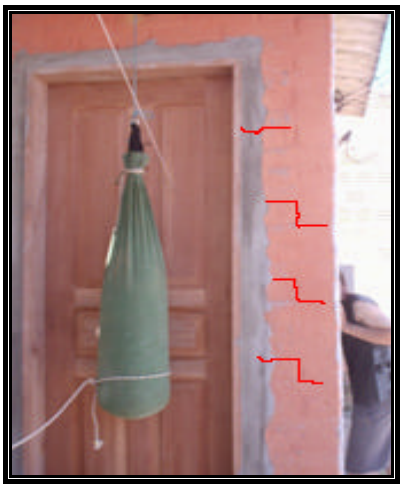

Figura 6.16 – Fissuras na parede de solo-cimento após o ensaio de corpo mole na interação entre paredes e portas.

- Tanto as paredes de solo-cimento rebocada quanto às paredes de concreto celular armada e parcialmente armada, após a realização do ensaio de interação entre paredes e portas submetidas a dez operações de fechamento brusco e o ensaio de impacto de corpo mole, atenderam a todos os critérios estabelecidos pelo Projeto de Norma e não apresentando falhas (figura 6.17).

Figura 6.17 – Detalhe da alvenaria de solo-cimento rebocada após o ensaio de interação entre paredes e portas.

6.6 SUSTENTAÇÃO DE REDE DE DORMIR

Após a realização dos ensaios de sustentação de rede nas paredes de solo-cimento e concreto celular, tomando como referência o Projeto de Norma 02.136.01.004 da ABNT de 2004 e Manual do IPT (1998), pôde-se realizar as seguintes análises:

- Tanto as paredes de solo-cimento rejuntadas quanto as rebocadas e as paredes de concreto celular armada e parcialmente armada, atenderam aos critérios estabelecidos pelo Projeto de Norma e pelo Manual do IPT para o ensaio de sustentação de rede de dormir, apresentando deslocamentos horizontal imediato e residual menores que os deslocamentos limites (tabelas 5.33, 5.34, 5.35, 5.36, 5.37, 5.38, 5.39, 5.40, 5.41, 5.42, 5.43 e 5.44), e nem qualquer outro tipo de falha como fissuras, destacamentos, lascamentos, etc (figuras 6.18).

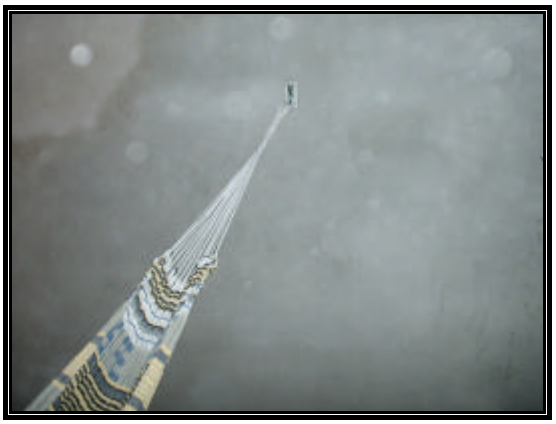

Figura 6.18 – Detalhe da parede após o ensaio de sustentação de rede de dormir.

CAPÍTULO 7

CONCLUSÕES

7.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS

Após as análises dos resultados, obtidos a partir dos procedimentos gerais descritos e adotados para efeitos de avaliação, pode-se ponderar em relação a alguns pontos importantes da avaliação de desempenho estrutural dos sistemas construtivos de solo-cimento e concreto celular obtidos neste trabalho.

Conforme exposição inicial, as avaliações de desempenho estrutural dos sistemas construtivos de solo-cimento e concreto celular, foram obtidas por meio de uma metodologia baseada em procedimentos de ensaio de campo, fundamentados em normas técnicas para o desenvolvimento das análises.

Deve-se fazer três observações de grande importância com relação a forma de execução da construção das unidades habitacionais em estudo. A primeira refere-se à função da armadura nas paredes, a segundo refere-se aos tipos de apoios e reações e a terceira refere-se à função do reboco nas alvenarias em estudo.

Ao se colocar armadura nas paredes, é possível garanti-las com uma capacidade significativa de resistência a tração frente aos impactos horizontais, além de no caso da parede de concreto celular armada, evitar o aparecimento de fissuras geradas, devido às variações de temperatura e retração por perda de água nas primeiras idades do concreto.

A figura 7.1 ilustra a deformação ocorrida numa parede ao se aplicar uma força horizontal em uma das faces.

