



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL,
ARQUITETURA E URBANISMO

**O desempenho quanto à durabilidade de alvenarias de blocos
cerâmicos de vedação com função auto-portante:
o caso da Habitação de Interesse Social**

James Antonio Roque

Campinas
2009

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL, ARQUITETURA E URBANISMO**

James Antonio Roque

**O desempenho quanto à durabilidade de alvenarias de blocos
cerâmicos de vedação com função auto-portante:
o caso da Habitação de Interesse Social**

Tese apresentada à Comissão de Pós-Graduação da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Universidade Estadual de Campinas, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Engenharia Civil, na área de concentração de Edificações.

Orientador: Prof. Dr. Armando Lopes Moreno Junior

**Campinas
2009**

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA E ARQUITETURA - BAE - UNICAMP

R685d Roque, James Antonio
O desempenho quanto à durabilidade de alvenarias de blocos cerâmicos de vedação com função auto-portante: o caso da habitação de interesse social / James Antonio Roque. --Campinas, SP: [s.n.], 2009.

Orientador: Armando Lopes Moreno Junior.
Tese de Doutorado - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo.

1. Alvenaria. 2. Habitação popular. 3. Durabilidade (Engenharia). 4. Desempenho. 5. Normalização. I. Moreno Junior, Armando Lopes. II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo. III. Título.

Título em Inglês: Durability performance of seal ceramic blocks masonry with self-supporting functions: Low-cost housing case study

Palavras-chave em Inglês: Masonry, Public housing, Durability (Engineering), Performance, Standardization

Área de concentração: Edificações

Titulação: Doutor em Engenharia Civil

Banca examinadora: Ariovaldo Denis Granja, Ércio Thomaz, Glacir Terezinha Fricke, Rosana Soares Bertocco Parisi, Silvia Aparecida Mikami Gonçalves Pina

Data da defesa: 19/02/2009

Programa de Pós Graduação: Engenharia Civil

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL, ARQUITETURA E URBANISMO**

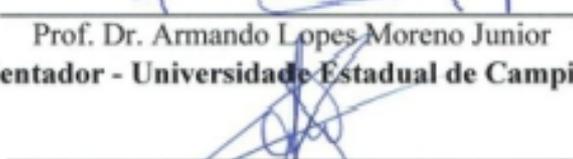
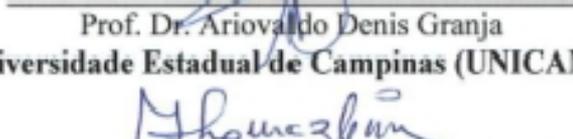
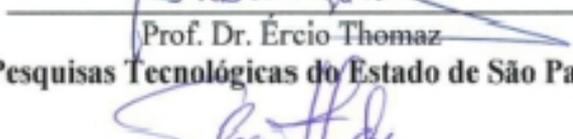
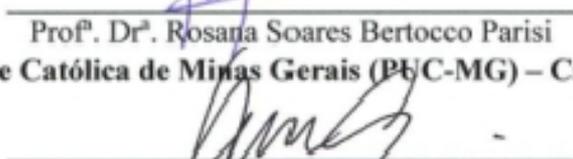
James Antonio Roque

**O desempenho quanto à durabilidade de alvenarias de blocos
cerâmicos de vedação com função auto-portante:
o caso da Habitação de Interesse Social**

Tese de Doutorado aprovada pela Banca Examinadora, constituída por:



Prof. Dr. Armando Lopes Moreno Junior
Presidente e Orientador - Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP)


Prof. Dr. Ariovaldo Denis Granja
Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP)
Prof. Dr. Ércio Thomaz
Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S/A (IPT)
Profª Drª Glacir Terezinha Fricke
Universidade São Francisco (USF) – Campus Itatiba
Profª. Drª. Rosana Soares Bertocco Parisi
Pontificia Universidade Católica de Minas Gerais (PUC-MG) – Campus Poços de Caldas
Profª Drª Sílvia Aparecida Mikami Gonçalves Pina
Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP)

Campinas, 19 de fevereiro de 2.009

Dedicatória

À
Bem-Aventurada Virgem Maria,
Nova Eva da Criação,
modelo de simplicidade e humildade.

Agradecimentos

Ao Deus Triúno: +Pai, +Filho e Espírito + Santo, pelo dom da Ciência (1Cor 12,8b);

Aos diletos familiares Inez Angélica Fedel (minha mãe), Maria de Lourdes Roque (minha irmã), e †Milton Cesar Roque (*in memoriam* - meu irmão, falecido tão jovem em 2006...), pelo apoio incondicional;

À Rafaela Freitas Roque, minha filha, tesouro enviado por Deus, pela felicidade que me proporciona;

Ao Sr. Jorge Luiz de Souza Arraes, então Diretor de Parcerias e Apoio ao Desenvolvimento Urbano da Caixa Econômica Federal (CAIXA), pela autorização concedida para realizar o doutorado na Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP);

Ao Prof. Dr. Armando Lopes Moreno Junior, co-orientador no Mestrado e orientador no Doutorado, pelo convite e pelo incentivo na continuação dos estudos no grau de doutoramento na UNICAMP e pela paciência e apoio durante a realização deste;

À Profª Drª Mirian de Lourdes Noronha Motta Melo, orientadora no Mestrado em Engenharia e Ciência dos Materiais, pelo exemplo de perseverança no campo da pesquisa acadêmica;

Aos professores das disciplinas cursadas no Doutorado: Drª Gládis Camarini, Drª Lucila Labaki, Dr. Mauro Demarzo, Drª Regina Ruschel, Drª Silvia Mikami, Drª Stelamaris Bertoli e

Dr. Vitor Ducatti, pelo ‘sacerdício acadêmico’ de cada um em transmitir conhecimentos e experiências;

Aos técnicos dos laboratórios da FEC/UNICAMP e da Holcim Brasil que auxiliaram na execução dos ensaios solicitados durante a realização das disciplinas do Curso;

Às professoras Dr^a Glacir Fricke e Dr^a Silvia Mikami, da Banca de Qualificação do Doutorado, pelas recomendações importantes relativas ao texto e à estruturação da Tese;

Aos professores que integraram a Banca de Defesa do Doutorado, Dr. Armando Lopes Moreno Junior, Dr. Ariovaldo Denis Granja, Dr. Ércio Thomaz, Dr^a Glacir Terezinha Fricke, Dr^a. Rosana Soares Bertocco Parisi e Dr^a Sílvia Aparecida Mikami Gonçalves Pina, pela apreciação da Tese e pela exposição de seus pontos de vista, gabaritados;

À Marlise Kieling, do Estúdio Preto&Branco, São Paulo, pela filmagem e edição do ato acadêmico da Defesa da Tese;

À assistente social Clayde, da Fundação Municipal de Ação Social de Jundiaí (FUMAS), pela disponibilização de informações relevantes utilizadas na Tese;

Ao Eng. Luiz Zigmantas (CAIXA), ao Arq. Júlio Magalhães (CAIXA), ao Eng. Alex (Construtora AJ), ao Ângelo e ao Eng. Alexandre (Construtora Cataguá), ao Eng. Marcos (Construtora Fênix) e ao Eng. Cícero (Construtora Menin), dentre tantos outros não mencionados por esquecimento meu, pelas informações relevantes quanto ao tema tratado nesta Tese;

Aos amigos e colegas pelo apoio.

Resumo

ROQUE, James Antonio. O desempenho quanto à durabilidade de alvenarias de blocos cerâmicos de vedação com função auto-portante: o caso da Habitação de Interesse Social. 2009, 223p. Tese (Doutorado) – Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2009.

O déficit habitacional é um dos maiores problemas sociais não resolvidos no Brasil, estimado em aproximadamente 8 (oito) milhões de moradias. Ao segmento da construção civil compete desenvolver e disseminar sistemas construtivos para o atendimento da demanda por habitações para a população alvo, mais carente de recursos. Contudo, para executar um empreendimento que atenda às expectativas dos usuários, o sistema construtivo deve ser verificado quanto ao desempenho frente ao que indica a NBR 15.575:2008 (Edifícios Habitacionais de até cinco pavimentos – Desempenho). Assim, elegeu-se um conjunto habitacional de interesse social de 2.026 moradias para estudo de caso, construído em Jundiaí, Estado de São Paulo, há 6 (seis) anos. O objetivo geral deste trabalho foi verificar o atendimento do desempenho à durabilidade das alvenarias das habitações, no sistema construtivo constituído de blocos cerâmicos de vedação com funções auto-portantes, à luz da NBR 15.575:2008. Para tanto, foram realizadas entrevistas e registro das patologias. Como resultado, são apresentadas considerações sobre o elemento alvenaria do sistema construtivo que, com o uso de blocos cerâmicos de vedação com funções auto-portantes, na condição executada, não conduz, ainda, a uma classificação como um pleno sistema convencional, quanto ao atendimento ao desempenho à durabilidade. Também são propostas recomendações para o aprimoramento da Norma de Desempenho.

Palavras Chave: 1. Alvenaria. 2. Habitação popular. 3. Durabilidade (Engenharia). 4. Desempenho. 5. Normalização.

Abstract

ROQUE, James Antonio. **Durability Performance of seal ceramic blocks masonry with self-supporting functions:** Low-cost Housing case study. 2009, 223pp. Thesis (for Doctorate) - Faculty of Civil Engineering, Architecture and Urban Design, State University of Campinas, Campinas, 2009.

Shortage of housing is one of the biggest unresolved social problems in Brazil, estimated at approximately 8 (eight) million homes. It is the responsibility of the civil construction sector to develop and propagate construction systems to meet the demand for houses in the target population which has least access to resources. As well as constructing a building which meets users' expectations, however, the construction system must be checked for compliance with the standards laid down in NBR 15,575:2008 (Residential buildings up to five storied - Performance). With this in view, a Low-cost Housing project consisting of 2,026 homes built 6 (six) years ago in Jundiaí City, State of São Paulo, was chosen for this case study. The general objective of this study was to ascertain compliance, in terms of the houses' masonry durability, with the self-supporting ceramic block construction system, in accordance with NBR 15,575:2008. Thus interviews were carried out and records of the pathologies were made. Presented here are the resulting considerations on the element masonry in the construction system, which, using self-supporting seal ceramic blocks, does not yet merit classification at the same level as a full conventional system in terms of durability performance. Also here are presented recommendations for improving Performance Standards.

Keywords: 1. Masonry. 2. Public housing. 3. Durability (Engineering). 4. Performance. 5. Standardization.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

		Página
FIGURA 2.1	Desempenho à durabilidade ao longo do tempo	51
FIGURA 2.2	Bloco cerâmico de vedação com furos na horizontal	55
FIGURA 2.3	Bloco cerâmico estrutural com furos na vertical	55
FIGURA 2.4	Radiação solar incidente sobre a atmosfera terrestre	64
FIGURA 2.5	Fases de interação da água nas alvenarias das fachadas	71
FIGURA 2.6	Lavagem diferencial: (A) transporte de partículas nos planos das fachadas; (B) depósito de partículas onde o fluxo de água é mais lento; (C) surgimento de áreas lavadas e outras com acúmulo de partículas	72
FIGURA 2.7	Lavagem diferenciada em fachadas – (A) aspecto das manchas entre as placas e (B) vista superior – nas reentrâncias o escoamento das gotas de água é mais lento do que nas extremidades	72
FIGURA 2.8	Tipos de infiltrações em paredes – (A) infiltração de água por gravidade associadas à capilaridade e à pressão do vento; (B) infiltração de água através de meio poroso associada à capilaridade e à ação da pressão do vento; (C) água da chuva sob ação do vento em junta defeituosa	73
FIGURA 2.9	Incidência da chuva nas alvenarias de fachada de uma edificação	74
FIGURA 2.10	Micrografia de amostra de clínquer, resfriada com velocidade de 6°C/minuto, mostrando os cristais azulados de <i>alita</i> (3CaO.SiO ₂), com núcleos de <i>belita</i> (2CaO.SiO ₂), na cor marrom, 600X	78
FIGURA 2.11	Movimentação da alvenaria decorrente da retração da laje de concreto ...	79
FIGURA 2.12	Fissuras em alvenaria externa, causadas pela retração de lajes de concreto	80
FIGURA 2.13	Fissuração vertical da alvenaria no canto do edifício provocada por movimentações higroscópicas	81
FIGURA 2.14	Fissuração horizontal na base da alvenaria por movimentações higroscópicas diferenciadas	82
FIGURA 2.15	Desenvolvimento das tensões numa laje de cobertura com bordos vinculados devido a efeitos térmicos	85

	Página
FIGURA 2.16	Movimentações que ocorrem numa laje de cobertura, sob ação da elevação da temperatura 85
FIGURA 2.17	Fissura típica presente no topo da parede paralela ao comprimento da laje 86
FIGURA 2.18	Fissura típica presente no topo da parede paralela à largura da laje 86
FIGURA 2.19	Fissura vertical: a resistência à tração dos componentes de alvenaria (blocos) é superior à resistência à tração da argamassa de assentamento ou à tensão de aderência argamassa/blocos 87
FIGURA 2.20	Fissura vertical: a resistência à tração dos componentes de alvenaria (blocos) é igual ou inferior à resistência à tração da argamassa de assentamento ou à tensão de aderência argamassa/blocos 87
FIGURA 2.21	Fissuração típica da alvenaria causada pela atuação excessiva de cargas . 88
FIGURA 2.22	Fissuras horizontais na alvenaria provenientes da atuação excessiva de cargas 88
FIGURA 2.23	Ruptura localizada da alvenaria sob o ponto de aplicação da carga e propagação de fissuras a partir desse ponto 89
FIGURA 2.24	Fissuração teórica no entorno de abertura, em parede solicitada por atuação excessiva de cargas 89
FIGURA 2.25	Fissuração típica nos cantos das aberturas, sob atuação excessiva de cargas 90
FIGURA 2.26	Fissurações contínuas solicitadas por carregamentos não uniformes - (a) e (b) 91
FIGURA 2.27	Assentamento diferencial, por consolidações distintas do aterro carregado 92
FIGURA 2.28	Fundações assentadas sobre secções de corte e aterro; fissuras de corte nas alvenarias 92
FIGURA 2.29	Assentamento diferencial no edifício menor pela interferência no seu bulbo de tensões, em função da construção do edifício maior 93
FIGURA 2.30	Assentamento diferencial, por falta de homogeneidade do solo 93
FIGURA 2.31	Assentamento diferencial por rebaixamento do lençol freático; cortou-se o terreno à esquerda do edifício 93
FIGURA 2.32	Fissura decorrente da retração da argamassa na alvenaria pela presença de tubulação 97
FIGURA 3.1	Acessos à Cidade de Jundiaí e ao empreendimento 100
FIGURA 3.2	Déficit habitacional absoluto – ano 2.000, Região de Jundiaí – SP 101
FIGURA 3.3	Loteamento Fazenda Grande, cidade de Jundiaí – SP 102
FIGURA 3.4	Zona bioclimática 3 105

	Página
FIGURA 3.5	Delimitação da Fase 1 do empreendimento “Fazenda Grande” 108
FIGURA 3.6	Mapa 1: unidades pesquisadas na Fase 1 do Loteamento Fazenda Grande 110
FIGURA 3.7	Mapa 2: unidades pesquisadas na Fase 1 do Loteamento Fazenda Grande 111
FIGURA 3.8	Mapa 3: unidades pesquisadas na Fase 1 do Loteamento Fazenda Grande 111
FIGURA 3.9	Componentes da alvenaria das habitações (blocos) 115
FIGURA 3.10	Tijolo cerâmico de vedação, com furos prismáticos horizontais 120
FIGURA 3.11	Vista área do empreendimento com a Fase 1 em implantação (ano de 2002) 130
FIGURA 3.12	Vista área do empreendimento com a Fase 1 implantada e a Fase 2 em execução 130
FIGURA 3.13	Vista aérea do empreendimento com as Fases 1 (parte central da foto) e 2 (parte inferior da foto) já executadas e na parte superior da foto a Fase 3, em execução (ano de 2006) 131
FIGURA 3.14	Terraplenagem prévia das quadras para implantação da patamarização dos lotes 132
FIGURA 3.15	Patamarização executada 132
FIGURA 3.16	(a) Tela soldada para o <i>radier</i> ; e (b) Barras de aço CA-60 para os pilaretes, cintas e vigas entre lotes (muros de arrimo ou de contenção) ... 133
FIGURA 3.17	Perfis metálicos para delimitação das bordas da laje do <i>radier</i> (gabaritos) 133
FIGURA 3.18	Laje da fundação (<i>radier</i>) concretada, com os gabaritos ainda posicionados 134
FIGURA 3.19	Arranques metálicos para engastamento nos pilaretes da alvenaria 134
FIGURA 3.20	Elevação das alvenarias em blocos cerâmicos de vedação 135
FIGURA 3.21	Alvenarias com o chapisco aplicado e as esquadrias metálicas externas instaladas 135
FIGURA 3.22	Detalhe da contraverga executada em bloco canaleta 136
FIGURA 3.23	Detalhe de um pilarete de canto na alvenaria com duas barras de aço e graute 136
FIGURA 3.24	Detalhe de um pilarete de junção de paredes 137
FIGURA 3.25	Detalhes da elevação da alvenaria sem execução modular conforme recomendação técnica para alvenarias estruturais 138
FIGURA 3.26	Detalhes do tipo de solidarização do pilarete de canto com as paredes, através de barra de aço inserida na argamassa de assentamento 139

	Página
FIGURA 3.27	Detalhe da argamassa de revestimento com adição de impermeabilizante aplicada na base das alvenarias 139
FIGURA 3.28	Detalhe do posicionamento das vigotas de concreto da laje de forro sobre a última fiada da alvenaria, constituída de blocos Tipo J 140
FIGURA 3.29	Detalhe superior da laje de forro da unidade habitacional 140
FIGURA 3.30	Detalhe da estrutura da cobertura sobre a alvenaria da habitação 141
FIGURA 3.31	Alvenaria na face interna da habitação, com a laje executada 141
FIGURA 3.32	Instalações hidráulicas e elétricas executadas na alvenaria 142
FIGURA 3.33	Aspecto externo das habitações depois de finalizada a execução das obras (Fase 1) 142
FIGURA 3.34	Distribuição das unidades habitacionais pesquisadas na inspeção de campo 144
FIGURA 3.35	Fissura por movimentação térmica (interface laje / parede), na face interna da habitação 145
FIGURA 3.36	Fissuras por movimentação higroscópica 146
FIGURA 3.37	Fissura por atuação excessiva de carga (1) 146
FIGURA 3.38	Fissura por atuação excessiva de carga (2) 147
FIGURA 3.39	Fissura por atuação excessiva de carga (3) 147
FIGURA 3.40	Fissura por atuação excessiva de carga e fissuras por retração da argamassa do revestimento 148
FIGURA 3.41	Fissuras generalizadas por retração da argamassa de revestimento 148
FIGURA 3.42	Degradação da argamassa de revestimento por eflorescência (1) 149
FIGURA 3.43	Degradação da argamassa de revestimento por eflorescência (2) 149
FIGURA 3.44	Umidade na face interna da alvenaria decorrente de fissuramento da face externa da alvenaria 150
FIGURA 4.1	Aspecto do bloco de vedação refugado 160
FIGURA 4.2	Manifestações patológicas na alvenaria, em porcentual 170
FIGURA B.1	Zoneamento bioclimático brasileiro 218
FIGURA B.2	Classificação climática do Estado de São Paulo 219

LISTA DE TABELAS

		Página
TABELA 2.1	Agentes atuantes na alvenaria de um edifício	44
TABELA 2.2	Classe dos Blocos cerâmicos segundo a resistência esperada – antiga NBR 7171:1993	56
TABELA 2.3	Patologias mais comuns (específicas às relacionadas às alvenarias, numa pesquisa de âmbito maior)	76
TABELA 2.4	Incidência de ocorrências patológicas nas alvenarias	76
TABELA 2.5	Composição típica de um cimento Portland	78
TABELA 3.1	Clima da cidade de Jundiaí, 2007	104
TABELA 3.2	Classificação climática das cidades circunvizinhas da cidade de Jundiaí-SP	105
TABELA 3.3	Aberturas e sombreamentos em habitações populares	106
TABELA 3.4	Tipos de vedações externas para a Zona Bioclimática 3	106
TABELA 3.5	Estratégias de condicionamento térmico passivo para a Zona Bioclimática 3	106
TABELA 3.6	Determinação da amplitude de uma amostra tirada de uma população finita com margem de erro de 10% e coeficiente de confiança de 95.5%	109
TABELA 3.7	Utilização do componente cerâmico de vedação	120
TABELA 3.8	Especificações do componente cerâmico (bloco cerâmico de vedação) .	121
TABELA 3.9	Resistência mínima à compressão dos blocos cerâmicos de vedação – NBR 15.270:2005	122
TABELA 3.10	Características das argamassas de assentamento	123
TABELA 3.11	Tipos recomendados de argamassas de revestimento	123
TABELA 3.12	Traços usuais de <i>graute</i>	124
TABELA 3.13	Vida útil de projeto –VUP	124
TABELA 3.14	Efeito das falhas no desempenho relacionado à alvenaria	125
TABELA 3.15	Custo de manutenção e reposição de componentes da alvenaria ao longo da vida útil	126

	Página
TABELA 3.16	Critérios para o estabelecimento da VUP do elemento alvenaria 126
TABELA 3.17	Categorias de VUP para edifícios habitacionais, segundo a Norma Britânica 127
TABELA 3.18	Exemplos de VUP aplicando os conceitos de durabilidade para alvenarias e seus componentes 127
TABELA 4.1	Correlação entre as aberturas dos ambientes da UH para ventilação com o mínimo admissível na NBR 15.575-4 154
TABELA 4.2	Resultados dos ensaios de compressão – blocos cerâmicos de vedação. 159
TABELA 4.3	Resultados do ensaio dimensional – Lote 1 160
TABELA 4.4	Resultados do ensaio dimensional – Lote 2 161
TABELA 4.5	Resultados do ensaio dimensional – Lote 3 161
TABELA 4.6	Resultados do ensaio dimensional – Lote 4 162
TABELA 4.7	Resultados do ensaio dimensional – Lote 5 162
TABELA 4.8	Resultados do ensaio dimensional – Lote 6 163
TABELA 4.9	Resultados Médios dos Lotes 163
TABELA 4.10	Resultados do ensaio de ruptura do CP – argamassa de assentamento .. 164
TABELA 4.11	Resultados do ensaio de ruptura do CP – <i>graute</i> 166
TABELA 4.12	Resumo das manifestações patológicas no estudo de caso 169
TABELA 4.13	Tipos de patologias registradas 170
TABELA C.1	Parâmetros da amostragem 223
TABELA C.2	Parâmetros da tolerância 223

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas.
BNH	Banco Nacional da Habitação.
CA-60	Vergalhão de aço fabricado por laminação a frio, com superfície nervurada ou lisa, segundo as especificações da NBR 7480/96.
CAIXA	Caixa Econômica Federal.
CB-2	Comitê Brasileiro (da ABNT), responsável pela elaboração das normas técnicas de componentes, elementos, produtos ou serviços, utilizados na Construção Civil.
COBRACON	Comitê Brasileiro da Construção Civil.
COHAB-SP	Cooperativa Habitacional de São Paulo.
CP I	Cimento Portland Tipo 1, comum.
CP II	Cimento Portland Tipo 2, composto (adições de escória, pozolana ou filer)
CP III	Cimento Portland Tipo 3, com escória de alto-forno.
CP IV	Cimento Portland Tipo 4, pozolânico.
CP V	Cimento Portland Tipo 5, pega rápida.
CSTC	Centre Scientifique et Technique de la Construction.
EHIS	Empreendimento habitacional de interesse social.
Fck	Resistência característica do concreto à compressão.
FGTS	Fundo de Garantia por Tempo de Serviço
FINEP	Financiadora de Estudos e Projetos.
FUMAS	Fundação Municipal de Ação Social do Município de Jundiaí.
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial.
HIS	Habitação de interesse social
IPT	Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S/A.
ISO	International Organization for Standardization.
MPa	Mega Pascal, unidade de medida referente a pressão exercida por uma força de 1 Newton, uniformemente distribuída sobre uma superfície plana de 1 metro quadrado de área, perpendicular à direção da força.
NBR	Norma Brasileira.

PBQP-H	Programa Brasileiro de Qualidade e Produtividade no Habitat.
PN	Proctor normal, grau de compactação de um aterro.
PVA	(Poli-acetato) de vinila, polímero macromolecular, com a aparência de sólido em forma de algodão, grão ou pó branco ou ligeiramente amarelado.
PVC	(Poli-cloreto) de vinila, material plástico, com 57% de cloro e 43% de eteno (derivado do petróleo).
Q	Tela em aço nervurada, eletro-soldada, em diversas dimensões e espaçamentos.
SI	Sistema Internacional de medidas.
U.H.	Unidade habitacional.
UR	Umidade relativa.
VU	Vida útil.
VUP	Vida útil de projeto.
VUR	Via útil requerida.
W	Watt, no Sistema Internacional (SI), é a unidade de medida de potência.