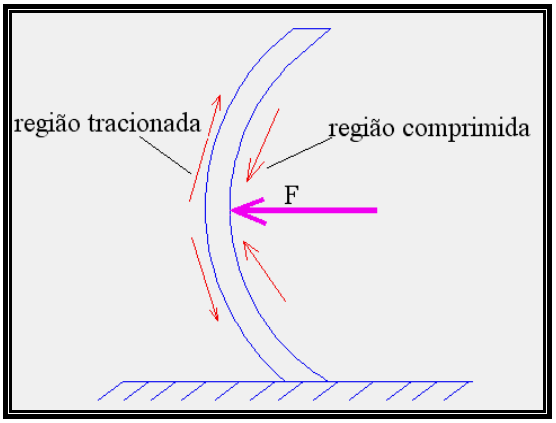

Figura 7.1 – Deformação da parede frente aos impactos horizontais.

Devem-se destacar as considerações de regime elástico e regime plástico, onde a primeira descreve o comportamento de materiais que retomam sua forma original após a aplicação dos esforços mecânicos, enquanto que a segunda definição descreve o comportamento dos materiais que têm sua forma original modificada após a aplicação dos mesmos esforços .

Os tipos de apoios e reações (figura 7.2) existentes nas unidades habitacionais de solo-cimento e concreto celular são respectivamente, engaste e apoio elástico. O engaste apresenta três reações de apoio que são as reações vertical, horizontal e o momento, enquanto que o apoio elástico apresenta a reação vertical e uma pequena reação horizontal (figura 7.2). O que garante o tipo de apoio engastado para a parede de solo-cimento é que em sua execução, a armadura vertical colocada nos furos dos tijolos tem sua origem na fundação baldrame (figuras 4.4 e 4.6), enquanto que na parede de concreto celular, o peso próprio e o contato da mesma (parede) com a fundação, produzem atrito, tendendo a gerar uma pequena reação horizontal frente às forças horizontais (impactos, ventos, etc) atuantes na edificação durante sua vida útil.

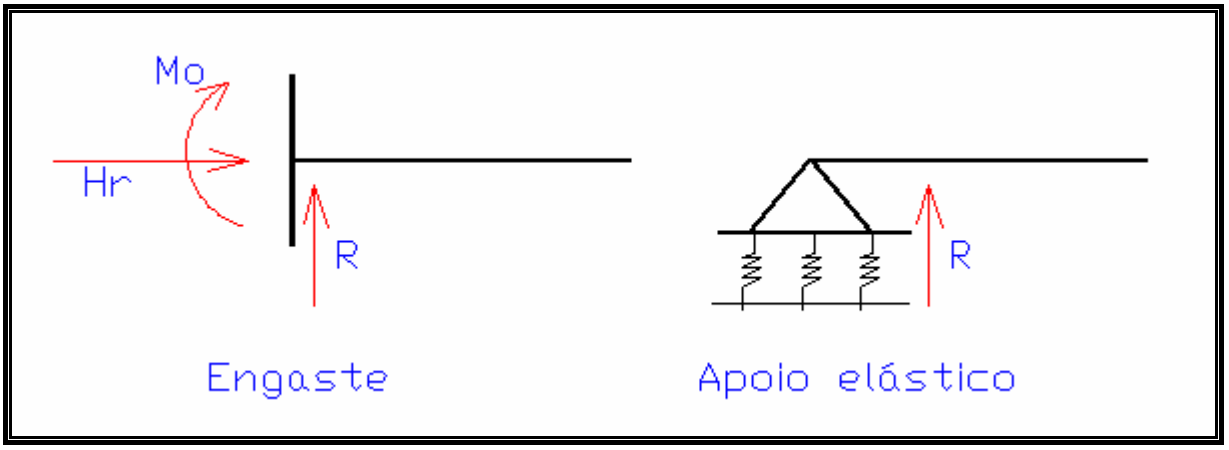

Figura 7.2 – Tipos de apoio e reação.

O revestimento das paredes, no caso específico o reboco, de modo geral, aumenta a sua capacidade resistente e a sua rigidez, podendo, em determinadas condições, melhorar a sua ductilidade. Dos quatro tipos de paredes estudadas nesta pesquisa, somente a parede de solo-cimento foi rebocada.

Tais observações foram realizadas antes de se começar a descrever as conclusões com o objetivo de se entender melhor o comportamento das unidades habitacionais avaliadas, frente aos ensaios de avaliação de desempenho estrutural.

7.2 CONCLUSÕES

- As unidades habitacionais com paredes de solo-cimento rejuntadas avaliadas pelo critério de estado limite de utilização não atenderam aos critérios de desempenho estabelecidos pelo Projeto de Norma, devido ao fato das paredes apresentarem falhas como destacamento dos tijolos e fissuras nas juntas de assentamento, que provavelmente devem ter ocorrido pelo fato de os tijolos e as juntas apresentarem coeficientes de dilatação térmicas diferentes. Observa-se ainda, o comportamento das paredes de solo-cimento rebocadas, onde o reboco, além de aumentar a resistência da mesma, serve de uma capa protetora para os tijolos, fazendo com que os mesmos estejam livres das ações das intempéries, não apresentando nenhum tipo de patologia que interfira no desempenho do produto (tabela 5.4, p.56);

- As unidades habitacionais com paredes de concreto celular parcialmente armada avaliadas pelo critério do estado limite de utilização não atenderam aos critérios de desempenho estabelecidos pelo Projeto de Norma (tabela 5.6, p.57), pelo fato das paredes apresentarem aberturas maiores que as indicadas no item 2.2.2 (p.17) desta pesquisa, gerado provavelmente pela retração do concreto celular devido a ausência de armadura em toda parede. Observando as paredes de concreto celular armada, não foi encontrada fissura perceptível a olho nu por um observador situado a 1 m da parede, num cone visual igual ou inferior a 60°, atendendo aos critérios de desempenho estabelecidos pelo Projeto de Norma.

- Da mesma forma, observa-se que as unidades habitacionais construídas em paredes de concreto celular parcialmente armada não atenderam aos critérios estabelecidos pelo Projeto de Norma, devido a ausência de armadura em toda a parede, fazendo com que

a mesma apresentasse baixa flexibilidade frente aos impactos de corpo mole, fato comprovado ao se observar a Tabela 5.11 (p.67), onde observa-se os valores de deslocamentos horizontais residuais e imediatos aproximados. Pode-se observar de forma mais clara ao se verificar o comportamento da parede de concreto de celular armada, que atendeu aos critérios do Projeto de Norma, apresentando valores de deslocamentos imediato e residual bem distantes (tabela 5.10, p.65) e bem menores que os apresentados pela parede de concreto celular parcialmente armada;

- Observando as Tabelas 5.8, 5.9 e 5.10, verificam-se que as paredes de solo-cimento rejuntada e rebocada e a parede de concreto celular armada, apresentam deformações horizontais residuais bem menores que os das deformações horizontais imediatas, ou seja, observa-se que tais paredes apresentaram um comportamento mais adequado ao regime elástico. Conforme Tabela 5.11, as paredes em concreto celular parcialmente armada, apresentaram valores das deformações horizontais residuais bem mais próximos dos valores das deformações horizontais imediatas, ou seja, observa-se que tais paredes apresentaram um comportamento mais adequado ao regime plástico;

- As análises dos resultados dos ensaios de impacto de corpo duro de grande dimensão nas unidades habitacionais em estudo mostram que as paredes de solo-cimento rejuntadas não atenderam aos critérios estabelecidos pelo Projeto de Norma. O motivo de não se atender tal critério está diretamente ligado à forma de execução do sistema, pois conforme mostra as Figuras 4.14 e 4.15 (p.40), somente os furos dos tijolos com aço CA-50 bitola de 6,3 mm são preenchidos com concreto, ficando os demais vazios, sendo justamente nesta região da parede, onde se encontra os tijolos não preenchidos, que a esfera causou os maiores danos gerados pelo impacto (traspassamento). O reboco na casa de solo-cimento mostrou-se bastante eficiente frente aos impactos de corpo duro de grande dimensão, pois conforme observado na Tabela 5.14 (p.72), todos os critérios foram atendidos.

- As paredes das unidades habitacionais construídas em solo-cimento rejuntadas e rebocadas e concreto celular armada e parcialmente armada tiveram todos os critérios atendidos pelo Projeto de Norma e Manual do IPT (1998), em relação aos ensaios capacidade suporte de peças suspensas e sustentação de rede de dormir. Portanto, com relação ao ensaio de capacidade de suporte de peças suspensas, observando os resultados (tabelas 5.17, 5.18, 5.19, 5.20, 5.21, 5.22, 5.23, 5.24, 5.25, 5.26, 5.27 e

5.28), pode-se concluir que as unidades habitacionais em solo-cimento, apresentaram deslocamentos menores na região mais próxima à base da parede, conforme indica a leitura do relógio comparador 3; isto mostra que o tipo de vínculo de apoio entre a parede e a fundação, engaste, fez com que as paredes destas unidades habitacionais próximas à fundação, apresentassem menor deslocamento que os da parede de concreto celular.