SUMÁRIO (*)

	Página
1 INTRODUÇÃO	23
1.1 Justificativas do trabalho	23
1.2 Hipótese e Objetivos	29
1.3 Conteúdo da Tese	29
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	33
2.1 Considerações Iniciais	33
2.2 Desempenho	36
2.2.1 Noções sobre durabilidade e vida útil	39
2.2.2 Edifícios habitacionais de até cinco pavimentos – Desempenho (NBR 15.575:2008)	45
2.3 Alvenaria	52
2.3.1 Blocos cerâmicos	54
2.3.2 Argamassas	58
2.3.3 Graute	62
2.4 Condições climáticas, comportamento e patologias	63
2.4.1 Condições climáticas	64
2.4.2 Interações da alvenaria com o meio ambiente	66
2.4.2.1 <i>Mecanismo de transporte da umidade</i>	67
2.4.2.2 <i>Umidade nas construções</i>	68
2.4.3 Patologias em alvenarias	75
2.4.3.1 <i>Causas mais comuns de patologias</i>	76
3 MATERIAIS E MÉTODOS	99
3.1 Caracterização do empreendimento e do seu entorno	99
3.1.1 Universo e amostra do estudo de caso	107
3.2 Caracterização das unidades habitacionais (U.H.)	112
3.2.1 Parâmetros referenciais para a avaliação das alvenarias das habitações	119
3.2.1.1 <i>Aspectos quanto ao desempenho à durabilidade da alvenaria – NBR 15.575</i>	124
3.2.1.2 <i>Ensaio realizados nos componentes da alvenaria</i>	127

	Página
3.3	Acompanhamento da execução das obras do empreendimento 128
3.4	Inspeção de campo: materiais, equipamentos e registro das patologias 143
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES 151
4.1	Considerações sobre a concepção do empreendimento e sobre o processo construtivo das U.H. 151
4.1.1	Considerações quanto aos parâmetros construtivos das alvenarias 155
4.1.2	Resultados dos ensaios nos componentes da alvenaria 157
4.2	Resultados da inspeção de campo 166
4.2.1	Patologias relacionadas às Unidades Habitacionais (U.H.) 168
5	CONCLUSÕES 175
5.1	Sugestões para trabalhos futuros 182
	REFERÊNCIAS 185
	APÊNDICES 197
	APÊNDICE A – Formulário da inspeção de campo 199
	APÊNDICE B – Tabelas com informações da inspeção de campo 203
	ANEXOS 207
	ANEXO A – Projetos 209
	ANEXO B - Classificações bioclimáticas nacional e para o Estado de São Paulo 217
	ANEXO C - Descrição dos ensaios nos componentes da alvenaria das U.H. do sistema construtivo sob estudo de caso 221

(*) **NOTA GERAL:** Os textos das notas de rodapé nesta Tese, adaptados, foram tirados da obra de Bauer (BAUER, L. A. *Materiais de Construção*. 2 volumes, 5ª Edição revisada, São Paulo: LTC, 2000. 951p.), com exceção das notas de rodapé que possuem referências próprias.

1 INTRODUÇÃO

O déficit habitacional é um dos maiores problemas sociais não resolvidos no Brasil. O crescimento populacional urbano verificado desde o último quadrante do século passado implicou em uma demanda crescente por moradias, especialmente pelas camadas mais pobres da população. Tal fato, aliado à escassez de investimentos estatais nesse segmento justifica o acentuado déficit habitacional brasileiro estimado em aproximadamente 8 (oito) milhões de moradias em 2005, segundo dados da Fundação João Pinheiro (2007).

Ainda que parcialmente, é no interior deste quadro preocupante ligado ao déficit habitacional presente no País que a conquista do direito à moradia significa a perspectiva da saída do mundo estigmatizado da exclusão para a inserção no senso da plena cidadania. Nesses termos, a demanda por direitos não se constitui apenas em uma petição de princípios. Mais que isso, significa um modo de se construir relações e práticas sociais que signifiquem poder viver com dignidade, especialmente para as famílias de baixa renda, que se constitui no público mais numeroso quanto ao citado déficit por moradias.

1.1 Justificativas do trabalho

O segmento da construção civil está inserido nessa complexa problemática do déficit habitacional com um importante papel: desenvolver e disseminar sistemas construtivos capazes de suprir a demanda por habitações para a população alvo, mais carente de recursos para adquirir uma moradia.

Assim, nesse contexto de déficit habitacional, o Poder Público municipal de Jundiaí, Estado de São Paulo, por meio da Fundação Municipal de Ação Social (FUMAS), propôs viabilizar a implantação de um grande empreendimento habitacional popular: o “Parque Antonieta Chaves Cintra Gordinho”, denominado popularmente como “Loteamento Fazenda Grande”, a ser executado por duas construtoras (aqui denominadas de “A” e de “B”) aprovadas pela municipalidade. No entanto, a concepção do empreendimento foi proposta pelas mencionadas construtoras num sistema construtivo constituído de unidades habitacionais a serem executadas com alvenaria em blocos cerâmicos de vedação com função auto-portante. Para se ter uma idéia da magnitude do citado empreendimento, quando estiver finalizado, beneficiará 2.026 famílias e está sendo implantado através de recursos do programa “Imóvel na Planta e/ou em Construção”, da Caixa Econômica Federal (CAIXA).

Similarmente a esse empreendimento do município de Jundiaí, outros empreendimentos foram e estão sendo construídos em várias cidades do Estado de São Paulo e do País, sob o escopo do referido programa, utilizando o mesmo sistema construtivo - uso de blocos cerâmicos de vedação de oito furos (prismáticos) com funções auto-portantes nas alvenarias das habitações. Como exemplo, somente no âmbito da Caixa Econômica Federal, especificamente para a região abrangida pela Superintendência Regional de Jundiaí, onde o autor desta Tese atuou como engenheiro sênior da Empresa, houve a execução de vários empreendimentos de pequeno e médio porte (entre 60 e 120 unidades cada um) nesse sistema: nas cidades de Itupeva, Louveira, Bragança Paulista, Itatiba, Jundiaí e Atibaia. Isso sem considerar as unidades isoladas financiadas pela Instituição dentro do mesmo sistema construtivo. Observação importante a ser indicada é a de que em todos os empreendimentos financiados (100%) houve a ocorrência de manifestações patológicas nas alvenarias das unidades habitacionais. A utilização desse sistema construtivo tem se expandido rapidamente, desestimulando o uso de outros sistemas desenvolvidos para a população de baixa renda, ainda considerados ‘não convencionais’, e, conseqüentemente, as respectivas pesquisas de desempenho, por se tratar de um sistema consolidado de fato e compatível com a mão-de-obra disponível, não qualificada, aliado ao emprego de materiais relativamente baratos.

Por outro lado, Bezerra (2002), constatou “que a inadequação de projetos e processos de implantação de empreendimentos habitacionais de interesse social (EHISs) tem resultado em uma série de problemas de degradação ambiental”. Medidas para solução dos referidos problemas, denominadas de “medidas preventivas”, são recomendadas pelo citado autor, a saber: (a) maior consideração aos condicionantes do meio físico; (b) melhor qualidade da infra-estrutura provida; e (c) melhor conhecimento da realidade socioeconômica da população.

Ademais, no âmbito da construção civil, vigora uma resistência natural contra mudanças dos sistemas construtivos consagrados ou em expansão, além da deficiência quanto à divulgação de tecnologias e metodologias construtivas geradas no meio acadêmico, bem como a carência da disponibilização dos projetos das mencionadas novas tecnologias desenvolvidas que possam atender as reais necessidades dos segmentos menos favorecidos da população nacional.

Assim, uma forma de reduzir as perspectivas de risco das novas tecnologias, com projetos de sistemas construtivos inovadores, que é uma das causas da resistência contra mudanças no segmento da construção habitacional, em especial quanto a sua viabilidade socioeconômica, “é adotar o desenvolvimento de protótipos e demonstrar os resultados desses projetos” (KUA e LEE, 2002). Quanto à viabilidade econômica, a literatura aponta como uma das formas eficientes para a redução dos custos nas habitações o desenvolvimento de novos métodos construtivos buscando maior produtividade e melhor qualidade, “que decorrem do fenômeno da globalização que trouxe uma quantidade considerável de novos produtos, serviços e conceitos industriais para o universo da construção civil” (TANIGUTI, 1999).

Von Kruger (1999) salienta que “não se pode propor uma inovação tecnológica sem propor uma inovação no sistema construtivo completo”. De fato, a inovação tecnológica só começa a ser aceita no segmento da construção civil devido ao custo / benefício vantajoso de uma construção. Porém, a inovação de sistemas construtivos necessita de maiores cuidados, pois deve ter em conta a preocupação com o desempenho dos seus elementos e componentes, além das mencionadas “medidas preventivas” indicadas por Bezerra (2002) quanto aos projetos e implantação dos empreendimentos.

Nesse sentido, quanto a um sistema já consagrado de fato pela sua grande expansão no mercado, inclusive com a parceria de grandes bancos que concedem financiamentos à sua produção, como, por exemplo, a Caixa Econômica Federal (CAIXA), a preocupação quanto ao atendimento ao desempenho dos seus elementos e componentes pode e deve ser maximizada. Assim, nesta pesquisa o foco está na verificação do desempenho quanto à durabilidade das alvenarias de habitações executadas com blocos cerâmicos de vedação com funções autoportantes, e do qual pode depender em grande parte o desempenho quanto à durabilidade do sistema construtivo completo e, conseqüentemente, da sua viabilidade socioeconômica. O desempenho do elemento ‘alvenaria’ depende das propriedades de cada um dos seus componentes relacionados às possíveis patologias decorrentes do processo construtivo, da qualidade desses componentes, do uso e da exposição ao ambiente nos quais estão inseridos.

Conforme Thomaz (1989), “no Brasil, com exceção de alguns levantamentos preliminares efetuados pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT), em conjuntos habitacionais no interior do Estado, não se tem notícias da compilação de dados sobre as origens dos problemas patológicos nos edifícios e sobre as formas mais típicas de manifestação. Na Bélgica, por exemplo, chegou-se à conclusão de que a maioria dos problemas patológicos originava-se de falhas de projeto (46%), seguindo-se falhas de execução (22% - mão-de-obra inadequada) e qualidade inadequada dos materiais empregados (15%). Quanto às manifestações patológicas ligadas às fissuras, que em ordem de importância perdiam apenas para os problemas de umidade, concluiu-se que as mais importantes eram por deformabilidade das estruturas e aquelas geradas por movimentações térmicas, seguindo-se dos recalques diferenciais das fundações e as movimentações higroscópicas”. Considerando a carência citada quanto à falta de compilação dos dados das formas mais típicas de manifestações patológicas construtivas, há a intenção com esta pesquisa em colaborar, em certo sentido, através da inspeção de campo (ou “in loco”) num empreendimento de grande magnitude no interior do Estado de São Paulo, para que se minimize a lacuna existente.

Portanto, com as manifestações patológicas quantificadas via inspeção de campo foi possível analisar o atendimento ao desempenho à durabilidade do elemento ‘alvenaria’ constituinte do sistema construtivo citado, nas condições existentes, conforme as disposições da

NBR 15.575:2008, “para que os construtores e o mercado possam investir nessas tecnologias” (SALES et al., 2001) sem o receio de maiores riscos.

A recente Norma Brasileira de Desempenho de Edifícios Habitacionais, a NBR 15.575:2008, na sua Parte 1, relativamente ao levantamento de dados para instruir a verificação do atendimento a um desempenho, indica que “as provas podem se dar através de ensaios e verificações, ou ainda através de inspeções em protótipos ou de campo” (como na presente pesquisa). Ainda quanto aos ensaios, verificações ou inspeções, o conhecimento obtido sobre os materiais empregados na construção é de vital importância para o projeto e a execução de um empreendimento. Conforme Agopyan (1988), “o colapso de uma estrutura é, por exemplo, na verdade, colapso do material constituinte dessa estrutura, porque ou ele foi incorretamente especificado ou não apresentou as propriedades previstas”.

Pelo exposto, pode ser considerado como imprescindível em todas as etapas do processo construtivo (de planejamento, de projeto, de materiais, de execução propriamente dita e de uso), o conhecimento do comportamento dos materiais, segundo as prescrições relativas ao desempenho ligado a uma habitação. De especial importância estão o requisito e os critérios relacionados à durabilidade de um sistema ou de um elemento desse sistema, como a alvenaria, conforme dispõem a Parte 1 – item 14 e a Parte 4 – item 14, da norma brasileira de desempenho de edifícios habitacionais, a NBR 15.575 (ABNT NBR 15.575-1:2008).

Logo, a importância do tema justifica-se pela oportunidade ímpar em quantificar, analisar e apresentar considerações relativas às patologias existentes nas alvenarias das habitações de um empreendimento de grande porte (“Loteamento Fazenda Grande”) e correlacionar os resultados ao desempenho de durabilidade.

Pode-se, ainda, perguntar: um sistema construtivo considerado convencional por tradição na Instituição Financeira Federal, por ser empregado em grande número e em expansão, pode continuar a ser assim considerado? Em função de problemas de ordem tecnológica ou social, “historicamente têm-se exemplos de que muitas dessas habitações, sem uma homologação tecnológica prévia, tiveram que ser demolidas para correção de problemas” (KELLETT, 1990) e,

deve-se ressaltar, para o exemplo sob estudo na presente Tese, que não há homologação ou certificação completa do sistema segundo as prescrições da NBR 15.575:2008, em especial quanto aos critérios de vida útil e durabilidade, importantes para o agente financiador, pois há vinculação ao prazo de retorno dos financiamentos concedidos.

Uma competência importante dos órgãos financiadores ou de fomento do Governo Federal está em evitar decisões equivocadas ao aceitar como garantia de crédito unidades habitacionais que não ofereçam segurança estrutural ou durabilidade. O próprio Gerente Nacional da área de Desenvolvimento Urbano da CAIXA disse textualmente que “não é possível aceitar que uma residência financiada por 30 (trinta) anos não resista a 5 (cinco) anos, por exemplo. Esse risco é importante e diretamente relacionado à adoção irresponsável de tecnologias sem desempenho comprovado” (PINI, 2008).

No entanto, não está no escopo deste trabalho realizar a homologação ou certificação formal do sistema construtivo sob análise, mas sim verificar o seu desempenho quanto à durabilidade após 6 (seis) anos da entrega do empreendimento aos seus usuários. A originalidade do tema está vinculada ao levantamento de dados em campo (“*in loco*”) relacionados ao elemento “alvenaria” das habitações, para análise do sistema construtivo quanto ao mencionado desempenho segundo a NBR 15.575, configurando um retrato real desse sistema construtivo inserido num contexto climático local, não simulado em laboratório, correlacionado à forma de implantação do empreendimento e à concepção do projeto das unidades habitacionais.

Por fim, este trabalho, muito respaldado na experiência prática do Autor como engenheiro sênior da Caixa Econômica Federal (CAIXA), procura suprir o segmento técnico-acadêmico com uma análise quanto ao desempenho à durabilidade de um empreendimento consolidado (como já citado, em uso há mais de seis anos) com dados de campo, a partir dos requisitos da NBR 15.575:2008. A citada norma foi homologada em 12 de maio de 2.008, estando vigente como documento informativo até o ano de 2.010 quando passará à condição normativa plena. Sua elaboração e homologação ocorreram após 10 (dez) anos de estudos, aproximadamente, sendo finalmente formatada no Comitê Brasileiro da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), denominado de CB-2, do qual o autor desta Tese fez parte como

membro titular representando a Caixa Econômica Federal (CAIXA) e como observador doutorando da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP).

1.2 Hipótese e objetivos

Assim, a hipótese que se apresenta no estudo de caso é a possibilidade de uma não eficiência plena na alvenaria no emprego do sistema construtivo com bloco cerâmico de vedação com função auto-portante quanto ao desempenho à durabilidade nos empreendimentos de habitações de interesse social, conforme previsto na NBR 15.575:2008.

Em decorrência da hipótese mencionada, o objetivo geral deste trabalho foi verificar o atendimento do desempenho à durabilidade das alvenarias de habitações de interesse social (HIS) no sistema construtivo em blocos cerâmicos de vedação com funções auto-portantes, conforme a NBR 15.575:2008, de um empreendimento de grande porte situado na cidade de Jundiaí, sob o delineamento de estudo de caso.

Os objetivos específicos compreenderam quantificar e classificar por tipos as manifestações patológicas construtivas existentes no empreendimento sob estudo de caso e apresentar sugestões para aprimoramento do texto da NBR 15.575:2008 relativamente ao desempenho à durabilidade.

1.3 Conteúdo da Tese

Esta Tese está estruturada em 5 (cinco) capítulos, além das referências, apêndices e anexos.

No capítulo 1 (um) estão apresentados os fatores que determinaram a escolha da pesquisa, a sua relevância e justificativa, delimitação do problema e a apresentação da hipótese e dos objetivos geral e específicos.

No capítulo 2 (dois) apresenta-se uma introdução que trata das definições de habitação de interesse social e dos sistemas convencionais e não convencionais. Em seguida, faz-se a contextualização do problema através de 3 (três) grandes temas: a conceituação de desempenho, o elemento “alvenaria” e as condições climáticas, comportamento e patologias ligadas à alvenaria de habitações de interesse social (HIS). Quanto ao primeiro grande tema, faz-se considerações sobre o desempenho de habitações, sobre a durabilidade e sua vida útil, relacionada à estrutura da NBR 15.575:2008, que discorre sobre a estrutura das normas e sobre o desempenho à durabilidade (seus requisitos e critérios). Quanto à alvenaria, conceitua-se esse elemento do sistema construtivo e os seus componentes mais relevantes analisados na Tese (os blocos cerâmicos de vedação, as argamassas de assentamento e de revestimento e o graute). Também são efetuadas considerações relacionadas às definições do clima, observando as características que possam impactar as alvenarias, especialmente as de fachada, assim como a classificação vigente do zoneamento bioclimático brasileiro e a classificação local para o Estado de São Paulo segundo Koeppen. Quanto às interações entre as alvenarias com o meio ambiente, indicam-se as manifestações patológicas mais freqüentes pela inter-relação entre ambos, em especial com a umidade. Por fim, são apresentadas as patologias mais comuns nas alvenarias de um sistema construtivo, indicando os variados tipos de ocorrência.

No capítulo 3 (três) é apresentada a caracterização do empreendimento sob estudo, indicando sua concepção, localização no território do município, o seu histórico e o entorno no qual está inserido, incluindo dados climáticos locais. É indicado o universo da pesquisa e demonstrado o parâmetro da amostra escolhida para a realização do estudo de caso, em cujo delineamento a Tese se insere. Também é realizada a caracterização pormenorizada das unidades habitacionais, das suas metodologias construtivas, das características de projeto e quantitativos. Os parâmetros de avaliação do desempenho das habitações pesquisadas são apresentados sob os seus aspectos construtivos vinculados ao elemento “alvenaria”, aos seus componentes e às especificações recomendadas para os mesmos (blocos cerâmicos de vedação, argamassas e graute). É, ainda, apresentado o acompanhamento da execução das obras do empreendimento, desde seu início em 2.001, e delimitadas as suas diversas fases (módulos ou etapas do loteamento em execução no tempo), com imagens gerais e particulares de detalhes construtivos. Por fim são

indicados os materiais e equipamentos utilizados durante a obtenção dos dados via inspeção de campo e apresentado o registro das manifestações patológicas recorrentes.

No capítulo 4 (quatro) estão os resultados e discussões. São apresentadas considerações sobre a concepção do loteamento sob análise e os parâmetros construtivos das suas unidades habitacionais (UH) e são apresentados os resultados e discussões dos ensaios à compressão dos componentes da alvenaria e dos dimensionais dos blocos, segundo as normas prescritivas afetas ao assunto, realizados durante a execução do empreendimento. Esta Tese não segue o delineamento de pesquisa experimental, porém considerou-se relevante apresentar os resultados disponíveis, obtidos, ressalta-se, no agente financiador, a Caixa Econômica Federal (CAIXA). Os citados ensaios foram realizados a pedido da CAIXA junto às duas construtoras contratadas pela municipalidade. Assim, na presente Tese, com os resultados dos ensaios pode-se identificar se as patologias levantadas na inspeção de campo estavam relacionadas, ou não, a problemas estruturais decorrentes de inconformidades dos componentes da alvenaria. Foram registradas as patologias verificadas no elemento “alvenaria”, especialmente de fachadas, classificando-as quantitativamente por número de habitações afetadas e conforme os tipos.

Por fim, no capítulo 5 (cinco) estão apresentadas as Conclusões sobre o desempenho à durabilidade do sistema construtivo, sobre a continuidade do uso desse sistema construtivo na construção civil, sobre a hipótese inicialmente formulada e apresentadas as recomendações para o aprimoramento do texto da NBR 15.575:2008. As sugestões para trabalhos futuros foram apresentadas relacionadas a alguns temas correlatos à complementação da Tese, para a continuidade das pesquisas.

Por fim há a indicação das referências e apresentação de apêndices e anexos.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

As informações sobre os grandes temas que embasam a pesquisa: o desempenho, a alvenaria e as condições climáticas, comportamento e patologias, conforme indicadas neste capítulo, mais o item introdutório, têm por finalidade facilitar o entendimento dos leitores, especialmente daqueles não ligados diretamente ao segmento profissional ou técnico-acadêmico da Engenharia Civil ou Arquitetura, em especial no que diz respeito a construção habitacional popular. Especificamente àqueles que atuam na área da construção habitacional reproduz-se a acertada posição do professor Agopyan (1988), de que “os construtores devem conhecer muito bem os materiais que especificam e utilizam, a fim de se evitar falhas e, também, permitir novas opções econômicas e tecnicamente adequadas”. Complementa-se o exposto pelo citado autor que esse conhecimento deve ser estendido, também, aos profissionais que atuam na elaboração de projetos, pareceres ou laudos de avaliação, perícias, concessão de financiamentos, gestão de recursos públicos, aplicação da Justiça e aos legisladores e, de modo particular, aos usuários das habitações populares.

2.1 Considerações Iniciais

Estas considerações iniciais apresentam as definições usuais relativas à habitação de interesse social e aos sistemas construtivos convencionais e não convencionais, para um melhor entendimento dos leitores. A matéria sobre normas urbanísticas e análise da regulamentação quanto às características e problemas a serem solucionados em empreendimentos de habitações de interesse social está na alçada dos municípios. Esses têm maior autonomia

dentro da organização política brasileira para revisar a legislação relativa às habitações de interesse social, do que para os demais casos, regulados em leis estaduais e federais (MORETTI, 1997). Quanto à classificação dos sistemas construtivos em convencionais e não convencionais, esta possui variações dependendo do órgão público que trate do assunto, por exemplo, o Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo – IPT, ou das instituições financiadoras (bancos) ou das cooperativas ou empresas ou autarquias de fomento à habitação. A classificação mais completa, em virtude da sua forte atuação no segmento habitacional, é aquela da Caixa Econômica Federal (CAIXA).

a) Habitações de interesse social

Usualmente entende-se por Habitação de Interesse Social a moradia que se destina às famílias com baixa renda mensal, considerada como aquela de até 10 (dez) salários-mínimos vigente no País, com ênfase no atendimento prioritário para a faixa da população de até 3 (três) salários-mínimos, conforme as diretrizes federais para financiamento à produção de empreendimentos sociais. Com um crescente grau de urbanização e uma elevada concentração de renda, o Brasil enfrenta graves problemas sociais, dentre os quais pode-se destacar a da habitação, que afeta diretamente milhões de famílias cujas moradias não atendem aos requisitos mínimos de habitabilidade, tanto pelos padrões construtivos e disponibilidade de infra-estrutura urbana, quanto pela ilegalidade de ocupação da terra (ROQUE, 2003). O problema habitacional não se restringe à falta de um espaço físico para se morar. Contribui para a agressão ao meio ambiente urbano e a sua solução depende, em parte, do sucesso das demais políticas sociais, como as de saúde e educação básica, administradas prioritariamente pelos municípios.

No mesmo sentido, Moretti (1997) indica que “as normas urbanísticas devem ser formuladas visando resguardar os interesses e direitos coletivos, evitando que a implantação de empreendimento traga impacto indesejável para a cidade como um todo”.

b) Sistemas construtivos - convencionais e não-convencionais

Quanto aos empreendimentos de interesse social, estes têm sido usualmente classificados de variadas formas, a depender do órgão ou instituição pública ou privada afeta ao tema, como citado.

Na área de engenharia da Caixa Econômica Federal (CAIXA) as habitações são classificadas sob 2 (dois) aspectos, adotadas neste trabalho:

- 1) habitações em sistemas construtivos ‘convencionais’; e
- 2) habitações em sistemas construtivos ‘não convencionais’.

São consideradas como habitações em sistemas construtivos convencionais aquelas que são consagrados pelo uso e costumes de determinada cultura ou homologadas por instituições certificadoras quanto ao desempenho e satisfação do usuário, ou ainda amparadas pela normalização técnica promulgada ou reconhecida no País.

“Por homologação entende-se o conceito de reconhecimento oficial por instituição certificadora com posterior divulgação. Ou seja, a partir da comprovação, ratificação ou confirmação, pela instituição autorizada para tal, no caso laboratório certificado pelo Instituto Nacional de Metrologia (INMETRO), das características e propriedades de determinado objeto [material, componente, elemento, sistema], dissemina-se o que se atesta. Tal objeto pode, portanto, ser um sistema construtivo” (PINI, 2008).

As habitações sob sistemas construtivos não convencionais são aquelas desenvolvidas para implantação em determinadas regiões ou para populações específicas, que não contam com processos consagrados ou com normas prescritivas. A característica básica é de que não possuem homologação completa junto aos organismos certificadores quanto ao desempenho. No entanto, podem acabar sendo disseminadas em grande escala, devido ao baixo custo, por exemplo, sem a previsão de sua vida útil em projeto conforme preceituam as normas de desempenho (nacional ou estrangeiras). Alia-se a esse problema a falta de normas prescritivas nacionais relativas aos sistemas não convencionais.

Nesse sentido, as habitações do empreendimento sob estudo de caso na presente pesquisa estão classificadas como pertencentes a um sistema construtivo convencional na Caixa

Econômica Federal (CAIXA), por este ser largamente empregado na atualidade. Quanto à disseminação de um sistema construtivo, Mitidieri (1998) confirma “que por anos a construção civil, em especial a construção habitacional, empregou um número relativamente reduzido de produtos (materiais, componentes, elementos ou sistemas construtivos). O comportamento de tais produtos era bem conhecido pelos projetistas e construtores, em função da experiência acumulada ao longo dos anos no emprego desses produtos e técnicas construtivas”. O mesmo autor afirma que “esse conhecimento resumia-se na chamada ‘arte de bem construir’, acessível à quase totalidade dos agentes intervenientes no processo da construção civil”. Portanto, desde então, os proponentes (incorporadoras e construtoras) têm obtido financiamentos para os seus empreendimentos (através de recursos próprios da instituição financeira pública ou via repasses de verbas do Governo Federal) sem maiores exigências aos citados proponentes em homologar ou certificar o sistema construtivo sob estudo de caso quanto ao desempenho.

2.2 Desempenho

A avaliação de desempenho, no segmento habitacional, consiste em prever o comportamento potencial de um edifício, seus elementos e instalações quando submetidos a condições normais de exposição, a fim de avaliar se tal comportamento satisfaz as exigências do usuário. Normalmente, os elementos da habitação considerados são: a estrutura, a cobertura, o piso, a alvenaria divisória entre habitações, as alvenarias de fachada e as alvenarias divisórias internas (ROQUE, 2003).