- As análises dos resultados dos ensaios de interação entre paredes e portas nas unidades habitacionais construídas com solo-cimento e concreto celular, mostraram que todos os critérios de desempenho estabelecidos pelo Projeto de Norma foram atendidos, conforme item 2.2.9 (p.22) desta pesquisa, apesar de na parede de solo-cimento rejuntada ter ocorrido fissuras na parede devido ao ensaio de corpo mole (tabela 5.29).

De forma geral, as unidades habitacionais que atenderam a todos os critérios estabelecidos pelo Projeto de Norma, apresentando o melhor desempenho estrutural durante os ensaios de campo foram os sistemas construtivos de solo-cimento rebocado e concreto celular armado. Portanto, o sistema construtivo de solo-cimento rebocado teve o melhor desempenho estrutural, apresentando deslocamentos horizontais imediatos e residuais menores que o do concreto celular armado frente aos ensaios de impacto de corpo mole, não apresentando nenhum tipo de falha (item 5.3.3.2 e tabela 5.9, p.63).

Por último, destaca-se que o desempenho estrutural das paredes de concreto celular parcialmente armada e de solo-cimento rejuntada, de acordo com os procedimentos construtivos e materiais mostrados neste trabalho, não atenderam a alguns critérios estabelecidos pelo Projeto de Norma, sendo, portanto recomendado a não utilização destas duas técnicas para construção de casas populares.

Deve-se enfatizar, no entanto, a importância da colocação das telas de aço eletrosoldadas em todas as paredes de concreto celular e o reboco na parede de solo-cimento, pois estes dois fatores influenciaram positivamente no sistema construtivo de concreto celular e solo-cimento respectivamente, fazendo com que os mesmos atendessem a todos os critérios da avaliação de desempenho estrutural estabelecidos pelo Projeto de Norma da ABNT de 2004 e Manual do IPT (1998).

7.3 SUGESTÕES A TRABALHOS FUTUROS

Sem dúvida a avaliação de desempenho estrutural é fundamental para se determinar se um sistema construtivo é seguro, indicando ou não sua construção, ou que procedimentos adotar para tornar viável sua aplicação. Portanto, a avaliação de desempenho dos sistemas construtivos é um tema que merece ser explorado e que permite diversas abordagens interessantes, como as sugeridas a seguir:

- Avaliar os sistemas construtivos para demais níveis de desempenho sugeridos pelos Projetos de Normas 02.136.01.001 (ABNT, 2004): segurança contra incêndio, estanqueidade, desempenho térmico, desempenho acústico, durabilidade e manutenibilidade e adequação ambiental;

- Avaliar o desempenho estrutural quanto ao critério do estado limite último, realizando o ensaio de compressão em paredes até sua ruptura;

- Construir unidades habitacionais utilizando tijolos de solo-cimento de diferentes resistências, verificando o comportamento das mesmas frente aos ensaios de impactos de corpo duro;

- Adotar outros tipos de vínculos de apoios entre as paredes e as fundações, analisando o comportamento das unidades habitacionais, frente aos ensaios de avaliação desempenho estrutural;

- Estudar outras formas de disposição de armaduras tanto na construção das casas de solo-cimento quanto nas de concreto celular armada.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSAYAG, M. **Desperdício na Construção Civil em Manaus: Estudo de Habitação Popular com Paredes de Concreto Celular**. Dissertação (Mestrado). 144 f. Faculdade de Tecnologia. Universidade Federal do Amazonas. Manaus, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Manual Técnico para Implementação – Habitação 1.0 Bairro Saudável. População Saudável**. Publicações ABCP. São Paulo. 2002.

ALMEIDA, R. **A Importância da Avaliação de Desempenho e o Controle da Qualidade.** Construção São Paulo, Suplemento PINI, Sistemas Construtivos. p. 6-7. São Paulo, 1984.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO. **Avaliação Pós Ocupação:** Métodos e Técnicas Aplicados à Habitação Social. Porto Alegre: ANTAC, 2003 (COLEÇÃO HABITARE).

BARROS, M. M. S. B. **Desenvolvimento de um método construtivo para produção de vedações verticais de concreto celular.** São Paulo, EPPUSP-PCC. (Relatório CPqDCC n. 20095 – EP-GETHAL-01). 1998.