As orientações normativas quanto ao desempenho das habitações no Brasil caminharam por uma longa trilha. Alguns desafios tiveram que ser superados para que esse objetivo fosse atingido, seja através de ações políticas para o acesso à terra urbana legalizada, seja pela ampliação das fontes de financiamento, seja pela capacitação dos agentes os setores públicos e privados que se relacionam com o segmento da construção civil, seja na modernização da legislação urbanística e simplificação dos procedimentos técnicos e operacionais do Estado.

Completando o exposto, está o desafio de produzir habitações em quantidade que paulatinamente vá diminuindo o déficit existente, com as premissas do preço adequado e da qualidade que possam corresponder à realidade do País em termos socioeconômicos.

O Brasil produz muitas habitações, porém, a maioria delas é executada de maneira quase artesanal (IPT, 1995) e com qualidade inferior àquela desejável se comparada à de uma construção racionalizada, com processos modernos e perdas reduzidas de material e horas da mão-de-obra. Nesse sentido, é imperativo que parâmetros mínimos garantam uma habitação adequada aos seus usuários, aos agentes de fomento, aos agentes financeiros e, por consequência, aos proponentes de empreendimentos habitacionais (construtoras e incorporadoras).

Um estudo detalhado sobre avaliação de desempenho de habitações foi realizado por Souza e Mitidieri (1988), com determinação de conceitos e metodologias. Os requisitos e critérios de desempenho podem ser fixados para o edifício como um todo ou para os seus elementos ou componentes, e, são expressos como níveis de segurança, habitabilidade e durabilidade, a serem atendidos quando o produto é submetido a certas ações; níveis esses passíveis de serem verificados analiticamente, através de ensaios e medidas, ou ainda, através de inspeções em protótipos ou em campo.

A idéia de criar uma Norma Brasileira de Desempenho relativa aos Edifícios Habitacionais é antiga, remontando dos anos de 1970. Foi uma iniciativa do meio acadêmico e do meio tecnológico (ZIGAMANTAS, 2005). Nesse contexto, por volta de 1975 o extinto Banco Nacional da Habitação (BNH) efetuou a contratação do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT) para iniciar pesquisa sobre o tema. Após, quando o Banco Nacional da Habitação (BNH) foi incorporado à Caixa Econômica Federal (CAIXA), houve a participação da citada instituição financeira em nova contratação do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT) para elaborar regras que deveriam ser utilizadas para a análise do desempenho de sistemas ‘não convencionais’ em habitação popular. As décadas de 1970 e 1980 foram momentos históricos nos quais muitos construtores estavam importando para o Brasil sistemas construtivos do exterior, aplicando-os em grandes empreendimentos habitacionais sem maior controle quando ao desempenho. Deste procedimento do mercado ocorreram problemas diversos, sendo um dos mais significativos a construção de um empreendimento de 1.000

unidades situado em Carapicuíba, à época um bairro da cidade de São Paulo, Estado de São Paulo, coordenada pela Cooperativa Habitacional de São Paulo (COHAB-SP), cujas paredes literalmente se degradaram completamente em contato com a chuva, em tempo curto. Este empreendimento foi demolido por ordem da Prefeitura da Cidade de São Paulo no início dos anos 1990, causando enorme prejuízo ao erário público.

Após a elaboração dos cadernos de Avaliação de Desempenho do Banco Nacional da Habitação (BNH), pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT) em 1983 (IPT, 1983), houve uma nova contratação do citado instituto em 1995, agora pela Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP), que é um órgão de fomento de pesquisas do Governo Federal, para a revisão dos critérios de desempenho desenvolvidos anteriormente. O trabalho anterior foi considerado rigoroso pelo segmento da construção civil. O novo texto elaborado, cuja versão final foi denominada “Critérios mínimos de desempenho para habitações térreas de interesse social” (IPT, 1998), se tornou o principal referencial de desempenho para habitações populares no País, criando a base para uma futura norma brasileira.

Deve-se ressaltar que, por falta de uma normalização nacional à época, os conceitos existentes em normas estrangeiras balizaram muitos dos trabalhos relacionados ao tema no País. Por exemplo, a norma ISO/DP 6240:1980 que define desempenho como “o comportamento de um produto em relação ao seu uso” (ISO, 1980).

Assim, como principal precursor na definição dos requisitos e critérios de desempenho, que pudessem balizar o mercado, pode-se considerar como sendo o Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT), que desenvolveu o já mencionado texto “Critérios Mínimos de Desempenho para Habitações Térreas de Interesse Social” (IPT, 1998). Esse texto apresenta requisitos e critérios de desempenho a serem analisados num sistema construtivo, com o objetivo de obter uma habitação segura, com qualidade e com durabilidade. O texto oferece subsídios para as entidades do setor da construção civil na produção de normas técnicas permanentes que definam os padrões mínimos exigidos para uma habitação (KLEIN et al, 2004).

Em 1999 a Caixa Econômica Federal (CAIXA) retorna ao processo de fomentar a elaboração da Norma de Desempenho, ao repassar recursos à Financiadora de Estudos e Projetos

(FINEP) que, por sua vez, contratou a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) para a elaboração definitiva dos textos normativos.

Muitas das premissas abordadas pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT) foram recepcionadas posteriormente na norma brasileira de desempenho habitacional, a NBR 15.575:2008, a ser apresentada no item 2.2.2 desta Tese.

2.2.1 Noções sobre durabilidade e vida útil

No início os estudos de durabilidade foram motivados pela necessidade de avaliação do desempenho econômico de diferentes produtos bem como de planejamento da manutenção. Com o paradigma do desenvolvimento sustentável, a durabilidade ganhou uma nova dimensão, pois a ampliação da vida útil dos sistemas construtivos, seus elementos e componentes é uma forma efetiva de redução do impacto ambiental e as pesquisas na área ganharam novo impulso. A durabilidade depende muito mais de conhecimento do que de recursos (JOHN, 2001).

Conforme Isaia (2001), no sentido estrito do termo, “a durabilidade dos materiais está ligada à sua capacidade de se conservar em determinado estado, com a mesma qualidade ao longo de um dado tempo. De outra forma, é a resistência de um material ou elemento da construção à deterioração ou degradação”. Este conceito, diz o citado autor, “está intimamente conectado com o de desempenho que é o comportamento de um produto em serviço (em utilização), sob condições de real funcionamento ou uso, com pleno atendimento às exigências do usuário”.

De forma semelhante, para Neville (2001), “a durabilidade significa que uma dada estrutura terá desempenho contínuo satisfatório, para as finalidades para as quais foi projetada, isto é, que manterá sua resistência e condições normais de serviço durante a vida útil especificada ou esperada”. Isaia (2001) afirma que “esta definição implica no conhecimento dos processos de deterioração aos quais um dado material estará exposto nas condições ambientais reais da estrutura, durante o seu tempo de duração”.

Num sentido geral, o termo “deterioração” é antônimo de “durabilidade”, definida como a capacidade do material suportar as condições para as quais foi concebido, sem sofrer danos significativos ao longo de um determinado período.

A deterioração relativamente precoce de estruturas recentes remete aos porquês das patologias verificadas, resultantes de uma somatória de fatores, dentre os quais, citam-se: erros de projeto e de execução, inadequação dos materiais, má utilização da obra, agressividade do meio ambiente, falta de manutenção e ineficiência ou ausência de controle da qualidade na construção civil (BRANDÃO, 1999).

Do ponto de vista da exposição do material ao meio ambiente, Helene (2001) indica especificamente ao cimento Portland, “a necessidade de proceder a adições de aditivos mais adequados para que o componente resista à agressividade ambiental, em função da natureza dessa agressividade”. Isto é, resistir a uma ação de maneira eficiente é manter sua capacidade de ser durável no tempo da sua vida útil prevista. Especificamente ao cimento, este é o aglomerante que está presente nos concretos denominados *grautes* utilizados em pilaretes e cintas de amarração, e está presente nas argamassas de assentamento e nas de revestimento das alvenarias. Assim, do ponto de vista da maior resistência, quanto à lixiviação¹ são preferíveis os cimentos com adições tipo CP II, CP III e CP IV; para minimizar o risco de reações álcali-agregado² são preferíveis os cimentos pozolânicos tipo CP IV; para reduzir a profundidade de carbonatação³ são preferíveis os cimentos tipo CP I e CP V e para reduzir a penetração de cloretos⁴ são preferíveis os cimentos com adições tipo CP III e CP IV, assim como adição extra de microssílica e cinza de casca de arroz.

¹ **Lixiviação:** dissolução e carreamento de compostos da pasta de cimento, com o aparecimento de superfície arenosa ou com agregados expostos, eflorescências, retenção de fuligem, risco de desenvolvimento de fungos, redução do pH.

² **Reação álcali-agregado:** presença de agregados reativos (opala, calcedônia, as sílicas amorfas, certos calcários) e álcalis em concentração suficiente quando em contato intenso e permanente com água ou umidade elevada. Geram produtos expansivos e o sintoma é a presença de um gel em torno dos agregados.

³ **Carbonatação:** é a difusão do gás carbônico na massa cimentícia ou em concretos, com redução do pH e risco de despassivação das armaduras.

⁴ **Penetração de cloretos:** introduzidos durante o amassamento. Decorre principalmente de aditivos de endurecimento, e podem causar a corrosão de armaduras presentes no concreto ou massas cimentícias.

Os aditivos são substâncias adicionadas em pequenas proporções e que dão as características especiais a um tipo de concreto, argamassa ou tintas (UEMOTO, 2002).

John (2001), afirma que “a durabilidade não é uma qualidade intrínseca de apenas um material, mas determinadas combinações de materiais diversos que podem proporcionar maior proteção ao componente contra fatores de degradação”.

No entanto, segundo Metha (1994), “a criação de um modelo matemático que traduza o tratamento quantitativo dos elementos-chave da previsão da durabilidade é muito difícil”, por várias razões:

- (A) como definir o material que muda constantemente em interação com um ambiente agressivo?
- (B) como enumerar tipos de agressividade ou criar graduações de deterioração, quando se sabe que não há duas condições reais exatamente iguais?
- (C) como desenvolver ensaios de laboratório que simulem fielmente as condições de campo, quando não se consegue, após uma centena de anos de tecnologia, estabelecer métodos de ensaios de resistência química plenamente satisfatórias?

Por isso, deve-se considerar que a durabilidade de dado material, elemento ou sistema testado em condições específicas pode não corresponder à durabilidade deste mesmo material na estrutura, “*in situ*”, sujeito às condições ambientais específicas (ISAIA, 2001).

Relativamente ao desempenho à durabilidade, o estudo do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT) diz: “*a avaliação da durabilidade envolve, mais que nos demais requisitos de desempenho, vários aspectos que são de difícil determinação. Os fatores de degradação que vão atuar durante a vida útil da edificação variam consideravelmente de um produto para outro e se alteram conforme o tempo de uso. Os produtos são expostos não a agentes isolados, mas à combinação de agentes cuja influência não é geralmente igual à soma das influências dos agentes tomados separadamente. Não é realista, nem economicamente viável, elaborar todos os ensaios que correspondem às combinações identificadas; tem-se que simplificar os problemas. O objetivo desses ensaios é prever o comportamento do produto ao*

longo do tempo. O maior problema é que não há correlações confiáveis entre esses resultados e a vida útil real” (IPT, 1998).

Quanto à vida útil, esta é usualmente definida como o período de tempo durante o qual um sistema construtivo, ou elemento ou componente mantêm condições satisfatórias de uso, atendendo às finalidades esperadas em projeto. Existe uma proximidade entre os conceitos de vida útil e durabilidade que, às vezes, leva à utilização equivocada dos termos. Pode-se considerar que a vida útil é a quantificação da durabilidade que se supõe ser apenas uma qualidade da estrutura. A vida útil pode também ser entendida como o período de tempo durante o qual a estrutura é capaz de desempenhar bem as funções para as quais foi projetada (DA SILVA, 2001). A vida útil de uma construção como um todo depende igualmente do comportamento dos seus elementos e dos componentes incorporados às estruturas (BRANDÃO, 1999). Segundo John (2001), “a norma ISO 15686-2:2001 define planejamento de vida útil como um processo de projeto que procura garantir, na medida do possível, que a vida útil de um edifício seja igual ou superior à vida útil de projeto, levando em conta os custos globais do ciclo de vida do edifício”.

A questão da vida útil dos sistemas deve ser enfocada de forma holística, sistêmica e abrangente, envolvendo equipes multidisciplinares. Deve também ser considerada como resultante de ações coordenadas e realizadas em todas as etapas do processo construtivo: concepção ou planejamento; projeto; fabricação de materiais e componentes; execução propriamente dita e principalmente durante a etapa de uso. É nessa etapa onde serão realizadas as operações de vistoria, monitoramento e manutenções preventivas e corretivas, indispensáveis numa consideração correta e sistêmica da vida útil (HELENE, 2001).

O período de tempo total contado a partir do término da construção até o aparecimento de uma manifestação patológica considerada grave é denominado vida útil de serviço ou de utilização (HELENE, 2001). Para que a vida útil de um sistema, elemento ou componente seja expandida, Isaia (2001) indica que “poderá ser obtida se a microestrutura de cada material estiver isenta de falhas, que na prática vai dificultar a penetração de agentes agressivos quando expostos em seus ambientes”.

Quanto ao ciclo de uma construção, o conceito de vida útil conduz a um tratamento integralizado das seguintes fases:

- ❖ planejamento;
- ❖ projeto;
- ❖ materiais;
- ❖ execução; e
- ❖ utilização (operação e manutenção).

A vida útil de um edifício ou estrutura depende do desempenho dos seus elementos e componentes. Em princípio deve caber ao proprietário da obra, assistido pelos responsáveis do projeto arquitetônico, estrutural e demais disciplinas, definir a extensão da vida útil do projeto, registrando-a na documentação técnica da obra (HELENE, 2001). Também se apresenta relevante o papel dos órgãos financiadores em analisar os projetos e suas condições de exposição a fim de assegurar a vida útil de projeto no período de amortização do investimento realizado.

No entanto, grandes dificuldades apresentam-se ao se projetar uma estrutura visando a um período de vida útil pré-estabelecido. Estas dificuldades inviabilizam um rigor técnico para os projetos mais comuns, de modo que é preferível procurar se manter em níveis mais realistas a técnica de projetar (REZENDE, 1996).

Helene (2001) observa, finalmente, que “o conceito de vida útil inclui qualquer tipo ou natureza de manutenção, ou seja, todos os serviços de manutenção previstos no projeto e previamente acordados com o proprietário e registrados na documentação de projeto, que deverão ser executados durante o transcorrer da vida útil da construção prevista em projeto”.

Como indica Mitidieri (1998), “as condições de exposição a que está submetido um edifício habitacional caracterizam-se pelo conjunto de influências ou ações atuantes sobre ele durante a vida útil. Essas ações são variadas e devidas aos fenômenos de origem natural (ventos, chuvas, radiação solar, temperatura, etc.), de origem externa ao edifício (impactos externos) e devidas à utilização do edifício (sobrecargas de utilização, ações de limpeza, etc.). A norma alemã DIN 4108 – Parte 3, estabeleceu requisitos e diretrizes para planejamento e construção com relação à proteção contra umidade causada por fenômenos climáticos às fachadas dos

edifícios. No planejamento de um projeto de empreendimento, estas recomendações devem ser consideradas para minimizar a ação desses citados fenômenos da natureza”.

Mitidieri (1998) apresentou em sua tese de doutoramento Tabela onde constam os principais agentes que atuam sobre um edifício, elaborada pela ISO/DP 6241 (ISO, 1980b), reproduzida na Tabela 2.1, adaptada para os agentes relacionados à durabilidade do elemento alvenaria:

Tabela 2.1 – Agentes atuantes na alvenaria de um edifício (Adaptação: ISO DP 6241).

Origem => <i>Em função da Natureza</i>	Exterior ao edifício		Interior ao edifício	
	<i>Da Atmosfera</i>	<i>Do Solo</i>	<i>Da Ocupação</i>	<i>Do Projeto</i>
1. Agentes mecânicos				
1.1 Gravidade =>	Água de chuva.	Pressão do solo e água.	Sobrecarga de uso.	
1.2 Esforços e deformações =>	Dilatação térmica e higroscópica.	Recalque.		Retração.
1.3 Energia climática =>	Vento, granizo.	-x-	Abrasão.	-x-
1.4 Vibrações e ruídos =>	Ruídos exteriores.	Vibrações exteriores.	Ruídos e vibrações.	-x-
2. Agentes eletromagnéticos				
2.1 Radiação =>	Solar	-x-	Lâmpadas.	Painel radiante.
2.2 Eletricidade =>		Correntes parasitárias.		Correntes de distribuição.
2.3 Magnetismo =>			Campos magnéticos.	Campos magnéticos.
3. Agentes térmicos =>	Reaquecimento.	Reaquecimento.	Calor emitido.	Aquecimento.
4. Agentes químicos				
4.1 Água e solventes =>	Umidade, condensação.	Água de superfície.	Lavagem, condensações, detergentes, álcool.	Água de distribuição, águas servidas, infiltrações.
4.2 Oxidantes =>	Oxigênio, ozônio.		Água oxigenada, água sanitária.	Potenciais eletroquímicos.
4.3 Redutores =>		Sulfetos.	Agentes combustíveis, amônia.	Agentes combustíveis.
4.4 Ácidos =>	Ácido carbônico.	Ácido carbônico.	Vinagre, ácido cítrico.	Ácido sulfúrico.
4.5 Bases =>		Cales.	Soda cáustica.	Soda cáustica, cimentos.
4.6 Sais =>	Névoa salina.		Cloreto de sódio.	Gesso.

Tabela 2.1 – Agentes atuantes na alvenaria de um edifício (Adaptação: ISO DP 6241) – cont.

<i>Origem =></i> <i>Em função da Natureza</i>	<i>Exterior ao edifício</i>		<i>Interior ao edifício</i>	
	<i>Da Atmosfera</i>	<i>Do Solo</i>	<i>Da Ocupação</i>	<i>Do Projeto</i>
4.7 Matérias inertes =>	Poeira.	Calcáreo.	Gorduras, óleos, tintas, poeira.	Gordura, sujeira, poeira.
5. Agentes biológicos				
5.1 Vegetais =>	Bactérias.	Bactérias, bolor, cogumelos, raízes.	Bactérias, plantas domésticas.	
5.2 Animais =>	Insetos, pássaros.	Roedores, vermes.	Animais domésticos.	

Fonte: Mitidieri (1998).

Assim, a durabilidade enquanto uma propriedade associada à manutenção de determinadas características ao longo da vida útil do edifício pode ser entendida como a síntese resultante do desempenho deste edifício frente às demais exigências de outros desempenhos, podendo ser, portanto, “definida pelo tempo de permanência de suas propriedades acima dos limites mínimos admissíveis no cumprimento de suas funções” (SILVA, 2003).

Quanto ao projeto de uma habitação ou empreendimento, quando bem elaborado, deve conferir além da segurança às estruturas e garantir-lhes desempenho satisfatório em serviço, uma aparência aceitável. Portanto, observadas as exigências com relação à capacidade resistente, bem como às condições em uso normal durante sua vida útil, as especificações referentes à durabilidade devem ser também consideradas. Ressalta-se que, “quanto aos requisitos de segurança têm-se observado que, em geral, são satisfatoriamente atendidos, ao passo que as exigências de bom desempenho em serviço quanto à durabilidade têm sido muitas vezes deixadas em segundo plano” (BRANDÃO, 1999).

2.2.2 Edifícios habitacionais de até cinco pavimentos – Desempenho (NBR 15.575:2008)

Inicialmente a elaboração de um projeto de norma de desempenho previa criar padrões para aferir o desempenho apenas de inovações tecnológicas, que não dispunham de referencial normativo da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT); mas, rapidamente, os redatores

do texto-base e com a aprovação dos demais representantes do segmento da construção civil – produtores, consumidores e neutros - no Comitê Brasileiro da Construção Civil (COBRACON), ligado à Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) concluíram que o assunto ‘desempenho’ transcendia às inovações e abarcava todos os tipos de construção, fossem não convencionais, fossem convencionais. Então, a Norma ganhou uma amplitude inesperada, sendo até apelidada por alguns acadêmicos como a “Norma Mãe” da construção civil, pois seria a partir da obediência a ela que as demais normas iriam readaptar-se no futuro.

Outro fato relevante sobre a origem da citada Norma é que os conceitos de desempenho estão relacionados com a modernização do processo produtivo na construção civil brasileira. Tal modernização ganhou um corpo mais estruturado com a criação do Programa Brasileiro de Qualidade e Produtividade no Habitat (PBQP-H), em meados de 1990. O ponto chave nesse processo da criação do PBQP-H seria a elaboração de regras de desempenho a serem atendidas pelos produtos da construção, consolidadas em uma Norma Brasileira de Desempenho de Edifícios Habitacionais, cujo projeto se tornou realidade com a contratação da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) em 1999.

Quanto à atual limitação para edifícios de até cinco pavimentos indicada na Norma de Desempenho, originalmente o plano era mais amplo: abranger todas as tipologias. Contudo, por restrições socioeconômicas do País, o projeto inicial segmentou-se em até cinco pavimentos e mais de cinco pavimentos, em residencial, comercial e industrial, estes últimos não sendo tratados pela referida norma no atual momento.

No decorrer dos trabalhos da elaboração da Norma, os estudiosos envolvidos perceberam poucas diferenças nas exigências de desempenho entre edificações com 5 (cinco) e mais de 5 (cinco) pavimentos. Na prática, nos desempenhos quanto ao conforto térmico, ao conforto acústico, à durabilidade, à estanqueidade e outros, a Norma tende a ser aplicável para edificações com qualquer número de pavimentos, sejam edifícios de luxo, sejam habitações populares. Apenas em alguns quesitos relativos à segurança estrutural e à segurança ao fogo é que existem diferenças de exigências para prédios mais altos e mais baixos.

Deve-se ressaltar, como já citado, que a Norma de Desempenho, apesar de fomentada pela Caixa Econômica Federal (CAIXA), foi muito mais uma exigência do segmento técnico brasileiro ligado à construção habitacional, do que um plano da Empresa para garantir a qualidade dos imóveis que financia no País. Porém, deve-se registrar que a Caixa Econômica Federal (CAIXA) reconhece ser vantajoso para seus investimentos que existam regras claras sobre o desempenho das habitações brasileiras, pois usuário satisfeito em suas exigências quanto ao desempenho de suas unidades habitacionais significa a garantia do retorno dos financiamentos concedidos e o melhor cumprimento da função social dessa instituição pública.

A importância de uma Norma de Desempenho se faz maior no Brasil, pois não se dispõe no País de estatísticas consolidadas e amplas sobre quantos sistemas construtivos apresentam deficiências relativas ao tema. Pode-se dizer apenas que existem inconformidades por vícios construtivos ou patologias em diversos componentes e elementos nos sistemas produtivos, de forma esparsa.

O desempenho relativo às habitações foi, finalmente, condensado na nova Norma Brasileira de Desempenho de Edifícios Habitacionais, cuja nomenclatura oficial é: “Edifícios habitacionais de até cinco pavimentos – Desempenho”, sob identificação na ABNT como NBR 15.575:2008. A citada Norma é constituída de 6 (seis) partes, a saber:

- (A) Parte 1: Requisitos Gerais, que estabelece os requisitos e critérios de desempenho que se aplicam ao edifício habitacional de até cinco pavimentos, como um todo integrado, e que podem ser avaliados de forma isolada para um ou mais sistemas específicos. Esta parte da Norma pode ser utilizada como um procedimento de avaliação do desempenho de sistemas construtivos.
- (B) Parte 2: Requisitos para os sistemas estruturais, que estabelece os requisitos e critérios de desempenho que se aplicam ao sistema estrutural do edifício habitacional de até cinco pavimentos, como um todo integrado, e que podem ser avaliados de forma isolada para um ou mais sistemas estruturais específicos, considerando os estados-limites último e de serviço.
- (C) Parte 3: Requisitos para os sistemas de pisos internos, que estabelece os requisitos e critérios de desempenho aplicáveis a pisos internos de edifícios, de até cinco pavimentos, ou a sistemas de pisos. A Parte 3 não se aplica aos pisos industriais.

(D) Parte 4: Sistemas de vedações verticais externas e internas, que estabelece os requisitos para a avaliação de sistemas de vedações internas e externas de edifícios habitacionais de até cinco pavimentos ou de seus sistemas.

(E) Parte 5: Requisitos para sistemas de coberturas, que estabelece os requisitos e critérios de desempenho exigidos dos sistemas de coberturas para edifícios habitacionais de até cinco pavimentos. Alguns requisitos ou critérios, por questões essencialmente práticas, podem ser estendidos aos componentes dos sistemas de cobertura.

(F) Parte 6: Sistemas hidrossanitários, que estabelece os requisitos e critérios de desempenho exigidos aos sistemas hidrossanitários de edifícios de até cinco pavimentos. Os sistemas compreendidos no escopo da parte 6 são: sistemas prediais de água fria e de água quente; sistemas prediais de esgoto sanitário e ventilação; e sistemas prediais de águas pluviais.

Na Parte 1 da Norma estão indicados aspectos gerais relativos ao tema, como as exigências do usuário, as incumbências dos intervenientes, os conceitos básicos relativos à avaliação do desempenho habitacional e os textos normativos gerais para cada tipo de desempenho: estrutural, segurança contra incêndio, segurança no uso e na operação, estanqueidade, térmico, acústico, lumínico, durabilidade e manutenibilidade, saúde, higiene e qualidade do ar, funcionalidade e acessibilidade, conforto tátil e antropodinâmico e adequação ambiental.

Com relação à durabilidade, uma das vertentes do desempenho consideradas na NBR 15.575:2008, é tratada como uma exigência econômica do usuário, pois está associada ao custo global do bem imóvel. A durabilidade de um produto se extingue quando ele deixa de cumprir as funções que lhe foram atribuídas, quer seja pela degradação que o conduz a um estado insatisfatório de desempenho, quer seja pela obsolescência funcional. O período de tempo compreendido entre o início de operação ou uso de um produto e o momento em que seu desempenho deixa de atender às exigências do usuário pré-estabelecidas é denominado vida útil (ABNT NBR 15.575-1:2008).

O desempenho relativo à durabilidade, no texto geral apresentado na Parte 1 da NBR 15.575:2008, no item 14, é qualificado com um requisito e dois critérios para a sua análise.

Preliminarmente, para a continuidade da exposição do requisito e dos critérios estabelecidos quanto à durabilidade, é necessário explicitar o que é “exigência do usuário”, segundo a Norma de Desempenho: “é o conjunto de necessidades do usuário do edifício habitacional a serem satisfeitas por este (e seus sistemas), de modo a cumprir com suas funções” (ABNT NBR 15.575-1:2008).

Da mesma forma, a Norma explicita o que vem a ser “vida útil”. Esta é classificada como:

- (A) Vida útil (VU): período de tempo durante o qual o edifício (ou seus componentes ou elementos) mantém o desempenho esperado, quando submetido às atividades de manutenção predefinidas em projeto.
- (B) Vida útil de projeto (VUP): período estimado de tempo em que um sistema é projetado para atender aos requisitos de desempenho estabelecido na Norma, desde que cumprido o programa de manutenção previsto no manual de operação, uso e manutenção. É a vida útil requerida para o edifício ou para seus sistemas, preestabelecida na etapa de projeto.
- (C) Vida útil requerida (VUR): vida útil para atender às exigências do usuário, a ser estabelecida em projeto ou em especificações do desempenho.

Assim, o requisito geral previsto na Norma sobre a durabilidade versa sobre a manutenção da capacidade funcional do edifício e de seus sistemas durante a vida útil de projeto (VUP), desde que sejam realizadas as intervenções de manutenção preestabelecidas.

A análise desta Tese está ligada exatamente ao desempenho quanto à durabilidade através do único requisito e dos dois critérios elencados na Parte 1 e à Parte 4 da citada Norma, que no seu item 14 faz menção a um requisito e a um critério. As grandes partes relacionadas ao tema na Parte 1 da Norma são:

- (1) a parte normativa contida no corpo do texto, item 14 – “Durabilidade e manutenibilidade”, e
- (2) a parte informativa contida no seu Anexo C, denominado “Considerações sobre durabilidade e vida útil”.

Assim, quanto à Parte 1 da Norma, o requisito geral previsto no item 14 relativo à durabilidade versa sobre a capacidade funcional do edifício e de seus sistemas durante a vida útil de projeto (VUP), desde que sejam realizadas as intervenções de manutenção pelo usuário. No Anexo C é apresentada a conceituação dessa vida útil e indicada a necessidade da realização das manutenções pelo usuário, para que a vida útil de projeto (VUP) seja atingida, portanto, para que o requisito seja mantido.

Os dois critérios de desempenho indicados na Parte 1 da NBR 15.575:2008 são:

- (A) A vida útil, onde se indica que é no projeto que se fixa a vida útil (VUP) para cada um dos sistemas, não inferior aos estabelecidos em tabela própria. O método de avaliação é a análise do projeto, que especifica a vida útil para um dado sistema. Deve ser ressaltado que a Norma prescreve que o tempo a partir do qual se iniciam os prazos de vida útil deve ser sempre o da data de conclusão do edifício habitacional, a qual corresponde à data da expedição do Auto de Conclusão da Edificação, também conhecido como “habite-se”.
- (B) A durabilidade, onde se indica que deve ser compatível com a vida útil de projeto (VUP) preestabelecida (em projeto).

O método de avaliação para este critério pode ser realizado:

- (1) - através da verificação do cumprimento das exigências estabelecidas em Normas Brasileiras que estejam relacionadas com a durabilidade dos sistemas do edifício.
- (2) - pela comprovação da durabilidade dos elementos e componentes dos sistemas, bem como de sua correta utilização, conforme as Normas prescritivas a elas associados que tratam da especificação dos elementos e componentes, sua aplicação e métodos de ensaios específicos.
- (3) - na inexistência de Normas Brasileiras, através do cumprimento das exigências estabelecidas em Normas estrangeiras.
- (4) - por análise de campo do sistema através de inspeção em protótipos e edificações, que possibilite a avaliação da durabilidade por conhecimento das características do sistema obedecendo ao tempo mínimo de comprovação da durabilidade e considerando a vida útil pretendida.
- (5) - pela análise dos resultados obtidos em estações de ensaios de durabilidade do sistema, desde que seja possível comprovar sua eficácia.

Na Figura 2.1 é apresentado o gráfico do desempenho ao longo do tempo vinculado às manutenções necessárias para que a vida útil de projeto (VUP) atenda ao requisito quanto à durabilidade.

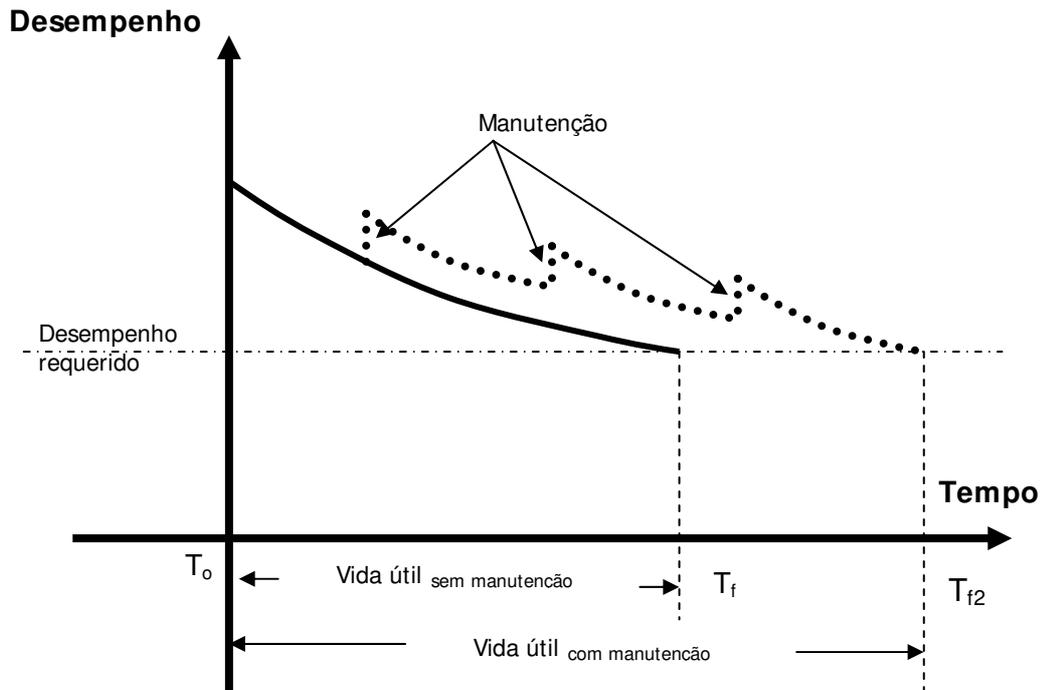


Figura 2.1 – Desempenho à durabilidade ao longo do tempo (Fonte: NBR 15.575-1:2008).

Assim, como citado, o presente trabalho seguiu o que está disposto no item 14, da Parte 1, da NBR 15.575:2008, quanto ao interstício mínimo de tempo para a comprovação da durabilidade do sistema construtivo sob estudo de caso, em pesquisa de campo, que a Norma define em 2 (dois) anos após a efetiva entrega da unidade habitacional (item 6.5.2 – Parte 1, NBR 15.575:2008).

Quanto à Parte 4 da NBR 15.575:2008, que trata do desempenho dos sistemas de vedações verticais externas e internas, no seu item 14 há expressa indicação em seguir ao que está disposto no Anexo C da Parte 1. O requisito apresentado nessa Parte 4 relaciona-se à vida útil de projeto (VUP), prescrevendo a manutenção da capacidade funcional e as características estéticas, ambas compatíveis com o envelhecimento natural dos materiais durante a vida útil de projeto (VUP). Também o único critério quanto ao desempenho ali mencionado faz menção à vida útil de projeto, que deve ser igual ou superior aos períodos especificados na Parte 1 da Norma,

ressaltando-se a importância das construções serem submetidas a manutenções preventivas e, sempre que necessário, a manutenções corretivas e de conservação previstas no manual de operação, uso e manutenção.

Especificamente à alvenaria, tanto a Parte 1 como a Parte 4 da NBR 15.575 tratam desse elemento em vários de seus textos e tabelas. A Parte 4, que trata exclusivamente dos sistemas de vedação, isto é, das alvenarias, traz considerações sobre o elemento nas diversas vertentes do desempenho. A Parte 1, mais genérica (requisitos gerais), no seu item 14 relativo à durabilidade faz menção explícita à vida útil de projeto (VUP) das vedações (Tabela 4) e no seu Anexo “C” faz indicações no mesmo sentido com mais detalhe.

2.3 Alvenaria

A vedação vertical pode ser entendida como sendo um subsistema (ou elemento) do edifício constituído por elementos que compartimentam e definem os ambientes internos, controlando a ação de agentes indesejáveis, entre os quais: intrusos, animais, ventos, chuva, poeira e ruído. Assim, a alvenaria é o elemento construído em obra através da união entre tijolos ou blocos por juntas de argamassa, formando um conjunto rígido e coeso. Este tipo da alvenaria, com componentes (blocos ou tijolos) unidos por juntas de argamassa, é o mais disseminado entre as habitações populares. Evidentemente há outros tipos de materiais que podem ser inseridos nas juntas dos componentes, como colas, ou simplesmente alvenarias com componentes num sistema de encaixe. No entanto, não foram apreciados quanto à durabilidade por não estarem incluídos no foco da presente pesquisa.

A palavra alvenaria deriva do árabe *al-bannā*, que significa “aquele que constrói”. Quando empregada apenas com a função de vedação, portanto não sendo dimensionada para resistir a cargas além de seu peso próprio, chama-se alvenaria de vedação (LORDSLEEM JUNIOR, 2001). É importante indicar que, ao longo da história, o processo de produção de edifícios habitacionais até o cenário atual relativo às alvenarias de vedação continua, em sua maioria, a ser o mesmo processo construtivo tradicional, que se mantém "baseado na produção

artesanal, com uso intensivo de mão-de-obra, baixa mecanização, com elevados desperdícios de mão-de-obra, material e tempo, dispersão e subjetividade nas decisões, descontinuidades e fragmentação da obra", como propõem Sabbatini et al. (1989).

Também historicamente, pode-se verificar que os sistemas estruturais onde as paredes funcionavam como elemento de sustentação sempre fizeram parte do cotidiano das construções. Desde a taipa, que necessitava de uma grande espessura de parede para cumprir sua função estrutural, até o desenvolvimento do tijolo maciço e do bloco de argila (cerâmico), a alvenaria sempre cumpriu uma função estrutural (ABCI, 1990). Inicialmente pesadas, espessas e rígidas, as alvenarias evoluíram para lâminas consideravelmente delgadas dos nossos dias. Como um alento que se vislumbra, há a tendência para que os produtos recebam a agregação de tecnologias industrializadas para os métodos de produção. E os componentes de alvenaria (blocos e argamassas, principalmente), por sua vez, têm sido desenvolvidos com a meta do uso de materiais de construção mais baratos, mais resistentes, mais duráveis e mais leves. No entanto, pode-se considerar que esta intenção ainda não se sobrepõe ao uso dos métodos tradicionais anteriormente mencionados, especialmente no segmento dos empreendimentos para populações de baixa renda.

Quanto ao tipo de alvenaria, atualmente o sistema mais empregado no Brasil, seja com unidades cerâmicas ou de concreto, é aquela para estrutura reticulada de concreto (estruturação do edifício com vigas e pilares), portanto, alvenaria de vedação. Também muito disseminada em empreendimentos populares está o uso de blocos de vedação em alvenarias com funções autoportantes.

Por fim, os parâmetros mais importantes numa alvenaria constituída de blocos cerâmicos, são: a resistência mecânica⁵ e o módulo de elasticidade⁶. Estes parâmetros são afetados pelas características mecânicas dos materiais constituintes mais relevantes da alvenaria: o bloco e a argamassa de assentamento. Cada um desses materiais constituintes é discutido,

⁵ **Resistência mecânica:** é a resistência que diz respeito à capacidade da alvenaria em suportar as tensões de tração, compressão ou de cisalhamento às quais pode estar sujeita. Os esforços que geram essas tensões provêm de cargas estáticas ou dinâmicas decorrentes do tipo de uso da edificação e das solicitações decorrentes de fenômenos térmicos ou climáticos que, por sua vez, dependem das condições de exposição das superfícies.

⁶ **Módulo de elasticidade:** é definido como a relação entre a tensão normal e a correspondente deformação. Também é denominado de Módulo de deformação.

respectivamente, nos subitens 2.3.1, 2.3.2 e, também o *graute* (utilizado no sistema sob análise), sob o item 2.3.3.

2.3.1 Blocos cerâmicos

Preliminarmente, a definição de “cerâmica” compreende todos os materiais inorgânicos, não metálicos, obtidos geralmente após tratamento térmico em temperaturas elevadas. A classificação do setor cerâmico é amplo e heterogêneo o que normalmente faz com que seja dividido em segmentos em função de fatores como matérias-primas, propriedades e áreas de utilização. Dessa forma, a seguinte classificação, em geral, é adotada. Com relação à cerâmica vermelha, matéria-prima dos blocos de vedação compreende os materiais com coloração avermelhada empregados na construção civil (tijolos, blocos, telhas, elementos vazados, lajes, tubos cerâmicos e argilas expandidas) e os utensílios de uso doméstico e de adorno (ABCERAM, 2008).

Os blocos cerâmicos são componentes construtivos utilizados em alvenaria (vedação, estrutural ou auto-portante). Apresentam furos de variados formatos, paralelos a qualquer um dos seus eixos. “São normalmente produzidos com argilas ricas em ferro ou álcalis, de granulometria fina e contendo alto teor de matéria orgânica” (MATTOS, 1988).

São dois os tipos de blocos cerâmicos utilizados na construção civil, produzidos no Brasil:

(1) Bloco de Vedação: aqueles destinados à execução de paredes que suportarão o peso próprio e pequenas cargas de ocupação (armário, pias, lavatórios, etc.), geralmente utilizados com furos na horizontal e com atual tendência ao uso com furos na vertical. Segundo a Norma Brasileira NBR 15270, Parte 1, a definição de bloco cerâmico de vedação é a seguinte: “componente da alvenaria de vedação que possui furos prismáticos perpendiculares às faces que os contém” (NBR 15.270-1, item 3). Na Figura 2.2 está demonstrado o bloco cerâmico de vedação, com furos na horizontal.

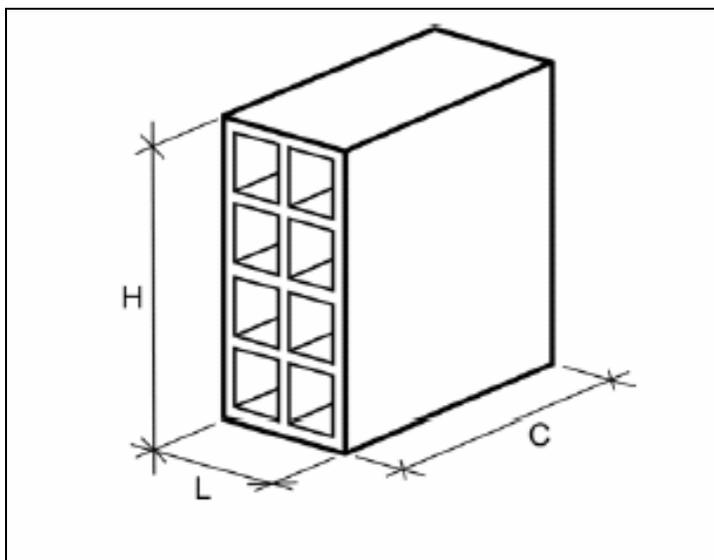


Figura 2.2 – Bloco cerâmico de vedação com furos na horizontal (Fonte: NBR 15270-1).

(2) Blocos Estruturais ou Auto-Portantes: aqueles que além de exercerem a função de vedação, também são destinados à execução de paredes que constituirão a estrutura resistente da edificação (podendo dispensar os pilares e vigas do edifício). Estes blocos são utilizados com os furos sempre na vertical.

Na Figura 2.3 está demonstrado o formato mais usual do bloco cerâmico estrutural, com furos na vertical.

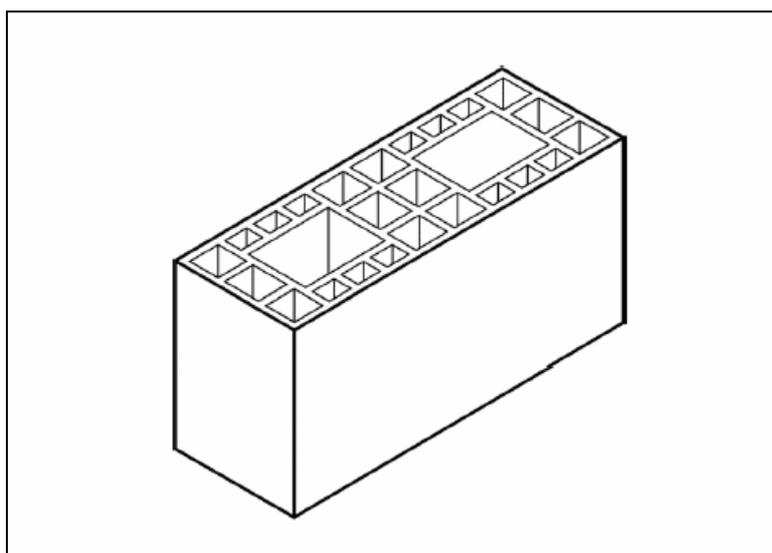


Figura 2.3 – Bloco cerâmico estrutural com furos na vertical (Fonte: NBR 15270-2).

Os blocos cerâmicos, segundo a antiga NBR 7171:1993, substituída em 2.005 pela NBR 15.270:2005 eram classificados conforme está indicado na Tabela 2.2:

Tabela 2.2 – Classe dos Blocos cerâmicos segundo a resistência esperada - antiga NBR 7171:1993 (Fonte: NBR 7171:1993).

<i>Classe</i>	<i>Resistência característica f_{ck} (MPa)</i>	<i>Uso</i>
1	1,0	Alvenaria de vedação.
2	2,0	Alvenaria de vedação.
10	10,0	Alvenaria estrutural (portante)

Quanto à correlação com a resistência à compressão e a resistência à tração de uma parede, Drysdale et al. (1994) apontam “os blocos como os principais componentes que determinam estas características. A resistência das unidades da alvenaria (blocos) é o principal fator condicionante da resistência da alvenaria. Porém, cabe ressaltar que o aumento da resistência dos blocos não resulta em incrementos proporcionais de resistência da alvenaria como um todo, isto é, não há proporcionalidade linear entre o incremento da resistência das unidades da alvenaria (blocos) com o incremento da resistência da alvenaria. Dessa forma, o fator de eficiência da alvenaria, ou seja, a razão entre a resistência da parede e a resistência dos blocos, diminui com o acréscimo da resistência da unidade (bloco)”. Assim, os blocos eram classificados conforme a resistência característica referencial, esperada para as unidades da alvenaria. Quanto aos valores de coeficientes de eficiência⁷ determinados por pesquisas realizadas na Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (EPUSP) (VILATÓ & FRANCO, 2000), “pode-se indicar que a faixa de variação deste parâmetro está entre 15 e 40 % para o bloco cerâmico”. Uma outra observação, segundo os citados autores, “é que para a alvenaria cerâmica o coeficiente tem uma queda considerável na medida que aumenta a resistência do bloco”. A importância do coeficiente de eficiência consiste na possibilidade que este oferece de estimar a resistência da parede a partir da resistência do bloco.

⁷ *Coefficiente de eficiência*: resistência à compressão da parede / resistência à compressão do bloco (VILATÓ & FRANCO, 2000).

Quanto ao tipo de uso dos blocos numa edificação, há longo tempo estes vêm sendo utilizados como elementos de vedação e de estrutura. O advento e o aumento da aplicação das estruturas metálicas no século XIX e do concreto armado no início do século XX afastaram os blocos do seu papel estrutural, até então majoritário. Na atualidade, fundamentalmente, a maior função dos componentes de alvenarias tem sido a de vedação.

No entanto, blocos de vedação também têm sido utilizados em pequenas estruturas leves auto-portantes, sem respaldo adequado na normalização nacional. No sistema de lajes pré-fabricadas (lajota/vigota), os blocos cerâmicos de vedação têm tido maior uso decorrente da economia obtida nas formas e no tempo de execução, pela redução de cargas estáticas nas estruturas e nas fundações. Os blocos de vedação tendem modernamente a serem substituídos por elementos mais elaborados industrialmente, tais como, plásticos, chapas de aglomerados, chapas de fibrocimento, blocos leves de gesso ou concreto celular. Nas construções não-convencionais populares de baixo custo têm sido substituídos pelas técnicas de solo-cimento.

Os materiais cerâmicos são obtidos hoje a partir de matérias-primas beneficiadas e materiais sintéticos de características controláveis. Por meio de processos adequados ocorrem alterações sensíveis do ponto de vista químico nas propriedades destes materiais. Esta seqüência de etapas consiste em provocar reações físico-químicas sob temperaturas elevadas, com o objetivo de serem obtidas certas propriedades desejadas (mecânicas e térmicas)⁸.

Uma característica relevante dos produtos cerâmicos é a fragilidade do material e a conseqüente possibilidade da fratura com pequena ou sem nenhuma deformação. Como resultado desta característica, o material cerâmico não pode ser conformado por processos normais de deformação utilizados para os metais.

⁸ **Propriedades mecânicas:** (1) **Módulo de Elasticidade** – maior que outros materiais, de 5×10^{10} , devido à força das ligações interatômicas; (2) **Resistência à Compressão** elevada por ser um material não dúctil, comportamento esse diretamente relacionado às suas forças interatômicas; (3) **Resistência à Tração** que varia conforme as falhas existentes na microestrutura (poros, cantos de grãos, microfissuras) onde se concentram tensões a partir das quais as trincas podem se propagar quando submetidas a esforços; dureza elevada e alta resistência à temperatura, o que o torna material abrasivo. É uma propriedade devida às fortes ligações interatômicas; **Propriedades térmicas:** (1) **Dilatação Térmica**, que varia conforme sua energia interna. O coeficiente de dilatação térmica é maior para temperaturas elevadas; e a (2) **Transmissão de Calor**, medida pelo coeficiente total de transmissão de calor, regido pela equação $Q = KS\Delta t$, em kcal/h. Q = calor transmitido (kcal), S = superfície do material (m^2), K = coeficiente total de transmissão de calor ($kcal/m^2 \cdot h \cdot ^\circ C$) e Δt = diferença de temperatura entre os dois meios ($^\circ C$). Quanto maior o K, maior o calor transmitido.

A obtenção de produtos de cerâmica estrutural ocorre por meio de quatro fases seqüenciais bem definidas: (a) preparação da matéria-prima; (b) conformação; (c) tratamento térmico, e (e) acabamento / controle.

O processo utilizado de fabricação das unidades de alvenaria (blocos) segue basicamente a mesma estrutura de fabricação das demais indústrias, em sua maioria. Porém muitos fornecedores ainda utilizam processos e equipamentos rudimentares e outros fornecedores já passaram a utilizar processos e equipamentos mais modernos.

2.3.2 Argamassas

As argamassas de assentamento e de revestimento inicialmente eram constituídas da mistura de cal e areia. Com o advento do cimento Portland as argamassas sofreram uma evolução e, com a adição desse produto, conseguiram ter sua resistência aumentada e a aderência às bases onde eram aplicadas foi melhorada, já nas primeiras idades.

Atualmente, de acordo com a NBR-7200:2008, define-se argamassa “como uma mistura de aglomerantes e agregados com água, o que faz com que possuam uma capacidade de endurecimento”. Exemplos típicos de argamassas são aquelas compostas por areia natural lavada, cimento Portland e cal hidratada. Neste sentido, são denominadas de argamassas de cimento, de cal e mistas. Conforme Bedin (2002), “a principal função da argamassa é ser um adesivo que une os blocos, servindo para transferir esforços entre eles e acomodar pequenas deformações do conjunto, o que torna a resistência secundária”.

Em alvenarias são utilizadas argamassas de cimento e areia para chapisco, em virtude de sua alta resistência e capacidade de endurecimento em curto prazo; argamassas de cal são empregadas em emboço e/ou reboco, devido a sua maior plasticidade, elasticidade e condições favoráveis de endurecimento; características que proporcionam um acabamento plano e regular.

Já as argamassas mistas, constituídas de cimento, cal e areia, são utilizadas para o assentamento de blocos, nos revestimentos cerâmicos e em emboço de forro e parede. Uma vez que a argamassa de cimento apresenta maior resistência mecânica e difícil trabalhabilidade, adiciona-se cal para deixá-la com melhor trabalhabilidade⁹ (plasticidade¹⁰, elasticidade¹¹ e endurecimento mais lento). A influência da cal sobre a consistência e a trabalhabilidade das argamassas provém das condições de coesão interna que a mesma proporciona, em função da diminuição da tensão superficial da pasta aglomerante e da adesão ao agregado. A estabilidade plástica das argamassas origina-se da coesão interna desta (CINCOTTO et al, 1995).

Quanto à resistência, além da resistência dos blocos que compõe a alvenaria, é importante salientar a contribuição da argamassa de revestimento na resistência à compressão das paredes. Um experimento executado por Bauer (2007) mostrou que durante o ensaio de prismas, “aqueles não revestidos tiveram um rompimento brusco, enquanto os revestidos com 2,0 cm de espessura apresentaram primeiramente ruptura dos septos horizontais e por último os septos ligados à argamassa de assentamento. Posteriormente houve o colapso da capa de revestimento”.

Segundo Fiorito (1994), “no que se refere à quantidade de vazios na argamassa, o modo de aplicação influencia diretamente nessa característica, devido ao adensamento na aplicação da argamassa fresca. Esta variação na quantidade de vazios influencia também a qualidade da mesma”. O citado autor enfatiza que, “conforme a posição do revestimento, o pedreiro é obrigado a adensar mais a argamassa durante a sua aplicação; por exemplo, quando é aplicada no emboço de um forro. Porém, quando utilizada no emboço de uma parede ou contrapiso, esses cuidados diminuem, produzindo grande número de vazios”.