BENTUR, A.; MINDESS, S**. Fiber reinforced cementius composites**. Editora Elsevier. London. 1990.

ENTEICHE, A. A. **Suelo-cemente, su aplicacion en la edificacion.** Bogotá. CINVA. (1990).

FARIA, J. R. G. **Unidade de produção de tijolos de solo estabilizado**. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo. 1990.

FERREIRA, O. A. R. **Concretos Leves: o concreto celular espumoso**. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo. 1986.

GARCIA, P. D. **Contribuições ao estudo da resistência à compressão de paredes de alvenaria de blocos cerâmicos estruturais.** Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo. 2000.

GRANDE, F. M. **Fabricação de tijolos modulares de solo-cimento por prensagem manual com e sem adição de sílica ativa.** Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo. 2003.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICA DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Critérios Mínimos de Desempenho para Habitações Térreas de Interesse Social**. Texto para Discussão. São Paulo, 1998.

_____. **Avaliação de Desempenho de Habitações Térreas Unifamiliares**: Segurança Estrutural. Documento Preliminar, anexo do relatório 16277. 107p. São Paulo, 1981.

JUNQUEIRA, T. M. C.; GEYER, A. B. Avaliação de Desempenho das Edificações – Levantamento e Análises dos Critérios Mínimos Existentes. In: CONGRESSO DE PESQUISA, ENSINO E EXTENSÃO DA UFG – CONPEEX, 2., 2005, Goiânia. **Anais Eletrônicos do XIII Seminário de Iniciação Científica [CD-ROM], Goiânia: UFG, 2005.**

KLEIN, D. L.; KLEIN, G. M. B.; LIMA, R. C. A. Sistemas Construtivos Inovadores: Procedimentos de Avaliação. In: II SEMINÁRIO DE PATOLOGIA DAS EDIFICAÇÕES "NOVOS MATERIAIS E TECNOLOGIAS EMERGENTES" DA UFRGS – LEME/UFRG, 2004, Rio Grande do Sul. **Anais Eletrônicos do II Seminário de Iniciação Científica [CD-ROM], Rio Grande do Sul: UFRGS, 2004. n.p.**

KLEIN, D. L.; SILVA FILHO, L. C. P.; CAMPAGNOLO, J. L; GASTAL, F. P. S. L. Relatório de Ensaios de Desempenho de Protótipo do Sistema CASAFORTE MEDABIL com

Painéis DIGIGRAPH. **Relatório Técnico RT LEME/UFRGS nº 10/2002, 49 páginas, PPGEC, UFRGS (2002).**

LAWRENCE, K; LORDELEEM JÚNIOR, A. C.; BARROS, M. M. B. **A Influência do Teor de Fibras e de Cimento nas Características do Concreto Celular**. In: CONGRESSO LATINO AMERICANO – TECNOLOGIA E GESTÃO NA PRODUÇÃO DE EDIFÍCIOS, PCC-USP**,** São Paulo, 1998.

MERCADO, M. C. **Solo-cimento: Alguns Aspectos Referentes à sua Produção e Utilização em Estudo de Caso.** Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 1990.

MITIDIERI, C. V. **Avaliação de Desempenho dos Componentes e Elementos Construtivos Inovadores Destinados a Habitações: Proposições Específicas à Avaliação do Desempenho Estrutural**. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 1998.

MITIDIERI, C. V.; SOUZA, R. **Avaliação de Desempenho de Sistemas Construtivos Destinados à Habitação Popular:** Conceituação e Metodologia. São Paulo. IPT. 1994.

OLIVEIRA, F.L. **Avaliação do Desempenho Estrutural de Sistemas Construtivos Inovadores: Estudo de eCaso.** Dissertação de Mestrado – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 1996.

PADRON, I.; ZOLLO, R. F. **Effect of synthetic fibers on volume stability on cracking of Portland cement concrete and mortar**. ACI Materials Journal, v. 87, n. 4, p. 327-32, Jul./Aug. 1990.

REIS, P. F.; BASTOS, P.K.X. Construções Habitacionais em Juiz de Fora: Diagnóstico Técnico. In: CONGRESSO DE ENGENHARIA CIVIL DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA. **V.2, p. 136-147. Juiz de Fora, 1994.**

RIPPER, E. **Manual prático de materiais de construção**. São Paulo, Editora Pini, 2001.

SILVA FILHO, L. C. P.; GRAEFF, A.; KLEIN, D. L; CAMPAGNOLO, J. L. Análise de um Sistema Construtivo Inovador Formado por Paredes de PVC com Concreto Leve. CBCIMAT 2002, Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciências dos Materiais. **Anais em CD-ROM, Natal, Brasil, 2002.**

SOUZA, V. C. M. DE; RIPPER, T. **Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto**. São Paulo, Editora Pini. 1998.