⁹ **Trabalhabilidade:** relaciona-se principalmente à consistência. Significa em termos práticos a facilidade de manuseio, por parte do agente que prepara e aplica a massa. Há indicação de que a trabalhabilidade é alterada de forma positiva à medida que decresce o módulo de finura do agregado. Com relação ao aglomerante (cal), a prática tem demonstrado que sua utilização repercute favoravelmente na trabalhabilidade em virtude de sua maior finura. Porém, deve-se verificar posteriormente a influência do teor desse aglomerante nas demais propriedades. Há maior retenção de água na massa, assim como quando se utiliza cimento que possui igualmente uma maior finura.

¹⁰ **Plasticidade:** é a resistência à deformação da argamassa fresca. Pode ser determinada através da energia necessária para deformar uma amostra de tamanho definido, proposto por normas prescritivas.

¹¹ **Elasticidade:** é a capacidade que a argamassa apresenta em se deformar sem que ocorra ruptura, retornando às suas dimensões originais, quando cessam as solicitações que lhe são impostas. É uma propriedade que determina a ocorrência de fissuras no revestimento e, dessa forma, influi sobre o grau de aderência da argamassa à base e, conseqüentemente, sobre a estanqueidade da superfície e sua durabilidade.

As argamassas de revestimento na edificação devem apresentar algumas condições básicas a serem atendidas, como, por exemplo, a baixa permeabilidade à água e adequada resistência mecânica quando endurecidas. “O completo entendimento das características e propriedades que determinam o desempenho da argamassa no sistema de revestimento requer o conhecimento do modo como as condições de produção, de exposição e da ação dos usuários influem no desempenho do revestimento” (CINCOTTO, 1995).

Para o desempenho adequado do conjunto revestimento (argamassa) mais base (blocos) de uma alvenaria, é preciso distinguir 3 (três) etapas que influenciam as características da argamassa do conjunto:

- (A) o seu preparo e o período em que se encontra no estado fresco;
- (B) o período após a aplicação sobre a base (blocos) em que a argamassa encontra-se em endurecimento;
- (C) o período de uso da edificação em que o revestimento (argamassa endurecida) sofre os efeitos da ação dos usuários e das condições de exposição (meio ambiente).

As propriedades da argamassa no estado fresco, que vão impactar no desempenho futuro do revestimento, são: (1) consistência¹² e retenção de consistência, (2) coesão¹³, (3) tixotropia¹⁴, (4) plasticidade¹⁵, (5) retenção de água¹⁶, (6) massa específica¹⁷, (7) conteúdo de ar incorporado¹⁸, (8) adesão inicial¹⁹ e (9) trabalhabilidade.

¹² **Consistência:** é a propriedade da argamassa pela qual esta tende a resistir à deformação e, **a manutenção da consistência com o tempo** diz respeito à capacidade da argamassa manter essa tendência ao longo do tempo de aplicação. É pela consistência que se classificam as argamassas: secas, plásticas ou fluídas, existindo um sentido crescente de valores da consistência da argamassa seca para a fluida. Está baseada na situação da película da pasta que envolve os grãos do agregado. A consistência está diretamente vinculada pelo conteúdo de água, segundo os fatores: relação água/aglomerante, relação aglomerante/areia, granulometria da areia e natureza e qualidade do aglomerante.

¹³ **Coesão:** refere-se às forças físicas de atração existentes entre as partículas sólidas da argamassa e às ligações químicas da pasta aglomerante.

¹⁴ **Tixotropia:** é a propriedade pela qual um material sofre transformações isotérmicas reversíveis, do estado sólido para o estado de gel. O estado gel, em argamassas, diz respeito à massa coesiva na pasta, mais densa após a hidratação.

¹⁵ **Plasticidade:** é a propriedade pela qual a argamassa tende a reter a deformação, após a redução do esforço de deformação. É uma das propriedades, em conjunto com a consistência, que caracteriza a trabalhabilidade, sendo que a avaliação dessa propriedade ocorre em conjunto com a consistência. É influenciada pelo teor de ar, natureza e teor do aglomerante e pela intensidade de mistura das argamassas.

As propriedades da argamassa no estado endurecido são: (1) resistência mecânica, (2) resistência ao fogo, (3) resistência ao ataque por sulfatos ou outros ataques químicos, (4) capacidade de deformação, (5) retração, (6) aderência, (7) permeabilidade, (8) condutividade térmica e (9) elasticidade ou capacidade de deformação.

As propriedades da argamassa no período de uso são: (1) durabilidade, (2) resistência ao congelamento e (3) resistência ao ataque por sulfatos ou outros ataques químicos.

Considerando o foco desta pesquisa quanto ao desempenho à durabilidade das alvenarias, é dada ênfase à propriedade da argamassa no seu período de uso. A durabilidade do revestimento não se constitui em uma única propriedade com mecanismos próprios, mas no resultado da ação conjunta de uma série de propriedades e fatores externos que caracterizam a capacidade do revestimento em desempenhar as funções para as quais foi especificado, ao longo da vida útil da edificação. “Os mecanismos de degradação que comprometem a durabilidade consistem numa seqüência de alterações químicas, mecânicas ou físicas que podem levar a alterações prejudiciais em uma ou mais propriedades” (MASTERS, 1989).

A durabilidade não se configura como um atributo específico de determinado material já que a mesma argamassa desempenhando a função de revestimento, por exemplo, em condições

¹⁶ **Retenção de água:** é a capacidade da argamassa fresca em manter sua consistência ou trabalhabilidade quando sujeita a solicitações que provocam perda de água (evaporação, sucção, absorção pelo componente – bloco). As argamassas de cal apresentam características favoráveis de retenção de água pela elevada superfície específica da cal e pela grande capacidade de adsorção de seus cristais (até 100% de seu volume).

¹⁷ **Massa específica:** refere-se ao volume do material sólido, não sendo considerados os vazios, constituindo-se na relação entre a massa do material sólido no vácuo e o volume a uma temperatura estabelecida. Quando o volume do material sólido inclui vazios impermeáveis, a massa específica é denominada massa específica aparente. A massa unitária constitui-se na massa do material que ocupa um recipiente com capacidade unitária. A massa unitária depende do adensamento conferido ao material e depende da forma e distribuição de tamanho das partículas, relacionando-se com a distribuição granulométrica da areia.

¹⁸ **Conteúdo de ar incorporado:** tem influencia sobre a resistência de aderência dos revestimentos, o que limita a dosagem de aditivos incorporadores de ar. O teor de ar é inversamente proporcional ao teor de aglomerante.

¹⁹ **Adesão inicial:** é a propriedade que caracteriza o comportamento futuro do conjunto base-revestimento quanto ao desempenho decorrente da aderência. Depende das características da trabalhabilidade da argamassa, quanto das características de porosidade ou rugosidade da base ou de tratamento prévio que aumente a superfície de contato entre os materiais.

de exposição distintas e aplicada em edificações com projetos diferentes, apresentará durabilidade também distinta.

Dentre as exigências essenciais atribuídas a uma alvenaria de fachada, por exemplo, a permeabilidade à água é a que se relaciona mais diretamente ao desempenho do revestimento, resultado de um conjunto de propriedades da argamassa no estado endurecido. O desempenho do revestimento com relação a este aspecto essencial está ligado às seguintes propriedades da argamassa:

- ❖ aderência;
- ❖ retração;
- ❖ permeabilidade;
- ❖ resistência mecânica;
- ❖ resistência ao congelamento.

A quantificação da durabilidade é tarefa extremamente difícil para a avaliação da maioria dos materiais e componentes diante dos fatores intervenientes. Mesmo os ensaios de durabilidade existentes são insuficientes para avaliar a durabilidade quantitativamente. “Os ensaios de laboratório utilizados para suprir essa dificuldade consistem na previsão da vida útil do material, componente, elemento ou sistema e na determinação do comportamento da função desempenho versus tempo” (JOHN, 1987).

Assim, a durabilidade da argamassa de revestimento está vinculada às suas propriedades mencionadas, à ação dos agentes degradantes, às condições de exposição que determinam tal ação e às decisões tomadas ao longo do processo de produção, uso e manutenção da edificação (CINCOTTO et al., 1995).

2.3.3 Graute

O *graute* é um microconcreto de alta plasticidade, constituído de cimento, adições, agregados e água, cuja função principal é aumentar a resistência da parede à compressão, através

de complementação da seção transversal do bloco. Conforme Vilató & Franco (2000), “as características particulares do *graute* consistem na necessidade de especificar uma dimensão característica máxima do agregado de 9,5 mm e um fator água / cimento na faixa de 0,85 a 0,90, para permitir o enchimento completo dos vazios”. Quando combinado com o uso de armaduras em seu interior, o *graute* combaterá também os esforços de tração. Não se trata de concreto magro, que tem outra definição. O concreto magro é um concreto simples, com menos cimento. Este é mais econômico, porém só deve ser usado em partes de uma construção que não vai exigir boa resistência e impermeabilidade. O *graute* é um microconcreto que serve para preencher as cavidades dos blocos onde são acomodadas as armaduras verticais e as amarrações das paredes através de grampos. Numa alvenaria, serve para suprir as deficiências locais da argamassa de assentamento ou dos blocos.

O *graute* é mais utilizado em alvenarias sob o regime estrutural. Nas alvenarias de vedação normalmente não é aplicado, exceto quando estas, na prática, vão funcionar com as características de auto-portante em pequenas edificações, ainda sem normalização quanto à adequabilidade desse procedimento.

Conforme a NBR 10.837 (ABNT NBR 10.837:1989), o *graute* deve ter sua resistência característica duas vezes maior que a resistência do bloco. E sob o aspecto da produtividade da alvenaria, a operação de *grauteamento* diminui o ritmo da produção, por isso é desejável que se procure reduzir ao mínimo necessário o uso do *graute*, o que vai também gerar economia de material nas alvenarias com função estrutural. Nas alvenarias de vedação não se costuma utilizar *graute*, em que pese na prática façam do seu uso limitado aos pilaretes, vergas, contra-vergas e cintas nas construções que utilizam os blocos de vedação com funções auto-portante. Uma observação importante, especialmente para os sistemas construtivos que utilizam blocos de vedação, “é de que não se recomenda confundir o *graute* com pilaretes convencionais, uma vez que sua função não é trabalhar como pilares” (MANZIONE, 2004).

2.4 Condições climáticas, comportamento e patologias

O globo terrestre apresenta variações climáticas decorrentes de interações entre a atmosfera e a superfície influenciadas pela latitude e altitude, que são coordenadas que determinam a posição geográfica de cada região, e em consequência disso também é possível definir a insolação diária incidente de cada local (MASCARÓ, 1991), a direção dos ventos e a incidência de chuvas. Essas interações da atmosfera e a superfície terrestre influenciam todas as intervenções humanas no planeta, também as habitações e, particularmente, as alvenarias que as constituem. O comportamento de uma alvenaria frente às condições climáticas vai determinar a ocorrência, ou não, de determinadas patologias. Com maior ou menor intensidade. Disso poderá depender a viabilização de um determinado empreendimento, executado num sistema construtivo, que deve apresentar um desempenho adequado segundo as expectativas dos usuários, conforme preceitua a NBR 15.575:2008.

2.4.1 Condições climáticas

Para Evans et al. (1980), “a atmosfera terrestre reflete, dispersa e absorve uma parte da radiação emitida pelo sol”. Essa radiação emitida pelo sol se dispersa e/ou é absorvida na atmosfera. Na Figura 2.4 demonstram-se esquematicamente as situações da radiação solar incidente na atmosfera terrestre.

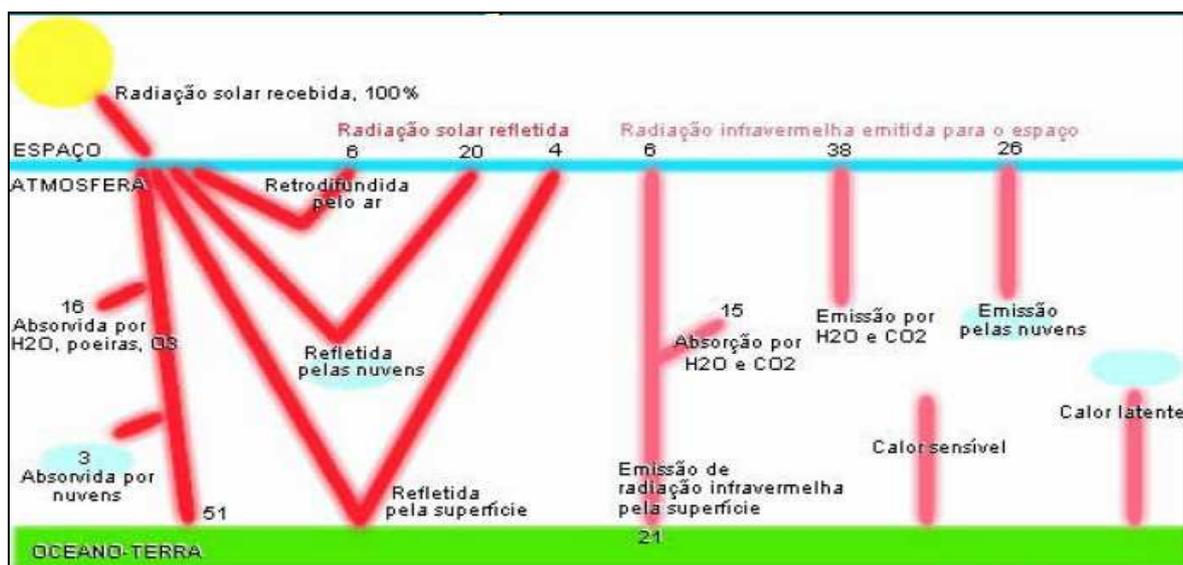


Figura 2.4 – Radiação solar incidente sobre a atmosfera terrestre (Fonte: LABAKI, 2005).

A radiação solar é a grande responsável pelo que chamamos de características climáticas: gradiente de temperatura, “o qual diminui, normalmente, com o aumento da altitude” (SOUZA, 1996), zonas de alta e baixa pressão (ventos) e evaporação e condensação do vapor d’água, regulando o regime de chuvas nos variados locais do planeta. Estas características climáticas, variáveis conforme o relevo (altitude) e sua posição (latitude) no planeta são usualmente denominadas e classificadas por “Zonas Climáticas”.

Uma característica importante de cada zona climática está ligada à capacidade do ar de conter vapor d’água com o aumento da sua temperatura (GIVONI, 1994). Outra característica ligada ao clima está relacionada com a umidade relativa do ar (UR). Esta é a proporção entre o vapor d’água em um certo volume de ar e a quantidade de água necessária para que este volume contenha o máximo de vapor possível. Quando a umidade relativa for igual a 100%, podemos dizer que o ar está saturado. Caso a proporção de vapor de d’água seja maior do que a capacidade de retenção do ar, o ponto de saturação é rapidamente atingido e a saturação quando acompanhada da queda de temperatura provoca a condensação, pois o ar passa a ter menor capacidade de retenção de vapor d’água, acarretando a produção de orvalho sobre superfícies mais frias (SOUZA, 1996). O vapor d’água está distribuído na atmosfera segundo o movimento do ar e está diretamente ligado ao aquecimento diferenciado da superfície nas diferentes zonas de pressão atmosférica. A circulação do ar tem características regionais específicas que podem predominar conforme a inter-relação dos componentes climáticos locais (SOUZA, 1996).

Quanto aos ventos, há movimento da massa de ar da região de maior pressão para a de menor pressão e o ar quente é menos denso que o ar frio, conseqüentemente a pressão é menor quando a temperatura do ar é maior (KOEPPEN, 1948).

Assim, uma edificação construída e em uso num determinado local, vai receber, conseqüentemente, as influências das características climáticas ali existentes. Essas características climáticas próprias, dependentes da radiação solar, da temperatura, da umidade e do movimento do ar (ventos), são as que mais interferem numa determinada região e nas construções ali existentes (e nos seus elementos construtivos e respectivos componentes).

O Brasil possui um zoneamento bioclimático constituído de 8 (oito) zonas, normalizado na NBR 15.220:2005 (ABNT NBR 15.220:2005), que apresentam recomendações que impactam na execução de habitações, em especial as de interesse social. No ANEXO G estão as classificações bioclimáticas a nível nacional, conforme a citada NBR 15.220, e ao nível do Estado de São Paulo, segundo Koeppen.

2.4.2 Interações da alvenaria com o meio ambiente

As manchas, as fissuras e as desagregações nos revestimentos provocadas pela umidade nas fachadas são as manifestações patológicas mais freqüentes. Também o gradiente de temperatura pode influenciar no aparecimento de patologias decorrente da dilatação térmica dos diversos materiais que constituem a alvenaria, todos com coeficientes de dilatação diferentes entre si. Segundo Nappi (1996), “essas anomalias aceleram o processo de deterioração dos materiais presentes ocasionando condições de insalubridade e, conseqüentemente, gerando um desconforto aos seus usuários de uma habitação”. Uemoto (1988) acrescenta a tais aspectos negativos “a desvalorização do imóvel causada pela alteração do aspecto estético desencadeada pelo fenômeno”.

Considerando, pois, que as patologias mais freqüentes são aquelas provocadas pela umidade, especial atenção deve ser dada à interação desta com as alvenarias. Esses defeitos geram problemas bastante graves e de difíceis soluções, tais como:

- ❖ Prejuízos de caráter funcional da edificação;
- ❖ Desconforto dos usuários e em casos extremos os mesmos podem afetar a saúde dos moradores;
- ❖ Danos em equipamentos e bens presentes nos interiores das edificações; e
- ❖ Diversos prejuízos financeiros.

Para Argillés (1999), “analisar os problemas que a umidade causa às alvenarias de fachada das habitações exige que se entenda como a água, em seus diversos estados (líquido, sólido e gasoso), tende a penetrar, a mover-se e a reagir no exterior e no interior dos componentes

de um revestimento”. O citado autor enfatiza “que a água possui propriedades que a tornam o principal agente de deterioração de materiais”. Isso pode ser atribuído à habilidade de dissolução de substâncias em contato com a água, à capacidade de penetração em cavidades ou em poros extremamente finos e, finalmente, por ela possuir maior temperatura de evaporação dentre os líquidos comuns, permanecendo no interior dos materiais no estado líquido por mais tempo.

2.4.2.1 Mecanismo de transporte da umidade

Nappi (1997) esclarece que “o transporte de água na edificação é o fenômeno pelo qual essa substância - seja em estado líquido, seja em vapor - movimenta-se no interior dos poros dos materiais”. Esse processo, todavia, é influenciado pelo tipo e pelo tamanho de poros e fissuras presentes no revestimento. Assim, para ocorrer esse fenômeno é imprescindível a existência de poros abertos ou fissuras no material que permitam a penetração das moléculas de água.

No mesmo sentido, Argillés (1999) reforça que “o transporte de vapor de água pelo interior dos poros de um material poroso se dá pela difusão, decorrente da diferença de pressão de vapor entre regiões do material, sendo que o fluxo ocorre da maior para a menor pressão, até ocorrer o equilíbrio entre elas”. O transporte de água em forma líquida pelo interior de um material poroso se dá pela capilaridade: efeito da atração que a água exerce no interior dos poros interligados existentes em um material.

Todos os materiais porosos possuem um determinado teor de umidade, quer no estado líquido, quer no gasoso. Quando há variação no teor de umidade ocorrem tensões internas: a expansão volumétrica, quando o teor de água é aumentado, e a retração, quando há uma redução do teor de água pela sua evaporação. Os fenômenos de expansão e de retração, chamados de movimentação higroscópica, podem resultar, com o passar do tempo e na intensidade da ação, na fadiga do material.

Segundo Freitas (1992), “no estado líquido o transporte ocorre condicionado à capilaridade, à gravidade e aos gradientes de pressão. Já no estado gasoso, a transferência se dá em decorrência da difusão e de movimentos convectivos. Os mecanismos que fundamentam a

maioria das situações em que ocorre o movimento de água no interior dos materiais porosos são a absorção, a condensação e a capilaridade”.

E segundo Argillés (1999), “o transporte de moléculas de vapor de água no ar em movimento se denomina *convecção*, e constitui o modo natural e mais eficaz da saída da umidade de locais úmidos”.

2.4.2.2 Umidade nas construções

Os problemas de umidade podem se manifestar em diversos elementos das edificações – paredes, pisos, fachadas, elementos de concreto armado, etc. Geralmente eles não estão relacionados a uma única causa. Segundo Verçoza (1991) “a umidade não é apenas uma causa de patologias, ela age também como um meio necessário para que grande parte das patologias em construções ocorra. Ela é fator essencial para o aparecimento de eflorescências, ferrugens, mofo, bolores, degeneração das pinturas, de rebocos e até a causa de acidentes estruturais”. Por isso, estas inúmeras causas e manifestações de umidade e a frequência de ocorrência da mesma tornam um estudo mais aprofundado sobre ela necessário.

Segundo Thomaz (1989), “a umidade pode ter acesso aos materiais de construção através de diversas vias”, quais sejam:

- umidade resultante da produção dos componentes: durante a fabricação de componentes construtivos à base de ligantes hidráulicos emprega-se geralmente uma quantidade de água superior à necessária para que ocorram as reações químicas de hidratação. A água em excesso permanece em estado livre no interior do componente e, ao evaporar, provoca a contração do material (THOMAZ, 1989).

- umidade proveniente da execução da obra: é usual umedecer componentes de alvenaria no processo de assentamento, ou mesmo painéis de alvenaria que receberão argamassas de revestimento. De fato, esta prática é correta, pois visa impedir a retirada brusca de água das argamassas, o que prejudicaria a aderência com os componentes de alvenaria ou mesmo as reações de hidratação do cimento. Ocorre que nesta operação de umedecimento pode-se elevar o

teor de umidade dos componentes de alvenaria a valores superiores à umidade higroscópica de equilíbrio, resultando em uma expansão do material. A água em excesso, a exemplo do que foi dito anteriormente, tenderá a evaporar-se, provocando uma contração do material (THOMAZ, 1989).

- umidade do ar: o material poderá absorver água da chuva antes mesmo de ser utilizado na obra, durante o transporte até à obra ou por armazenagem desprotegida no estaleiro. Durante a vida da construção, as faces de seus componentes voltadas para o exterior poderão absorver quantidades consideráveis de água da chuva. Também a umidade presente no ar pode ser absorvida pelos materiais de construção, quer sob a forma de vapor, quer sob a de água líquida (condensação do vapor sobre as superfícies mais frias da construção) (THOMAZ, 1989).

- umidade do solo: a água presente no solo poderá ascender por capilaridade à base da construção, desde que os diâmetros dos poros capilares e o nível do lençol de água assim o permitam. Não havendo impermeabilização eficiente entre o solo e a base da construção, a umidade terá acesso aos seus componentes, podendo trazer sérios inconvenientes a pisos e paredes do andar térreo (THOMAZ, 1989).

De modo semelhante, Verçoza (1991) menciona, também, uma classificação quanto à presença da umidade nas construções. Segundo o citado autor a umidade nas construções aparece principalmente:

- ❖ Durante a execução da obra;
- ❖ Por capilaridade;
- ❖ Pela ação das chuvas; e
- ❖ Por vazamentos em redes hidráulicas.

a) Durante a execução da obra

A umidade decorrente da execução de uma construção vem principalmente de concretos e argamassas, bem como da prática de se umedecer os componentes da alvenaria durante o assentamento dos blocos, ou ainda, os painéis para receber a argamassa do revestimento. Esse procedimento visa impedir a retirada brusca da água existente nas argamassas a serem aplicadas,

o que evita problemas de aderência desta com a base (blocos dos painéis) ou reações de hidratação do cimento. Nessa operação de umedecimento pode causar o teor de umidade dos componentes da alvenaria a um patamar acima da umidade higroscópica de equilíbrio, originando uma expansão do material. A água em excesso tenderá a evaporar, provocando uma contração do material.

b) Por capilaridade

Em se tratando da umidade por capilaridade, trata-se da ascensão da umidade do solo úmido (umidade ascensional). Ela ocorre nas fundações das edificações, devido às próprias condições do solo úmido ali presente, assim como pela falta de obstáculos que impeçam a sua progressão. Também ocorre em decorrência dos materiais apresentarem canais capilares, por onde a água passará para atingir o interior das edificações. Têm-se como exemplos destes materiais os blocos cerâmicos, o concreto, as argamassas, as madeiras, etc.

As argamassas de assentamento das primeiras fiadas de uma alvenaria, bem como a argamassa de revestimento, são importantes obstáculos para a passagem da umidade de uma face à outra de uma parede.

c) Por chuva

A umidade decorrente de chuvas refere-se à água que venha a infiltrar-se pelas coberturas e aquela que incide nas alvenarias das fachadas, cuja proteção decorre dos revestimentos superficiais aplicados sobre as superfícies das citadas alvenarias. Os revestimentos possuem a função de garantir o rápido escoamento, bem como a estanqueidade ao ar e à chuva (ARGILÉS, 1999). As características de rugosidade e de porosidade do revestimento externo interferem na absorção e no escoamento da água, tendo como agentes variantes a intensidade de precipitação e o seu direcionamento com relação à fachada.

A penetração da água de chuva nas fachadas pode ocorrer em quatro níveis, conforme ilustra a Figura 2.5:

- (A) água decorrente de chuva pouco intensa ou na sua fase inicial, quando é absorvida superficialmente pela alvenaria das fachadas através da pressão promovida pelo fenômeno da capilaridade;
- (B) água absorvida após um determinado período, com a saturação dos poros superficiais;
- (C) água absorvida após o aumento da quantidade de água, sob a forma de uma lâmina, com fluxo lento sobre a alvenaria de vedação já saturada;
- (D) água absorvida após chuvas muito intensas, quando a lâmina de água tem o fluxo mais rápido, facilitando o escoamento. Quanto mais rugosa a superfície, mais lento é o escoamento e maior a retenção de água sobre a superfície externa da alvenaria de fachada.

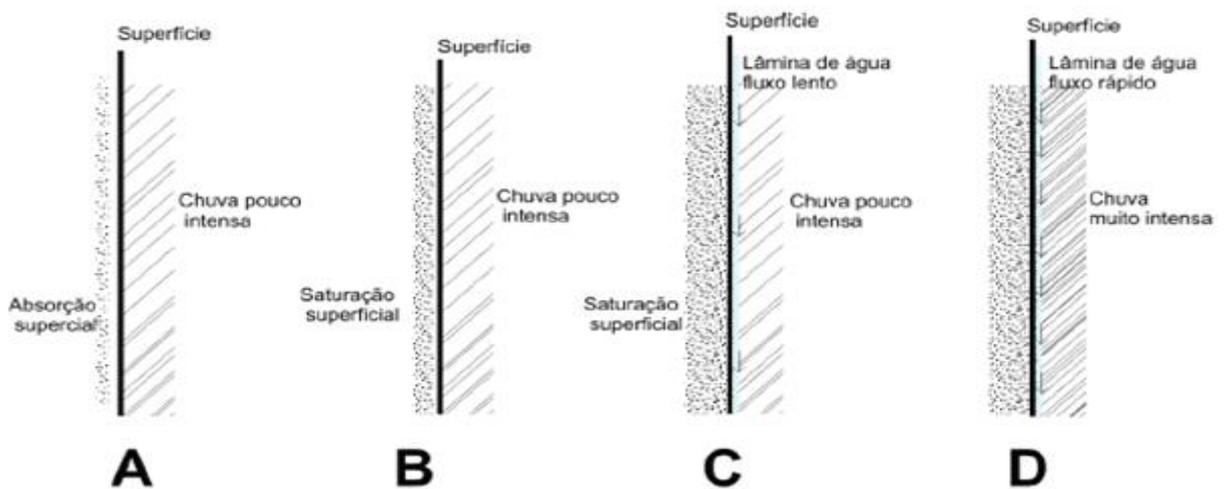


Figura 2.5 - Fases de interação da água nas alvenarias das fachadas.
(Fonte: ARGILÉS, 1999)

Nas alvenarias de fachadas há partículas suspensas no ar que se depositam na superfície. De acordo com Argilés (1999), “a água da chuva, durante seu escoamento pela superfície, desloca essas partículas para a região inferior da fachada. As partículas muito aderidas à superfície que suportarem a força de escoamento da água ficarão junto à fachada, alterando seu aspecto. A geometria da fachada pode influenciar na maneira como a água escoou sobre a superfície, podendo criar regiões mais limpas do que outras”, como está ilustrada na Figura 2.6:

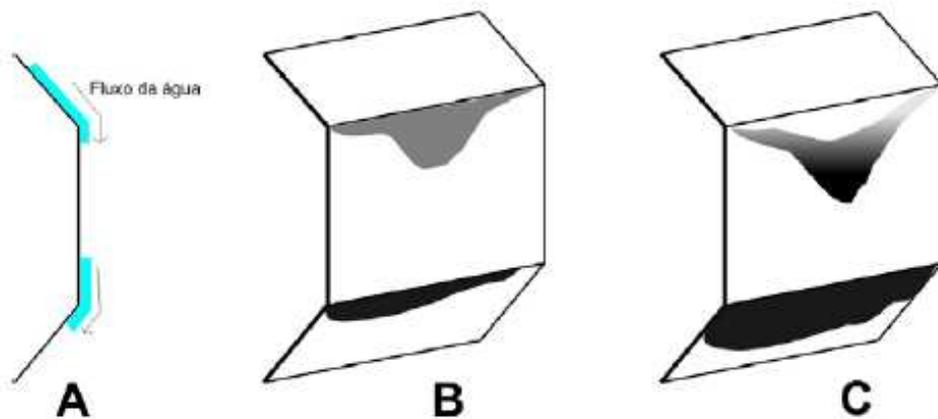


Figura 2.6 - Lavagem diferencial: (A) transporte de partículas nos planos das fachadas; (B) depósito de partículas onde o fluxo de água é mais lento; (C) surgimento de áreas lavadas e outras com acúmulo de partículas (Fonte: ARGILÉS, 1999).

As alvenarias de fachadas, quando formadas por planos que formam ângulos entre si, estão expostas de maneira diferenciada à ação da chuva, portanto a concentração de partículas torna-se diferenciada, ocorrendo em maior concentração nas zonas inferiores e junto aos vértices das zonas reentrantes, como ilustra a Figura 2.7.

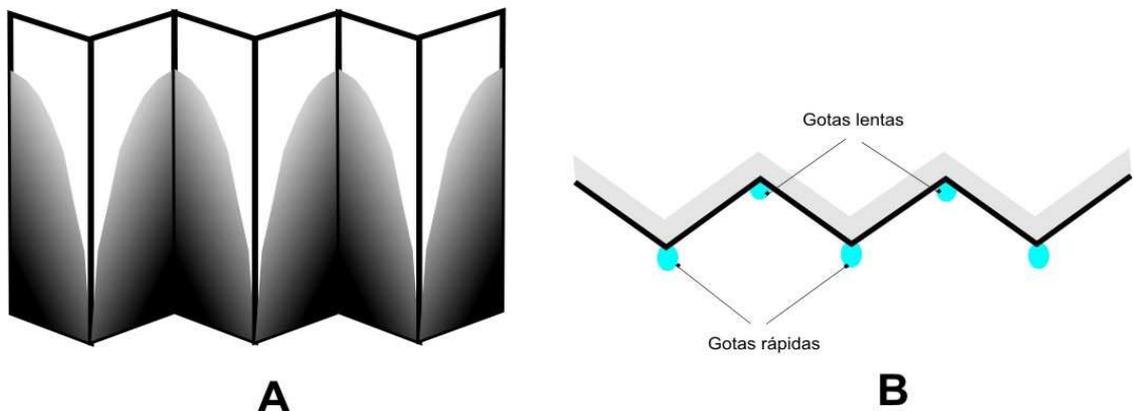


Figura 2.7 - Lavagem diferenciada em fachadas – (A) aspecto das manchas entre as placas e (B) vista superior – nas reentrâncias o escoamento das gotas de água é mais lento do que nas extremidades (Fonte: ARGILÉS, 1999).

Segundo Barth (2001), “as alvenarias de fachadas compostas por várias camadas de materiais podem apresentar cavidades e juntas que, quando abertas ou parcialmente abertas ao exterior, podem propiciar a penetração de água para o interior da alvenaria de vedação, alcançando até a parte interna da edificação. Essa penetração é decorrente do efeito de um ou

mais fenômenos físicos, como a ação da gravidade, as tensões de capilares e a pressão exercida pelo vento”.

Para Henriques (1995), “o vento gera uma força horizontal diretamente proporcional à sua intensidade, aumentando ainda mais o poder de penetração da água nas paredes”, conforme mostra a Figura 2.8:

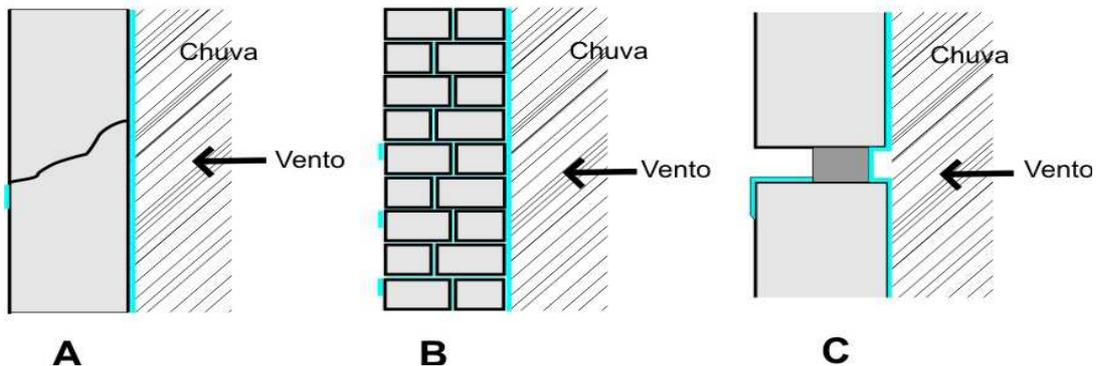


Figura 2.8 - Tipos de infiltrações em paredes – (A) infiltração de água por gravidade associadas à capilaridade e à pressão do vento; (B) infiltração de água através de meio poroso associada à capilaridade e à ação da pressão do vento; (C) água da chuva sob ação do vento em junta defeituosa (Fonte: ARGILÉS, 1999).

Devido ao modo (inclinação) e à intensidade (força) que a chuva pode atuar em cada uma das alvenarias de fachada de uma habitação, estas devem ser projetadas prevendo-se alternativas diferentes para sua proteção, por exemplo: aumento dos beirais, implantação das unidades habitacionais (U.H.) levando-se em conta os ventos predominantes e a direção mais comum das chuvas locais, ou ainda aumentar a estanqueidade através da utilização de aditivos na argamassa de revestimento, pinturas ou aumento da espessura da argamassa de revestimento.

A próxima figura (Figura 2.9) mostra a importância de se conhecer o micro-clima no qual a edificação está inserida, quanto ao sentido predominante das chuvas locais e dos ventos, bem como das suas intensidades históricas. Por exemplo, as alvenarias de fachadas “a”, “b” e “d” têm a característica de ser as mais afetadas pela ação da chuva exemplificada.

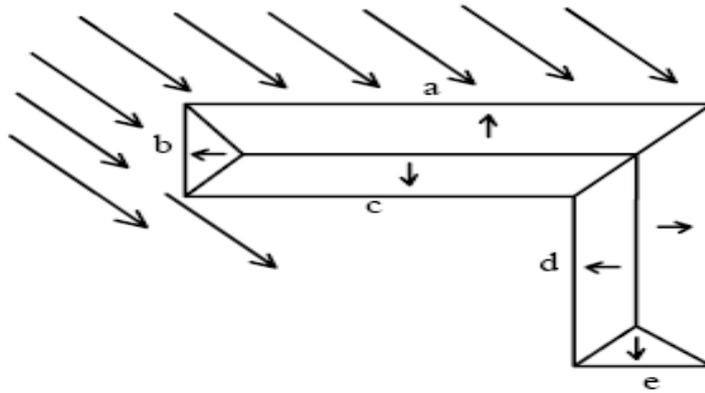


Figura 2.9 – Incidência da chuva nas alvenarias de fachada de uma edificação.
(Fonte: ARGILÉS, 1999).

Muitas vezes a maneira pela qual a água escoa pela face externa da alvenaria de fachada de um edifício tem sido deixada de lado na elaboração de projetos. Os detalhes arquitetônicos nas alvenarias de fachadas deixaram de ser utilizados na grande maioria das construções habitacionais (residências ou prédios), os quais tinham a finalidade principal de melhorar a estética. Mas, esses detalhes não funcionavam apenas quanto à estética, ao contrário, os detalhes que antes minimizavam as concentrações de fluxos da água de chuva incidentes nas fachadas e deslocavam as lâminas de água que se formavam nas superfícies das alvenarias externas, acabaram desaparecendo dos projetos.

d) Por vazamentos em redes hidráulicas

Sobre a origem devido aos vazamentos em redes de água e esgoto, Verçozza (1991) comenta que “é de difícil identificação o local e a sua correção”. Isso se deve ao fato de que esses vazamentos são na maioria das vezes provenientes de encanamentos embutidos nas alvenarias, pisos ou coberturas (encobertos). “Esses vazamentos são muito danosos para o bom desempenho esperado da edificação se não forem corrigidos rapidamente, em especial os vazamentos havidos abaixo da estrutura da moradia”.

2.4.3 Patologias em alvenarias

Como consequência natural da evolução das técnicas de projeto e execução de obras, bem como da busca pelo material ideal (ou seja, o mais resistente, durável e de mais baixo custo), surgiram, em obras e com frequência crescente, problemas e falhas nas construções. Constataram-se tais problemas particularmente nas alvenarias, haja vista que estas figuram como uma das principais partes integrantes das construções.

Devido à intensificação dessas falhas, o Ser Humano passou a analisá-las com maior cuidado. Para tanto, valeu-se cada vez mais dos princípios da ciência dos materiais, da estabilidade das estruturas, da mecânica dos solos, da física e da química, originando uma nova ciência. Esta por sua vez, designada por “Patologia das Construções”, foi buscar na medicina diversos termos adaptando-os para a construção civil (PEREIRA, 2005). São eles:

- **Patologia**: falha, disfunção, defeito prejudicial à estética ou ao desempenho da edificação ou de qualquer uma de suas partes;
- **Patologia das construções**: “ciência” que visa, de forma metódica, estudar os defeitos dos materiais, dos componentes, dos elementos ou da edificação como um todo, diagnosticando as suas causas e estabelecendo os seus mecanismos de evolução, formas de manifestação, medidas de prevenção e de recuperação;
- **Diagnóstico**: determinação das causas, dos mecanismos de formação e da gravidade potencial de um problema patológico, com base na observação dos sintomas (formas de manifestação) e na eventual realização de estudos específicos;
- **Prognóstico**: avaliações ou conjecturas, baseadas no diagnóstico, acerca da duração, evolução ou término do problema;
- **Agente**: causa imediata que gerou o problema patológico (assentamento de apoio, movimentações térmicas, sobrecarga, dentre outros).

Tem-se atualmente o senso comum de que as patologias em alvenarias estão associadas às falhas de projeto, aos erros de concepção, ao desconhecimento de propriedades dos solos (recalque das fundações) e dos materiais de construção, à fiscalização deficiente dos serviços e aos processos (sistemas) construtivos.

2.4.3.1 Causas mais comuns de patologias

As patologias mais comuns, segundo Sayegh (2004), verificadas em inspeções pós-obra em edifícios habitacionais, somente relativamente às alvenarias (dentro de uma amostra maior de patologias levantadas), são apresentadas na Tabela 2.3.

Tabela 2.3 – Patologias mais comuns (específicas às alvenarias, numa pesquisa de âmbito maior).
(Fonte: SAYEGH, 2004).

<i>Tipos de ocorrência</i>	<i>Incidência (%)</i>
Trincas e fissuras no revestimento.	15,0
Revestimentos externos.	8,4
Impermeabilizações.	7,9
Azulejos.	3,7

Já segundo Segat (2005), “dentre as inúmeras estatísticas acerca das causas dos danos nas alvenarias das construções habitacionais, nota-se uma porcentagem elevada de problemas decorrentes de umidade e infiltrações, estando a incidência de defeitos nos revestimentos, em especial, entre as principais causas”. As incidências, segundo o citado autor, foram obtidas e reproduzidas em sua pesquisa a partir da Revista Construção São Paulo (1993). Na Tabela 2.4 estão apresentados os resultados.

Tabela 2.4 – Incidência de ocorrências patológicas nas alvenarias (SEGAT, 2005).

<i>Tipos de ocorrência</i>	<i>Incidência (%)</i>	<i>Principais causas</i>
Manchas de umidade e bolor em paredes, infiltrações.	70	Impermeabilização, revestimento, instalações e qualidade das esquadrias.
Trincas e fissuras decorrentes de movimentação estrutural.	47	Estrutura inadequada, alvenarias, vigas e pilares.
Trincas e fissuras decorrentes de recalque de fundações.	26	Falta de fundação ou inadequada para o solo.

Também um estudo detalhado sobre os fatores de degradação (fissuras e trincas) em habitações foi realizado por Thomaz (1989), com determinação de conceitos e metodologias.

Considerando a relevância e abrangência dessa pesquisa realizada pelo citado autor, neste trabalho são utilizados, basicamente, os conceitos por ele propostos.

a) Por retração de produtos à base de cimento.

A hidratação do cimento consiste na transformação de compostos anidros²⁰ mais solúveis em compostos hidratados menos solúveis, havendo na hidratação a formação de uma camada de gel em torno dos grãos dos compostos anidros. Para que ocorra a reação química completa entre a água e os compostos anidros é necessário cerca de 22 a 32% de água em relação à massa do cimento, enquanto para a constituição do gel é necessária uma quantidade adicional em torno de 11 a 21%. Em média, uma relação água/cimento de aproximadamente 0,40 é suficiente para que o cimento se hidrate completamente (HELENE, 1993).

Quantitativamente, os principais componentes do cimento Portland são: óxido de cálcio (CaO), sílica (SiO₂), alumina (Al₂O₃) e óxido férrico (FeO₃). Além desses componentes principais, encontram-se outros elementos que influenciam de maneira menos acentuada as características do cimento, tais como o óxido de magnésio (MgO) e o anidrido sulfúrico.

Os 4 (quatro) componentes principais encontram-se no cimento na forma de complexos (também conhecidos por ‘compósitos’), denominados: silicato tricálcico ou *alita* - C₃S (ou 3CaO.SiO₂); silicato dicálcico ou *belita* - C₂S (ou 2CaO.SiO₂); aluminato tricálcico - C₃A (ou 3CaO.Al₂O₃) e ferro-aluminato tetracálcico ou *ferrita* - C₄AF (4CaO.Al₂O₃.Fe₂O₃).

Na Figura 2.10 está demonstrada a micrografia típica de uma amostra de clínquer²¹, onde podem ser identificados os complexos principais de um cimento Portland: a *alita* e a *belita*.

²⁰ **Anidro:** é um termo geral utilizado para designar uma substância de qualquer natureza que não contém, ou quase não contém água na sua composição.

²¹ **Clínquer:** constituído de matérias-primas como o calcário e a argila. O clínquer em pó tem a peculiaridade de desenvolver uma reação química em presença de água, na qual ele, principalmente, torna-se pastoso e, em seguida, endurece, adquirindo elevada resistência e durabilidade. Essa característica adquirida pelo clínquer, que faz dele um ligante hidráulico muito resistente, é sua propriedade mais importante.

E na Tabela 2.5 é apresentada a proporção genérica desses compósitos²² do cimento Portland.

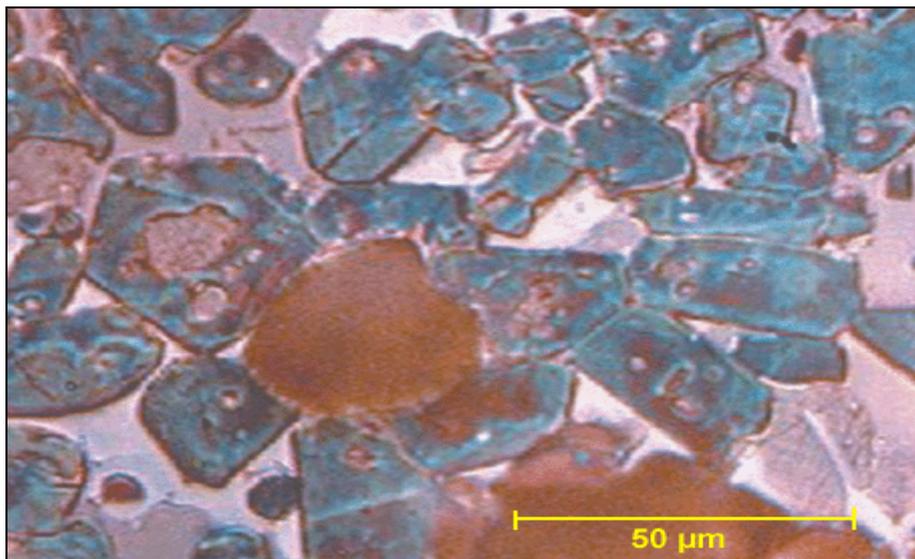


Figura 2.10 - Micrografia de amostra de clínquer, resfriada com velocidade de 6°C/minuto, mostrando os cristais azulados de *alita* ($3\text{CaO}.\text{SiO}_2$), com núcleos de *belita* ($2\text{CaO}.\text{SiO}_2$), na cor marrom, 600X (Fonte: TENÓRIO, 199-?).

Tabela 2.5 – Composição típica de um cimento Portland (Fonte: MEHTA ; MONTEIRO, 1994).

<i>Teor de compósitos (%)</i>	
Alita → C_3S (ou $3\text{CaO}.\text{SiO}_2$)	45 – 60
Belita → C_2S (ou $2\text{CaO}.\text{SiO}_2$)	45 – 60
Aluminato → C_3A (ou $3\text{CaO}.\text{Al}_2\text{O}_3$)	6 – 12
Ferrita → C_4AF (ou $4\text{CaO}.\text{Al}_2\text{O}_3.\text{Fe}_2\text{O}_3$)	6 - 8

Assim, Taylor (1992) relata as principais características da microestrutura dos materiais à base de cimento da seguinte forma:

- (A) presença de fases hidratadas com composições e características microestruturais variando localmente;
- (B) presença de uma fase aquosa de composição variável, no interior de poros com tamanhos variando em uma grande escala de magnitude – deve-se ressaltar essa afirmação;
- (C) alterações com a idade e com o meio ambiente (umidade relativa, temperatura); e

²² **Compósito** é basicamente um material em cuja composição entram dois ou mais tipos de materiais diferentes.

(D) muitas vezes, o comportamento do material é determinado por zonas com microestruturas especiais, que ocorrem em lugares específicos no sistema, ao invés da microestrutura geral prevalecente (Ex.: zonas próximas à interface agregado-pasta de cimento).

Quando os concretos e argamassas são preparados, em função da trabalhabilidade necessária, normalmente são com água em excesso, o que vai acentuar a retração de secagem. Sendo assim, o endurecimento dos concretos e argamassas é acompanhado por uma diminuição de volume, devido à perda dessa água em excesso por evaporação ou por reações de hidratações. “Esta perda de volume pode ser agravada ao longo do tempo de acordo com as características higrométricas do ambiente” (FIORITO, 1994).

Outro fator fundamental na magnitude da retração de concretos e argamassas (de revestimento ou assentamento a base de cimento) desenvolvida é a umidade relativa do ar, vigente no local em que o elemento ficará exposto.

Por exemplo, para o caso de uma laje de concreto armado, o efeito mais nocivo da retração é a fissuração de paredes solidárias à laje, como retratado na Figura 2.11 (THOMAZ, 1989).

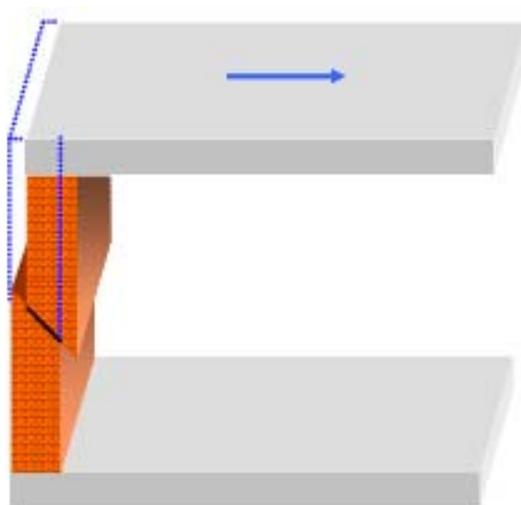


Figura 2.11 - Movimentação da alvenaria decorrente da retração da laje de concreto. (Fonte: THOMAZ, 1989).

Essa movimentação da laje ocasiona o surgimento de fissurações horizontais como mostrado na Figura 2.12.

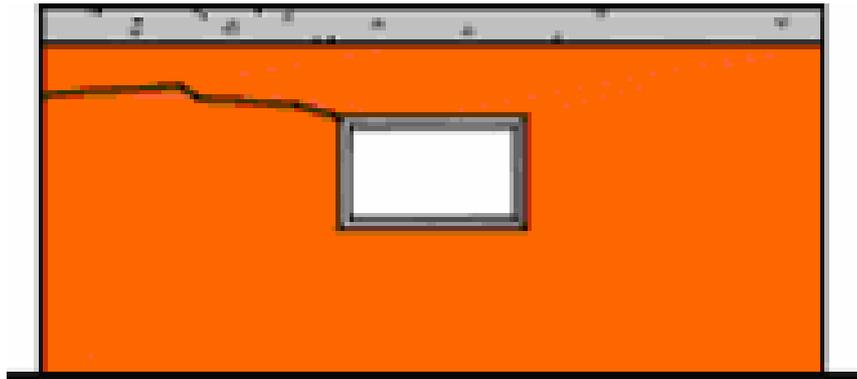


Figura 2.12 - Fissuras em alvenaria externa, causadas pela retração de lajes de concreto.
(Fonte: THOMAZ, 1989).

b) Por movimentações higroscópicas

A quantidade de água absorvida por um material de construção está relacionada diretamente com a porosidade aberta e, principalmente, com a capilaridade. Essa força de sucção, provocada pelo efeito da capilaridade, é inversamente proporcional à espessura dos poros abertos; dessa maneira, quanto menor a espessura dos poros, maior será o poder de sucção. O material, ao ter seus poros totalmente preenchidos com água, aumenta de volume, diminuindo à medida que perde água por evaporação. O resultado desta expansão e contração por higroscopicidade²³ pode provocar tensões que excedam a resistência mecânica do material desenvolvendo fissuras.

As mudanças higroscópicas geram variações dimensionais nos materiais porosos que integram os elementos e componentes da construção. O aumento do teor de umidade produz uma expansão do material, enquanto a diminuição desse teor provoca uma contração. No caso da

²³ **Higroscopicidade:** é a propriedade que os materiais porosos têm para, quando colocados no estado seco num determinado ambiente a uma determinada umidade relativa (UR), reterem nos seus poros uma certa quantidade de umidade existente no ambiente, até se atingir uma situação de equilíbrio (equilíbrio higroscópico) com esse mesmo ambiente.

existência de vínculos que impeçam ou restrinjam essas movimentações podem ocorrer fissuras nos elementos e componentes do sistema construtivo.

“Sendo constituídas por materiais porosos, ou seja, com capacidade de absorção de água, o comportamento das alvenarias é influenciado pelas movimentações higroscópicas desses materiais. Estas movimentações ocorrem sempre que há um aumento ou diminuição da umidade dos materiais, provocando, respectivamente, expansões e contrações da alvenaria. Esta movimentação é responsável pelo surgimento de tensões na alvenaria. Devido à intensidade dessas tensões que são de considerada magnitude, algumas fissuras podem vir a aparecer na alvenaria” (THOMAZ, 1989).