SOUZA, R. **Avaliação de Desempenho Aplicada a Novos Componentes e Sistemas Construtivos para Habitação**. IPT. São Paulo, 1984.

SOUZA, R. **A contribuição do conceito de desempenho para a avaliação do edifício e suas partes: Aplicação às janelas de uso habitacional.** Dissertação (Mestrado). Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 1983.

TEIXEIRA FILHO, F. J. **Considerações sobre algumas propriedades dos concretos celulares esponjosos.** Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. 1992.

THOMAZ, E. **Sistemas Construtivos para Habitações de Interesse Social: Proposta de Avaliação e Classificação pela Relação Custo/benefício**. In: SIMPÓSIO IBERO-AMERICANO SOBRE TÉCNICAS CONSTRUTIVAS INDUSTRIALIZADAS PARA HABITAÇÃO DE INTERESSE SOCIAL, 3. v.3, p 591-598. São Paulo, 1993.

NORMAS TÉCNICAS (em ordem numérica)

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS**. MB 3256.** Divisórias leves internas moduladas – Verificação da resistência a impactos. Rio de Janeiro, 1990.

_____. **MB 3259**. Divisórias leves internas moduladas – Verificação do comportamento sob ação de cargas provenientes de pecas suspensas. Rio de Janeiro, 1990.

_____. **NBR 6118**. Projeto de Estruturas de Concreto – Procedimento. Rio de Janeiro, 2003.

_____. **NBR 8054**. Porta de Madeira de Edificação. Verificação do Comportamento da Folha Submetida a Manobras Anormais. Rio de Janeiro, 1983.

_____. **NBR 8492**. Tijolos Maciços de Solo-cimento: Determinação da Resistência à Compressão e da Absorção de Água. Método de Ensaio. Rio de Janeiro. 1982.

_____. **NBR 9062**. Projeto e Execução de Estruturas de Concreto Pré-moldado. Rio de Janeiro, 2001.

_____. **NBR 10832** – Solo-cimento: Fabricação de tijolo maciço de solo-cimento com a utilização de prensa manual. Procedimento. Rio de Janeiro. 1989.

_____**. NBR 10833** – Solo-cimento: Fabricação de tijolo maciço de solo-cimento com a utilização de prensa hidráulica. Procedimento. Rio de Janeiro. 1989.

_____. **NBR 12646** – Paredes de concreto celular espumoso moldadas no local. Especificação. Rio de Janeiro, 1990.

_____. **Projeto 02.136.01.001**. Desempenho de edifícios habitacionais de até cinco pavimentos – Parte 1: Requisitos Gerais. Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Projeto 02.136.01.002**. Desempenho de edifícios habitacionais de até cinco pavimentos – Parte 2: Estruturas. Rio de Janeiro, 2004.

_____. **Projeto 02.136.01.004**. Desempenho de edifícios habitacionais de até cinco pavimentos – Parte 4: Fachadas e paredes internas. Rio de Janeiro, 2004.