Em edifícios com paredes muito longas, onde, por exemplo, não foram adequadamente projetadas juntas de movimentação, podem ocorrer fissuras resultantes das referidas movimentações higroscópicas. Tais fissuras, pronunciadamente verticais, incidem de forma regular no corpo das paredes ou nos cantos dos edifícios, como se mostra na Figura 2.13.

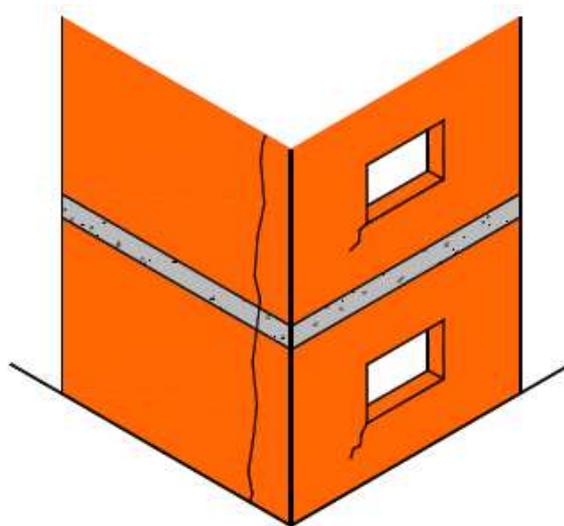


Figura 2.13 - Fissuração vertical da alvenaria no canto do edifício provocada por movimentações higroscópicas (Fonte: THOMAZ, 1989).

Normalmente, a expansão das alvenarias por higroscopicidade ocorrerá com maior frequência na base das paredes, que estão sujeitas aos respingos e ao empoçamento de água, ou mesmo ascensão da umidade do solo por capilaridade em fundações mal impermeabilizadas. É

freqüente o surgimento de fissuras em cantos desabrigados, platibandas, onde poderá ocorrer empoçamento de água no encontro entre a laje de cobertura e a platibanda.

A Figura 2.14 exemplifica o caso em que a expansão diferenciada entre fiadas de blocos ou tijolos gera fissuras horizontais na base das parcelas, em alvenarias pouco carregadas (típica de casas térreas).

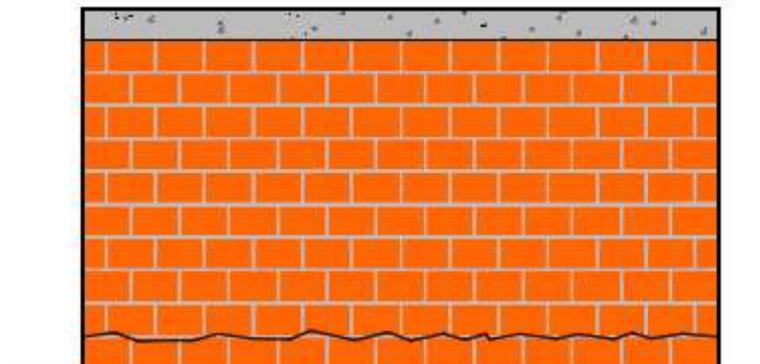


Figura 2.14 - Fissuração horizontal na base da alvenaria por movimentações higroscópicas diferenciadas (Fonte: THOMAZ, 1989).

Com relação às patologias relacionadas especificamente aos revestimentos argamassados de uma alvenaria, tem-se: descolamentos²⁴, fissuramentos²⁵, vesículas²⁶,

²⁴ **Descolamento** com empolamento: A superfície do reboco ou emboço paulista desloca-se, formando bolhas, cujos diâmetros aumentam progressivamente. O reboco apresenta som cavo sob percussão. A causa provável é a hidratação retardada do óxido de magnésio da cal.

²⁵ **Fissuramento**: Podem ser horizontais, mapeadas ou geométricas. As primeiras apresentam-se ao longo de toda a parede com aberturas variáveis. Há deslocamento do revestimento em placas com som cavo sob percussão. A causa provável é a expansão da argamassa de assentamento por hidratação retardada do óxido de magnésio da cal. Ou a expansão da argamassa de assentamento por reação cimento-sulfatos, ou devida à presença de argilo-minerais expansivos no agregado. As segundas distribuem-se por toda a superfície do revestimento em monocamada. Pode ocorrer deslocamento do revestimento em placas e fácil desagregação. A causa provável é a retração da argamassa por excesso de finos de agregado ou cimento como único aglomerante ou água de amassamento contaminada. O terceiro tipo acompanha o contorno do componente da alvenaria (bloco). A causa provável é a retração da argamassa de assentamento por excesso de cimento ou de finos no agregado. Há movimentação higrotérmica do componente (bloco).

²⁶ **Vesículas**: É o empolamento da pintura, apresentando as partes internas das ampolas as cores: branca, preta ou vermelho acastanhado. São bolhas contendo umidade no interior. A causa provável é a hidratação retardada do óxido de cálcio da cal, ou a presença de pirita ou de matéria orgânica na areia, ou ainda, a presença de concreções ferruginosas na areia. Quanto às bolhas de umidade, deve-se à aplicação prematura de tinta impermeável ou infiltração de umidade.

manchas²⁷, eflorescências²⁸, falhas estas relacionadas à umidade (maior ocorrência) ou à contaminação ambiental por substâncias agressivas.

Também a argamassa de regularização de contrapisos pode sofrer um maior risco de ocasionar o processo de eflorescência, por não ser devidamente adensada diante da maior facilidade do seu espalhamento e sarrafeamento.

c) **Por movimentações térmicas**

Os elementos e componentes de uma construção estão sujeitos a mudanças de temperatura, diárias e sazonais. Essas mudanças dão origem a uma variação dimensional dos materiais de construção (dilatação ou contração). Os movimentos de dilatação e contração são restringidos pelos diversos vínculos que envolvem os elementos e componentes, desenvolvendo-se nos materiais, por este motivo, tensões que poderão provocar o aparecimento de fissuras.

As movimentações térmicas de um material estão relacionadas com as propriedades físicas²⁹ do mesmo e com a intensidade da variação da temperatura (gradiente térmico). Já a magnitude das tensões desenvolvidas é função da intensidade da movimentação, do grau de restrição imposto pelos vínculos a esta movimentação e das propriedades elásticas do material (PEREIRA, 2005).

As fissuras de origem térmica podem também surgir por movimentações diferenciadas entre componentes de um elemento, entre elementos de um sistema e entre regiões distintas de

²⁷ **Manchas:** são bolores esverdeados ou escuros. Estão presentes no revestimento em desagregação. A causa provável é a umidade constante, em área não exposta ao Sol.

²⁸ **Eflorescências:** São manchas de umidade, com pó acumulado sobre a superfície. A provável causa é a umidade constante. Os sais solúveis presentes no componente da alvenaria (bloco) ou os sais presentes na água de amassamento ou a umidade infiltrada. Também pode ser relacionada à cal não carbonatada.

²⁹ As **propriedades físicas** dos corpos sólidos são: **dureza** (resistência que os corpos opõem ao serem riscados), **tenacidade** (é a resistência que opõem ao choque ou percussão), **maleabilidade ou plasticidade** (é a capacidade que tem os corpos de se alongarem até formarem lâminas sem, no entanto, se romperem), **ductilidade** (é a capacidade que tem os corpos de se reduzirem a fios sem se romperem – a argila tem boa plasticidade e pequena ductibilidade), **durabilidade** (é a capacidade que os corpos apresentam de permanecerem inalterados com o tempo), **desgaste** (é a perda de qualidade ou de dimensões com o uso contínuo – durabilidade e desgaste não são necessariamente inversos) e **elasticidade** (é a tendência que os corpos apresentam a retornar à forma primitiva após a aplicação de um esforço).

um mesmo material. Thomaz (1989) afirma que “as principais movimentações diferenciadas ocorrem em função de três fatores distintos”, quais sejam:

- Ligação de materiais com diferentes coeficientes de dilatação térmica, sujeitos às mesmas variações de temperatura (por exemplo, movimentações diferenciadas entre argamassa de assentamento e componentes de alvenarias) (THOMAZ, 1989);
- Exposição de elementos a diferentes solicitações térmicas naturais (por exemplo, cobertura em relação às paredes de um edifício) (THOMAZ, 1989);
- Gradiente de temperaturas ao longo de um mesmo componente (por exemplo, gradiente entre a face exposta e a face protegida de uma laje de cobertura) (THOMAZ, 1989).

No caso das movimentações térmicas diferenciadas é importante considerar-se não só a amplitude da movimentação, como também a rapidez com que esta ocorre. Se ela for gradual e lenta muitas vezes um material que apresenta menor resposta ou que é menos solicitado às variações da temperatura pode absorver movimentações mais intensas do que um material ou componente a ele justaposto; o mesmo pode não ocorrer se a movimentação for brusca.

Os materiais que mais resistem aos choques térmicos são aqueles que apresentam boa condutibilidade térmica³⁰, baixo coeficiente de dilatação térmica³¹ linear, baixo módulo de deformação (ou de elasticidade) e elevada resistência a esforços de tração.

Por outro lado, alguns materiais também podem sofrer fadiga pela ação de ciclos alternados de carregamento/descarregamento ou por solicitações alternadas de tração/compressão.

É comum observarmos fissurações em lajes de cobertura com vínculo à parede. Isso se dá, pois as lajes de cobertura normalmente encontram-se vinculadas às paredes de sustentação, motivo pelo qual surgem tensões tanto no corpo das paredes quanto nas lajes. Teoricamente as

³⁰ **Condutibilidade térmica:** é o poder de condução térmica de calor num material. Os materiais mais densos apresentam uma condutibilidade térmica maior (como o ferro), enquanto que os menos densos possuem condutibilidade térmica menor (como a borracha), pois os menos densos apresentam menos moléculas para propagar o calor por toda a sua área.

³¹ **Coefficiente de dilatação:** A variação na unidade de comprimento, unidade de área ou unidade de volume, pela variação na temperatura. Os coeficientes recebem os nomes de:- Coeficiente de dilatação linear, coeficiente de dilatação superficial ou coeficiente de dilatação volumétrica.

tensões de origem térmica são nulas nos pontos centrais das lajes, crescendo proporcionalmente em direção aos bordos onde atingem seu ponto máximo, como é indicado na Figura 2.15 (THOMAZ, 1989).

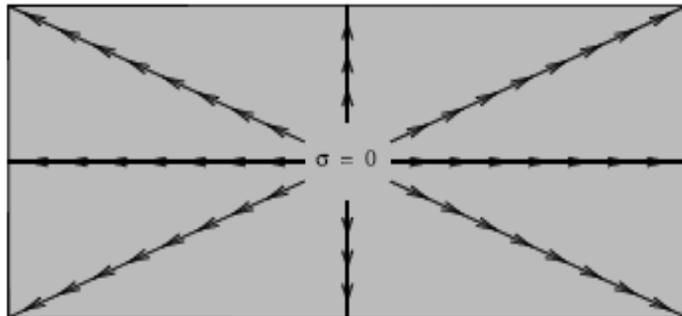


Figura 2.15 - Desenvolvimento das tensões numa laje de cobertura com bordos vinculados devido a efeitos térmicos (Fonte: THOMAZ, 1989).

A dilatação plana das lajes e a curvatura provocada pelo gradiente da temperatura (Figura 2.16) introduzem tensões de tração e de corte nas paredes das edificações. As fissuras desenvolvem-se quase que exclusivamente nas paredes, apresentando tipicamente as configurações indicadas nas Figuras 2.17 e 2.18.

A direção das fissuras na parede 1, perpendiculares às resultantes de tração indica o sentido da movimentação térmica (no caso, da esquerda para a direita), conforme Figura 2.18. A fissura na parede 2, normalmente apresenta-se com traçado bem definido, realçando o efeito dos esforços de tração na face interna da parede (Figura 2.17).

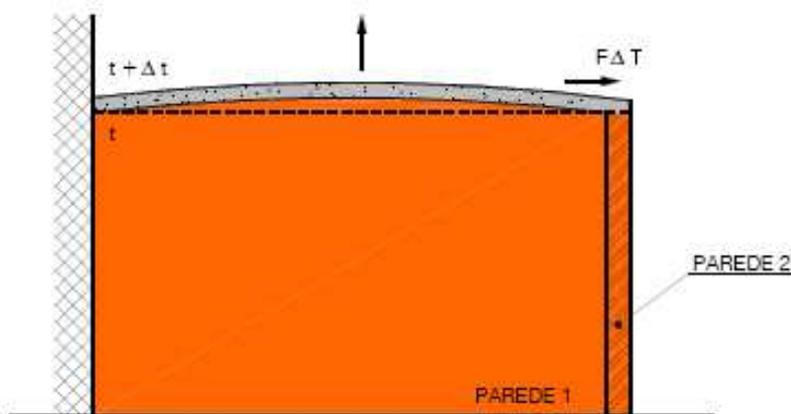


Figura 2.16 - Movimentações que ocorrem numa laje de cobertura, sob ação da elevação da temperatura (Fonte: THOMAZ, 1989).

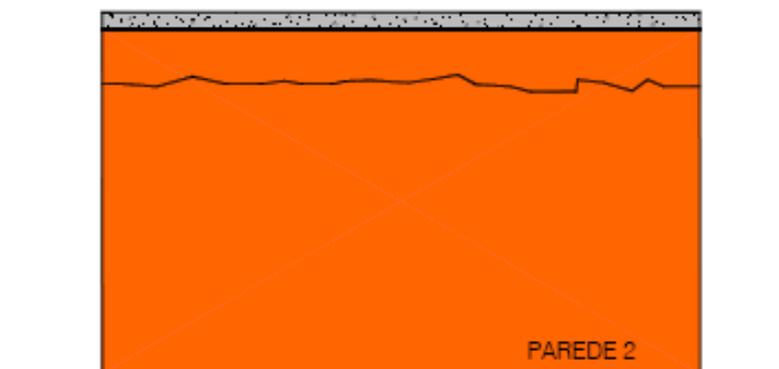


Figura 2.17 - Fissura típica presente no topo da parede paralela ao comprimento da laje.
(Fonte: THOMAZ, 1989).

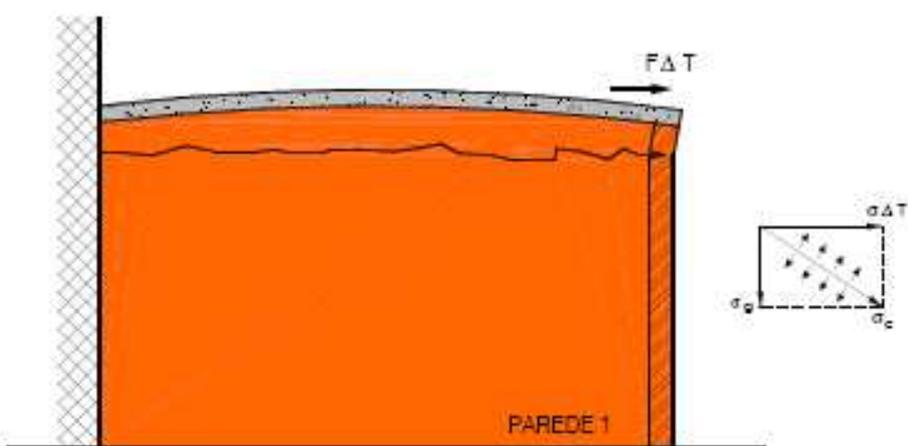


Figura 2.18 - Fissura típica presente no topo da parede paralela à largura da laje.
(Fonte: THOMAZ, 1989).

No caso de alvenarias externas e muros, as fissuras devidas às movimentações térmicas iniciam-se, normalmente na base da parede, em decorrência das restrições que a fundação oferece à sua movimentação. Devido à resistência à tração da argamassa de assentamento e dos componentes de alvenaria (blocos), as fissuras poderão acompanhar as juntas verticais de assentamento ou ainda estenderem-se através dos componentes de alvenaria (blocos), como indicadas nas Figuras 2.19 e 2.20.

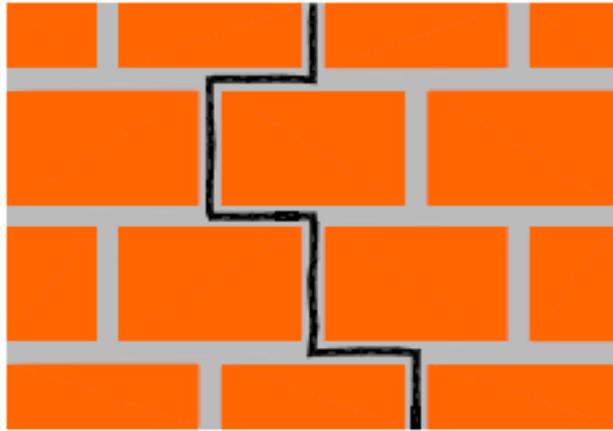


Figura 2.19 - Fissura vertical: a resistência à tração dos componentes de alvenaria (blocos) é superior à resistência à tração da argamassa de assentamento ou à tensão de aderência argamassa/blocos (Fonte: THOMAZ, 1989).

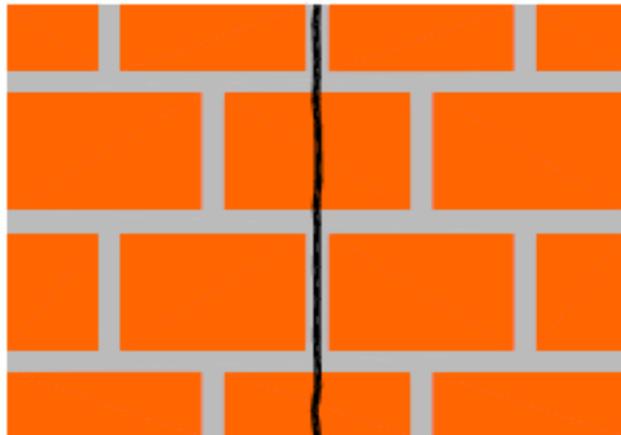


Figura 2.20 - Fissura vertical: a resistência à tração dos componentes de alvenaria (blocos) é igual ou inferior à resistência à tração da argamassa de assentamento ou à tensão de aderência argamassa/blocos (Fonte: THOMAZ, 1989).

d) Por atuação excessiva de carga

Atuação excessiva de cargas é uma solicitação externa, prevista ou não em projeto, que seja capaz de provocar a fissuração de um componente da alvenaria com ou sem função estrutural (PEREIRA, 2005).

Conforme exposto por Thomaz (1989), “em tramos contínuos de alvenarias solicitadas por sobrecargas uniformemente distribuídas, podem surgir dois tipos característicos de fissuras”. Estas são:

- Fissuras verticais (caso mais típico), provenientes da deformação transversal da argamassa sob ação das tensões de compressão, ou da flexão local dos componentes de alvenaria (blocos) como apontado na Figura 2.21.

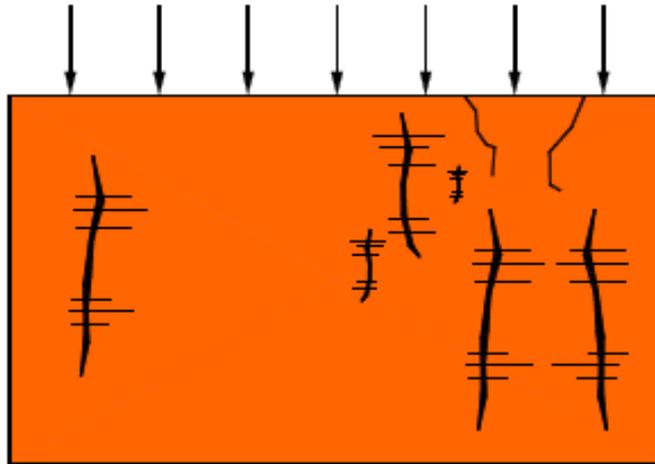


Figura 2.21 - Fissuração típica da alvenaria causada pela atuação excessiva de cargas.
(Fonte: THOMAZ, 1989)

- Fissuras horizontais, decorrentes da ruptura por compressão dos componentes de alvenaria (blocos), da própria argamassa de assentamento, ou de solicitações de flexão axial da parede, indicada na Figura 2.22.

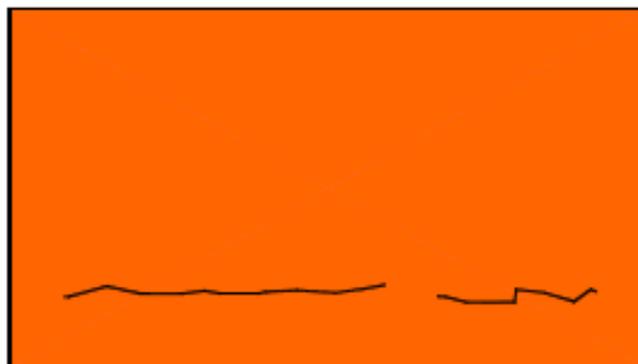


Figura 2.22 - Fissuras horizontais na alvenaria provenientes da atuação excessiva de cargas.
(Fonte: THOMAZ, 1989).

A atuação excessiva de cargas concentradas também pode ocasionar a ruptura dos componentes de alvenaria na região de aplicação da carga e/ou o aparecimento de fissuras inclinadas a partir do ponto de aplicação, indicada na Figura 2.23. Em função da resistência à compressão dos componentes de alvenaria (blocos) é que poderá predominar uma ou outra das anomalias citadas.

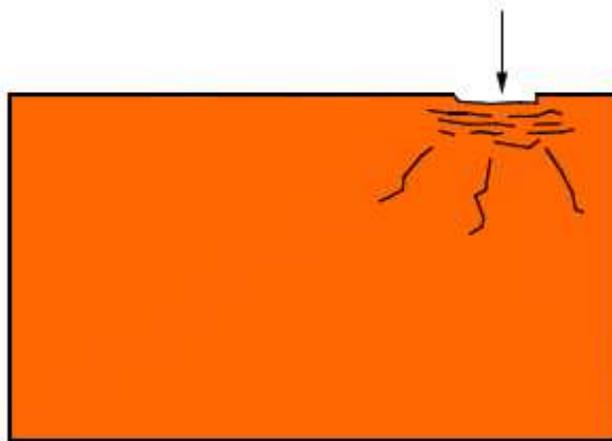


Figura 2.23 - Ruptura localizada da alvenaria sob o ponto de aplicação da carga e propagação de fissuras a partir desse ponto (Fonte: THOMAZ, 1989).

Nos painéis de alvenaria onde existem aberturas (janelas ou portas), as fissuras formam-se a partir dos vértices dessas aberturas e sob o peitoril. A configuração das fissuras de uma parede apoiada sobre suporte indeformável, decorrente das isostáticas de compressão³², é a apresentada na Figura 2.24.

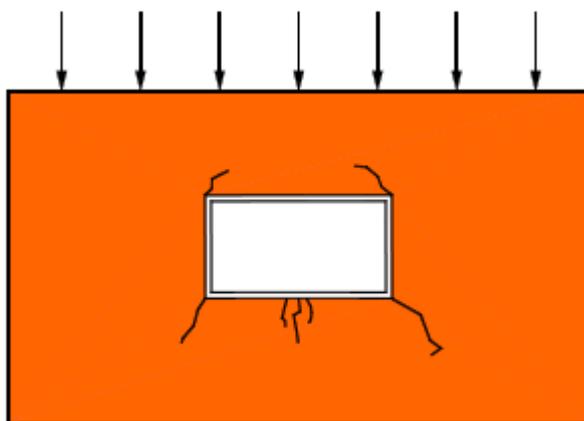


Figura 2.24 - Fissuração teórica no entorno de abertura, em parede solicitada por atuação excessiva de cargas (Fonte: THOMAZ, 1989).

³² **Isostáticas de compressão:** consistem em um feixe de retas que passam pelo ponto de aplicação de uma carga.

Essas fissuras manifestam-se segundo diversas configurações, em função da influência de vários fatores, tais como: dimensões do painel de alvenaria, dimensões da abertura (janela ou porta), posição que a abertura (janela ou porta) ocupa no painel, anisotropia³³ dos materiais que constituem a alvenaria, dimensões e rigidez³⁴ de vergas e contra-vergas. A maior deformação da alvenaria e a eventual deformação do suporte nos tramos mais carregados da parede, fora das aberturas, originam fissuras com as configurações indicadas na Figura 2.25.

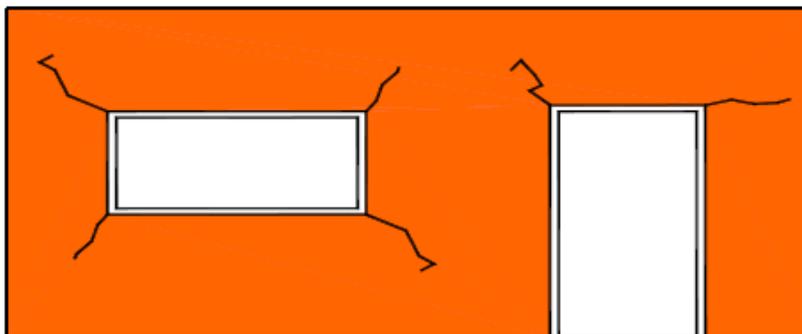


Figura 2.25 - Fissuração típica nos cantos das aberturas, sob atuação excessiva de cargas.
(Fonte: THOMAZ, 1989).

e) **Por assentamentos de apoio**

A capacidade de carga e a deformabilidade dos solos não é constante, sendo função dos seguintes fatores principais, conforme Thomaz (1989):

- Tipo e estado do solo;
- Disposição do lençol freático;
- Intensidade da carga, tipo de fundação e cota de apoio da mesma;
- Dimensões e formato dos elementos de fundação (sapatas quadradas, retangulares, circulares);
- Interferência de fundações vizinhas.

³³ **Anisotropia:** é a característica que uma substância possui em que uma certa propriedade física varia com a direção. Costuma-se designar qual a propriedade em que existe a anisotropia, por exemplo, anisotropia elétrica, óptica ou magnética.

³⁴ **Rigidez** é a resistência de um corpo elástico à deflexão ou deformação causada por uma força aplicada. É uma qualidade inerente ao material.