ANEXO A

Planta da Edificação

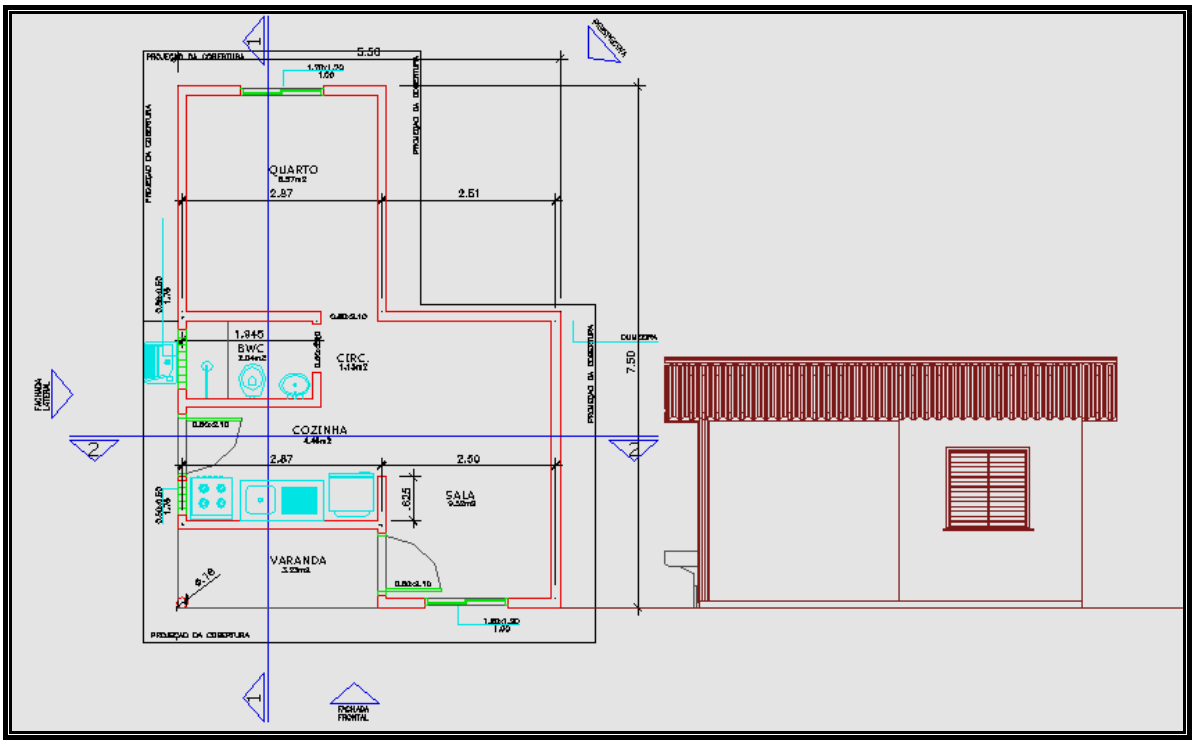

Figura A.1 - Planta baixa e Fachada Principal

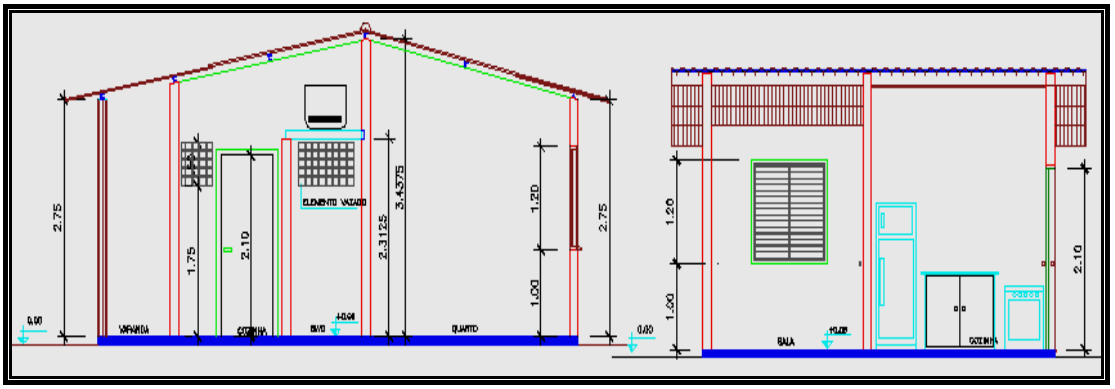

Figura A.2 - Cortes

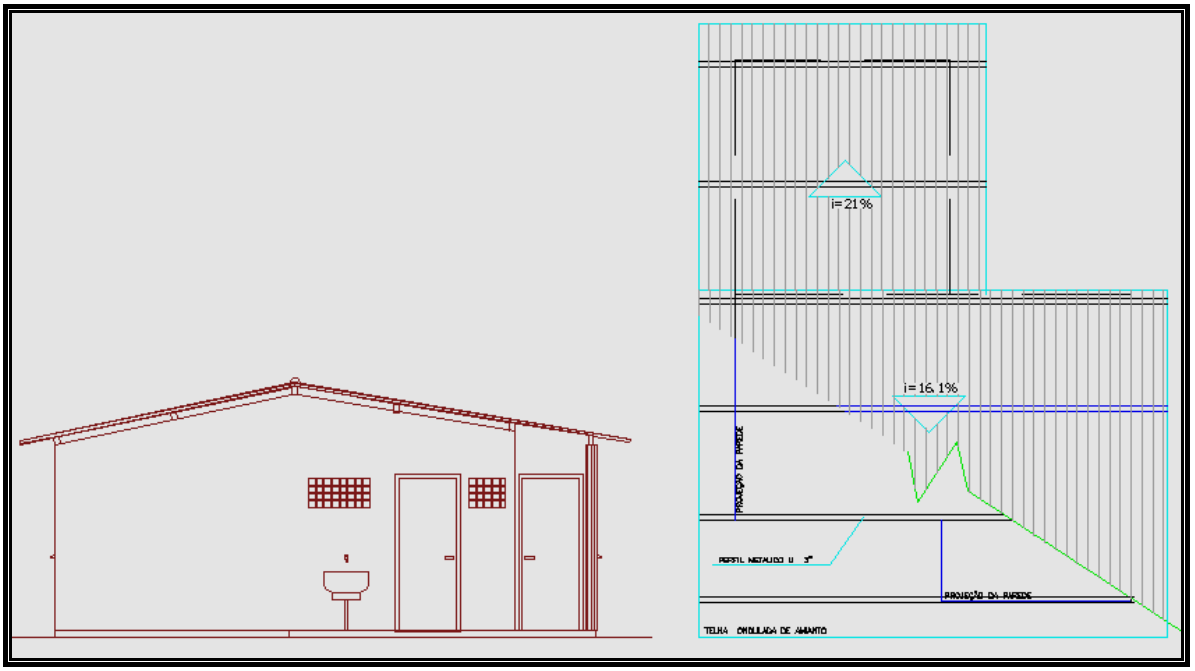

Figura A.3 - Fachada Lateral e Cobertura

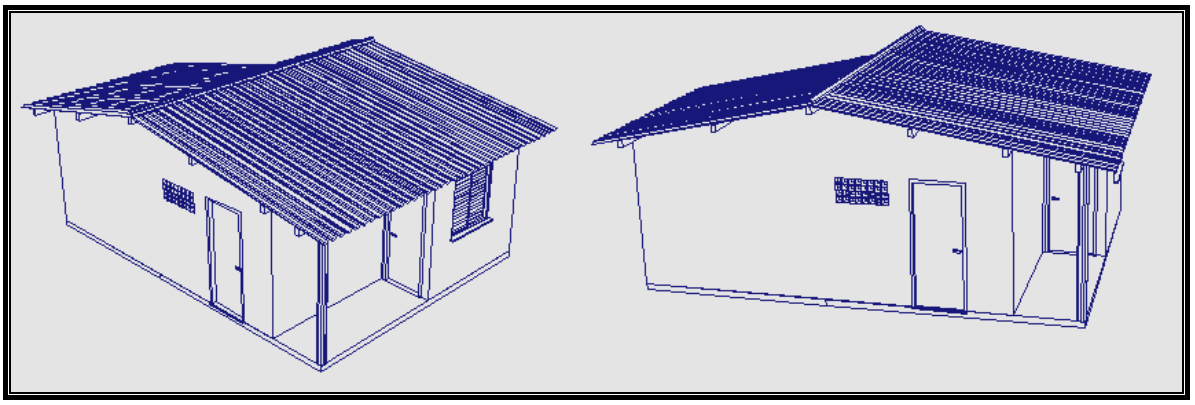

Figura A.4 - Perspectivas

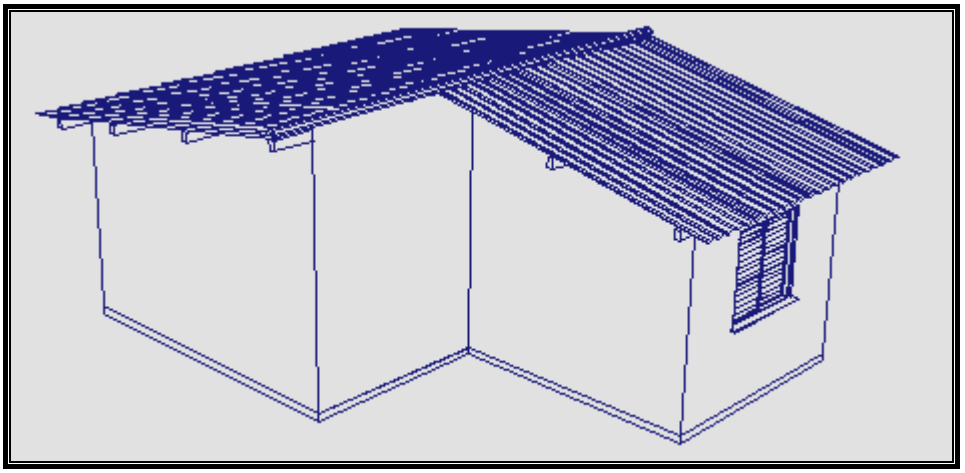

Figura A.5 – Perspectiva – vista de outro ângulo