O citado autor continua: “Os solos são constituídos basicamente por partículas sólidas, água, ar e material orgânico. Sob efeito de cargas externas todos os solos, em maior ou menor proporção, deformam-se. Se estas deformações forem diferenciadas ao longo do plano das fundações de uma obra, tensões de grande intensidade serão introduzidas na estrutura da mesma, podendo gerar o aparecimento de fissuras. O comportamento de um edifício mediante a ocorrência de assentamentos diferenciais depende de interações extremamente complexas entre a sua superestrutura, a estrutura da fundação e o solo de suporte. Nesse sentido, uma superestrutura poderá ter comportamento flexível quando apoiada sobre um solo pouco deformável, ao passo que tenderá a se comportar como um corpo rígido se apoiada em solo muito deformável. As fissuras provocadas por assentamentos diferenciais são geralmente inclinadas, confundindo-se, em algumas situações, com aquelas decorrentes da deformação de componentes estruturais. Porém, as primeiras apresentam aberturas maiores, inclinando-se em direção ao ponto onde ocorreu o maior assentamento”.

Outra característica das fissuras provocadas por assentamentos é a presença de esmagamentos localizados, em forma de escamas, dando indícios das tensões de corte³⁵ que as geraram. Quando os assentamentos são acentuados, observa-se nitidamente uma variação na abertura da fissura. Os assentamentos diferenciais podem provir de carregamentos não uniformes. Nesse caso, as fissuras apresentarão as configurações indicadas na Figura 2.26 - (a) e (b) (THOMAZ, 1989).

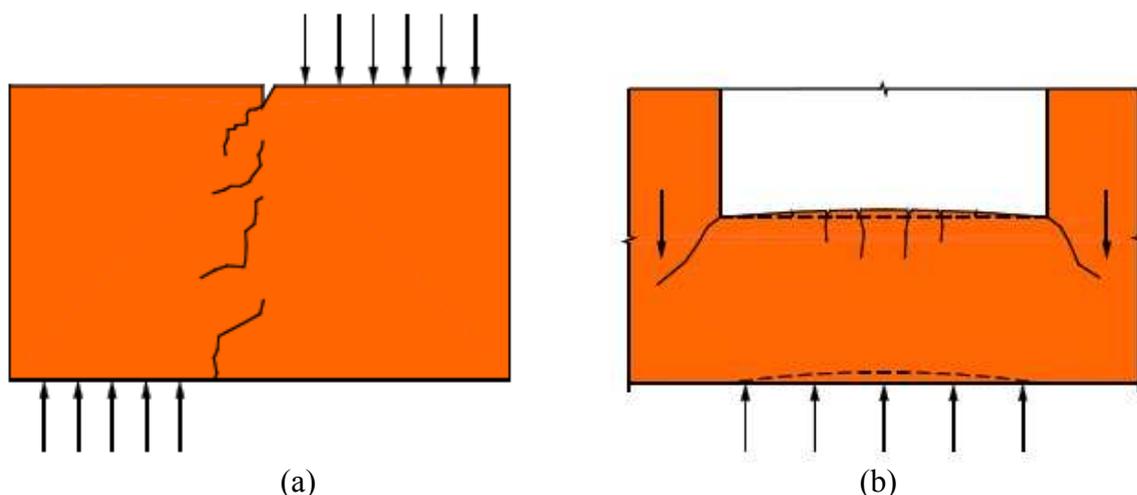


Figura 2.26 - Fissurações contínuas solicitadas por carregamentos não uniformes - (a) e (b).
(Fonte: THOMAZ, 1989).

³⁵ **Tensão de corte:** é o fluxo difusivo de quantidade de movimento.

Em edifícios uniformemente carregados, o Centre Scientifique et Technique de la Construction (CSTC), apud PEREIRA (2005), aponta para diversos fatores que podem contribuir para assentamentos diferenciais, ocasionando assim, a fissuração do edifício.

Nas Figuras 2.27 a 2.31 são ilustrados alguns dos mencionados casos.

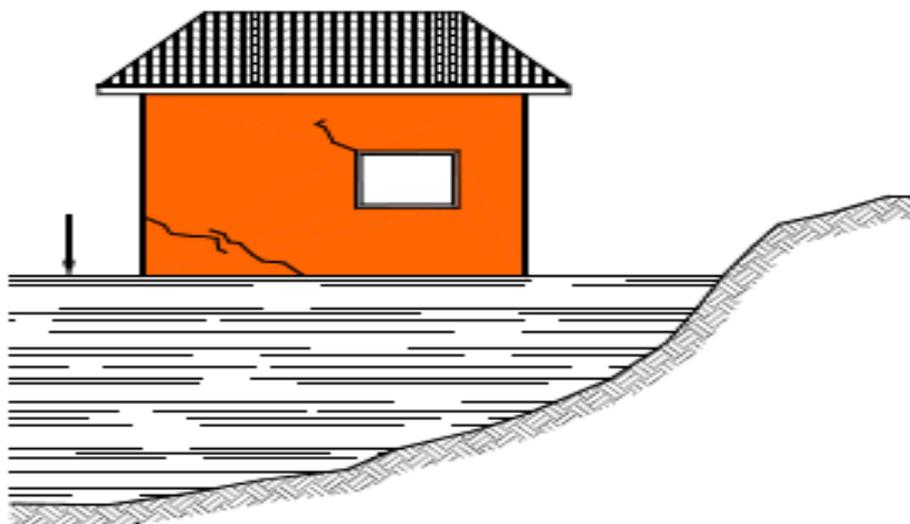


Figura 2.27 - Assentamento diferencial, por consolidações distintas do aterro carregado. (Fonte: THOMAZ, 1989)

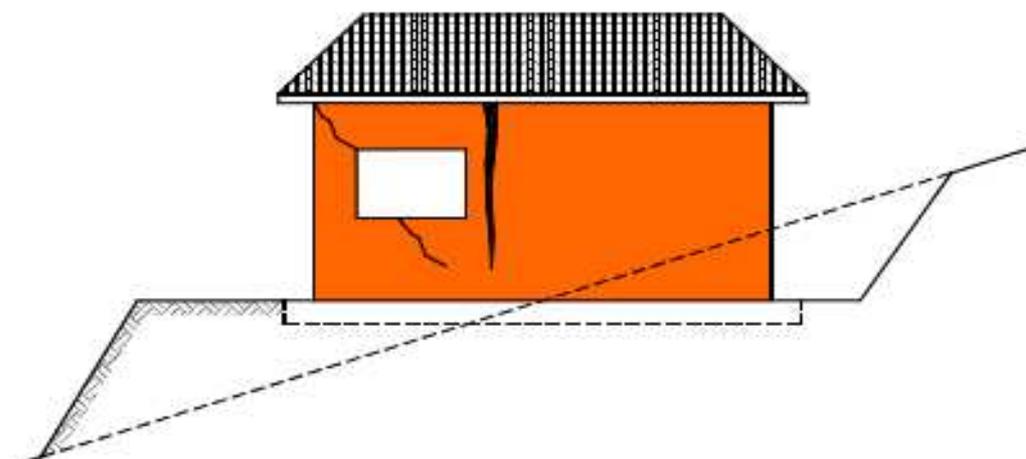


Figura 2.28 - Fundações assentadas sobre seções de corte e aterro; fissuras de corte nas alvenarias (Fonte: THOMAZ, 1989).

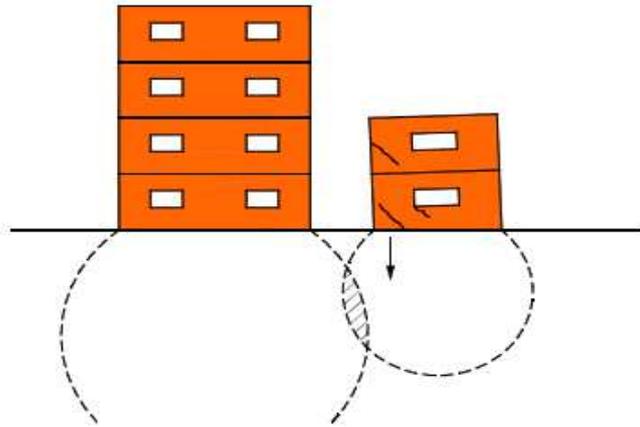


Figura 2.29 - Assentamento diferencial no edifício menor pela interferência no seu bulbo de tensões, em função da construção do edifício maior (Fonte: THOMAZ, 1989).

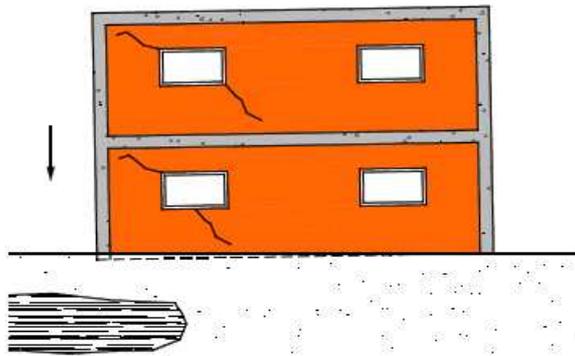


Figura 2.30 - Assentamento diferencial, por falta de homogeneidade do solo (Fonte: THOMAZ, 1989).

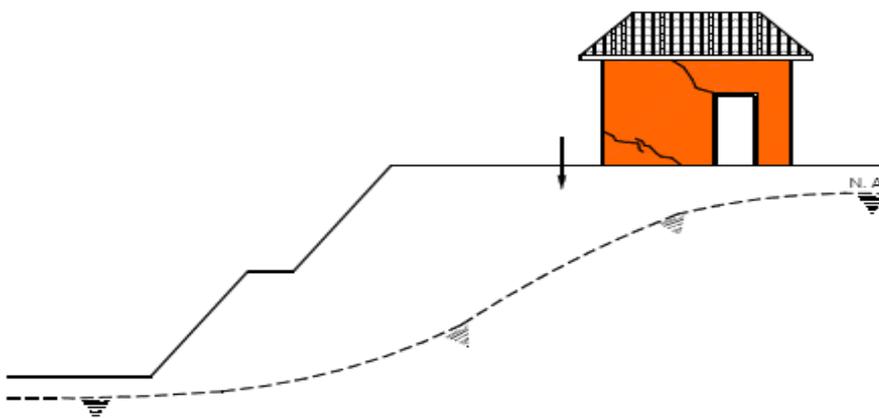


Figura 2.31 - Assentamento diferencial por rebaixamento do lençol freático; cortou-se o terreno à esquerda do edifício (Fonte: THOMAZ, 1989).

Além das fissurações anteriormente exemplificadas, os assentamentos diferenciais poderão provocar fissuras com outras configurações, em função de diversas variáveis: geometria das edificações ou do componente, tamanho e localização de aberturas, grau de rigidez da construção (emprego de cintagem, vergas e contra-vergas), eventual presença de juntas no edifício, dentre outros fatores.

f) Por biodeterioração

Segundo Uemoto (1999), vários fatores estão envolvidos no processo de deterioração de revestimentos de alvenarias de fachadas, sejam em pinturas, concretos ou argamassas, podendo ser divididos em fatores bióticos e abióticos.

f.1) Fatores bióticos

Os fatores bióticos estão relacionados com os elementos biológicos que afetam uma edificação, tais como: insetos, raízes, bactérias, fungos e algas, entre outros.

Segundo Uemoto (1999) e Cincotto (1988), tanto fungos, quanto algas e líquens “podem formar manchas de diversas cores nas fachadas, causando efeitos e aspectos indesejáveis e, em alguns casos, podendo até comprometer o revestimento superficial da edificação, colocando o revestimento da alvenaria de fachada exposto às intempéries”.

O principal efeito encontrado devido a estes fatores é o bolor. Conforme Alucci et al. (1988), “o desenvolvimento de bolor ou mofo em edificações pode ser considerado como um grande problema com grandeza econômica e ocorrência comum em regiões tropicais. Essa patologia provoca alteração na superfície, exigindo na maioria das vezes a recuperação ou até mesmo a necessidade de se refazer revestimentos, gerando gastos dispendiosos”.

O crescimento de bolor está diretamente ligado, conforme os autores citados anteriormente, à existência de umidade (alto teor no elemento o qual estão ou no ar). É comum o

emboloramento em paredes umedecidas por infiltração de água ou vazamento de tubulações. O emboloramento nada mais é do que uma alteração que pode ser constatada macroscopicamente na superfície de diferentes materiais, sendo consequência do desenvolvimento de microorganismos pertencentes ao grupo dos fungos. Assim, como todos os organismos vivos, estes possuem seus desenvolvimentos afetados com as condições ambientais, sendo a umidade um fator essencial.

Os fungos precisam sempre de um teor de umidade elevado no material onde se desenvolvem ou uma umidade relativa bastante elevada no ambiente. As formas dessa presença de água nos componentes internos e externos da edificação já foram citadas nos itens anteriores, tais como, por exemplo, umidade proveniente de vazamentos, da obra, do solo, das chuvas, etc.

Para se evitar que o bolor aconteça nas edificações, já na fase de projeto, medidas devem ser tomadas. Essas medidas visam garantir uma ventilação, iluminação e insolação adequada aos ambientes, assim como idealizar a diminuição de risco de condensação nas superfícies internas dos componentes e também evitar riscos de infiltração de água através de paredes, pisos e/ou tetos.

f.2) Fatores abióticos

Uemoto (1999) relaciona os fatores abióticos aos fatores bióticos no que se refere aos fenômenos que contribuem para o seu desenvolvimento, tais como a umidade, a temperatura, os constituintes dos materiais, a insolação, a luz e os ventos. Embora a pesquisadora destaque o conjunto desses fatores como influenciadores no crescimento dos agentes biológicos, Wriarth (1968) afirma que “o teor de umidade contido na superfície da fachada é o fator mais importante que determina o padrão de crescimento dos organismos vivos. O umedecimento das superfícies depende das condições climáticas onde o edifício está implantado. Em regiões mais protegidas dos ventos, onde a umidade é maior, o crescimento é mais acentuado”.

A natureza da superfície é muito importante na determinação do tipo de organismo e do seu padrão de crescimento. Os produtos à base de materiais orgânicos, como tintas e vernizes, são

facilmente colonizados por agentes biológicos que usam o carbono de seus constituintes como fonte de alimento. Os substratos de base inorgânica, apesar de não possuírem carbono em sua composição, podem reter materiais particulados - como a poluição atmosférica que deposita partículas compostas de carbono, enxofre e nitrogênio na superfície das fachadas – que servem como nutrientes para o desenvolvimento de micro organismos. As características físicas do substrato, como a textura ou a rugosidade, interferem na retenção de partículas da atmosfera. A porosidade aberta influencia a absorção de água no material, permitindo maior retenção da água de chuva, e auxiliando no desenvolvimento de agentes biológicos.

g) Por retração hidráulica³⁶ das argamassas

Nas argamassas de revestimento a incidência de fissuras, sem que haja movimentação ou fissuração da base (blocos), ocorre devido a fatores relativos à execução do revestimento argamassado, como por exemplo por retração hidráulica, além das solicitações higrotérmicas.

O endurecimento das argamassas é acompanhado por uma diminuição de volume, devido à perda de água em excesso por evaporação ou por reações de hidratações. Este fenômeno é conhecido como retração da argamassa e é uma das principais causas de patologias nos revestimentos de argamassa numa alvenaria. Também o excesso de finos acarreta maior consumo de água de amassamento, gerando maior retração por secagem (BAUER, 2001). O problema mais significativo, decorrente da retração de argamassa de assentamento de alvenarias, é aquele presente em fachadas constituídas por alvenaria aparente. Nestas, a penetração de água através de fissuras ou destacamentos gera uma série de patologias correlacionadas, como manchas de umidade, bolor e lixiviação.

Retrações consideráveis, devido a uma deficiente composição da argamassa e/ou da inadequada execução dos trabalhos (assentamento de blocos muito secos, por exemplo), em geral

³⁶ A **retração hidráulica** acontece nas primeiras idades do concreto ou argamassas (a grande maioria, na primeira semana), podendo indicar que o material não está sendo adequadamente curado. A cura inadequada pode gerar uma série de problemas, desde fissuras e empenamentos, até baixas resistências à abrasão.

originam micro fissuras e destacamentos quase imperceptíveis a olho nu. Algumas vezes, porém, o problema assume maiores proporções.

A retração de alvenarias, além de destacamentos nas regiões de ligação com componentes estruturais, induzirá também à formação de fissuras no próprio corpo da parede. Estas poderão ocorrer nos encontros entre paredes, no terço médio de paredes muito extensas, em regiões onde ocorra uma abrupta mudança na altura ou na largura da parede, e em seções enfraquecidas pela presença de tubulações, conforme está indicado na Figura 2.32.

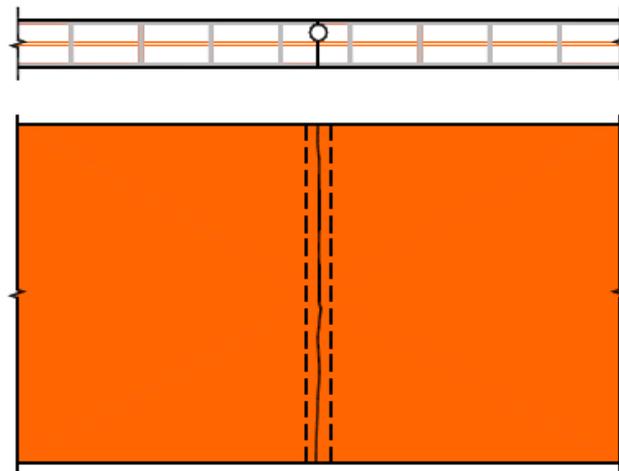


Figura 2.32 - Fissura decorrente da retração da argamassa na alvenaria pela presença de tubulação (Fonte: THOMAZ, 1989).

h) Eflorescência em argamassas

A eflorescência é decorrente de depósitos salinos principalmente de sais de metais alcalinos (sódio e potássio) e alcalino-terrosos (cálcio e magnésio) na superfície de alvenarias, provenientes da migração de sais solúveis presentes nos materiais e nos componentes da alvenaria. As eflorescências devem alterar a aparência da superfície sobre a qual se depositam e em determinados casos seus sais constituintes podem ser agressivos, causando desagregação profunda, como nos casos expansivos. A eflorescência é causada por 3 (três) fatores de igual importância:

- (1) o teor de sais solúveis existentes nos materiais ou componentes;
- (2) a presença de água; e
- (3) a pressão hidrostática necessária para que a solução migre para a superfície.

Essas três condições devem existir concomitantemente, pois, caso uma delas seja eliminada, não ocorrerá o fenômeno.

Os sais solúveis podem ser provenientes dos materiais ou componentes das alvenarias ou dos revestimentos ou na água de amassamento. No caso de materiais cerâmicos, as possíveis fontes de sais são as matérias-primas cerâmicas, a água usada na fabricação e a reação de componentes da massa com óxido de enxofre do combustível, durante a secagem e início da queima das unidades da alvenaria. Outra situação possível é a reação entre o cimento da argamassa que contém hidróxidos alcalinos e os blocos (sulfato de cálcio), resultando em sulfatos de sódio e de potássio (BAUER, 2001).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Para verificação da hipótese dessa pesquisa e alcance dos objetivos propostos, realizou-se um estudo de caso em empreendimento habitacional de interesse social, no município de Jundiaí, Estado de São Paulo. Para tanto, desenvolveram-se as seguintes ações: (1) a caracterização do empreendimento e do seu entorno, incluindo a determinação do universo e da amostra da pesquisa; (2) a caracterização das habitações e dos parâmetros de avaliação das alvenarias das habitações, onde são indicados os seus aspectos construtivos, os seus componentes e das especificações recomendadas que impactem no desempenho à durabilidade, bem como os ensaios realizados nos componentes da alvenaria; (3) o acompanhamento da execução das obras, onde são apresentados os detalhes construtivos das etapas de construção via registro fotográfico; e, (4) o registro das patologias no elemento “alvenaria” das habitações através de inspeção de campo, com a indicação dos materiais e equipamentos utilizados. A inspeção de campo, descritiva, na forma de estudo de caso, permitiu verificar e registrar as manifestações patológicas nas alvenarias das habitações de um empreendimento de interesse social, constituído ao final de sua execução por 2.026 unidades, executado em sistema construtivo que não possui homologação completa quanto ao seu desempenho, em especial quanto ao desempenho de durabilidade à luz da NBR 15.575:2008.

3.1 Caracterização do empreendimento e do seu entorno

O empreendimento está situado na cidade de Jundiaí, que está localizada entre os dois principais centros urbanos do Estado de São Paulo, distando 60 Km da Capital, a cidade de São Paulo, e 40 Km da cidade de Campinas, ambas sedes de Regiões Metropolitanas. Além dessa

peculiar localização geográfica de Jundiaí, o acesso à cidade é facilitado pelo sistema ferroviário e pelo sistema rodoviário existentes. Pode se dar através da ferrovia Santos-Jundiaí (que passa pela cidade de São Paulo) e pela ferrovia iniciada em Jundiaí que se ramifica para o interior do Estado de São Paulo (que passa pela cidade de Campinas). E através das rodovias Anhanguera – SP 330 (eixo São Paulo à Campinas), Bandeirantes – SP 348 (eixo São Paulo à Campinas) e Dom Gabriel Paulino Bueno Couto – SP 300 (na direção das cidades de Itu / Sorocaba e interior do Estado). Na Figura 3.1 estão indicados os acessos citados à cidade com indicação da localização do empreendimento.



Figura 3.1 – Acessos à Cidade de Jundiaí e ao empreendimento (Fonte: Jundiaí, 2009).

Esses fatores de localização e acessos conferiram à cidade de Jundiaí um desenvolvimento industrial acentuado com indústrias mecânicas, metalúrgicas, alimentícias, entre outras. Contudo, apesar desse contexto de força econômica, há o problema da falta de moradias relacionado à demanda não atendida, isto é, reprimida, como nas demais regiões urbanizadas do País e agravado durante as décadas de 1970 e 1980, quando o Município de Jundiaí sofreu um alto crescimento populacional devido ao movimento migratório ocasionado pela procura de emprego.

Esse “problema habitacional no Município está composto de diferentes demandas: por famílias que vivem em imóveis alugados, imóveis cedidos, em cortiços e em favelas” (FUMAS, 2004). O déficit habitacional absoluto do município, para o ano de 2.000, estava em 6.332 unidades. Para a microrregião de Jundiaí chegava em 10.106 unidades (JOÃO PINHEIRO, 2005). Na Figura 3.2 demonstra-se o déficit corrente absoluto para o ano 2.000 na Região de Jundiaí:

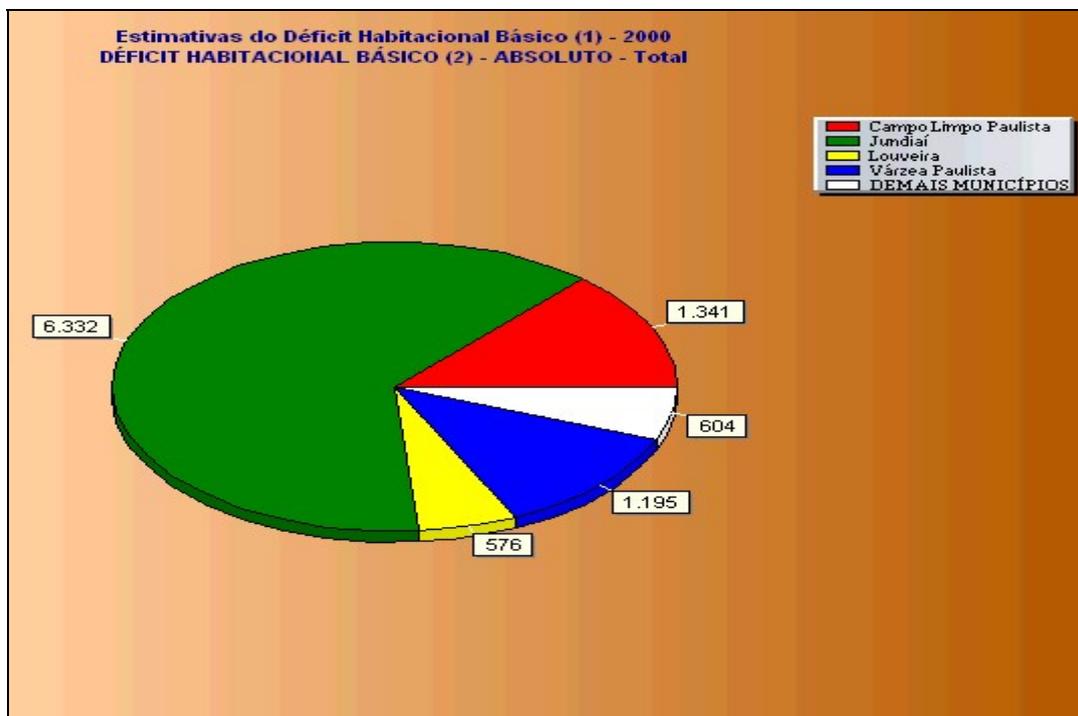


Figura 3.2 – Déficit habitacional absoluto – ano 2.000, Região de Jundiaí – SP.
(Fonte: Fundação João Pinheiro, 2005)

O loteamento “Fazenda Grande” está localizado no Vetor Oeste da cidade, com acesso pela Rodovia Dom Gabriel Paulino Bueno Couto e entrada pela Avenida Henrique Brunini – Bairro Medeiros, situada a 500 metros do trevo da cidade de Itupeva. O empreendimento foi aprovado pela Municipalidade através do Decreto nº 13.083, de 16 de novembro de 1992, e atendeu às leis municipais nº 2317/78 e 2450/80. O registro imobiliário ocorreu em 26 de junho de 1997 no R.2 da matrícula nº 51.865, do 1º Ofício do Registro de Imóveis da Comarca de Jundiaí (FUMAS, 2004).

O empreendimento engloba uma área total de 694.934,10 m², dos quais 418.791,61 m² foram reservados para os lotes residenciais. Há, também, lotes para destinação exclusiva ao uso comercial e de serviços. Tal empreendimento compreendeu 3 (três) fases de execução: a primeira com 464 (quatrocentos e sessenta e quatro) habitações, com tipologias habitacionais térreas geminadas; a segunda com 534 (quinhentas e trinta e quatro) habitações, com tipologias habitacionais térreas isoladas; e a terceira com 1.028 (um mil e vinte e oito) habitações, com tipologias habitacionais térreas isoladas. Na Figura 3.3 está a indicação do Loteamento, com suas fases construtivas e ruas.

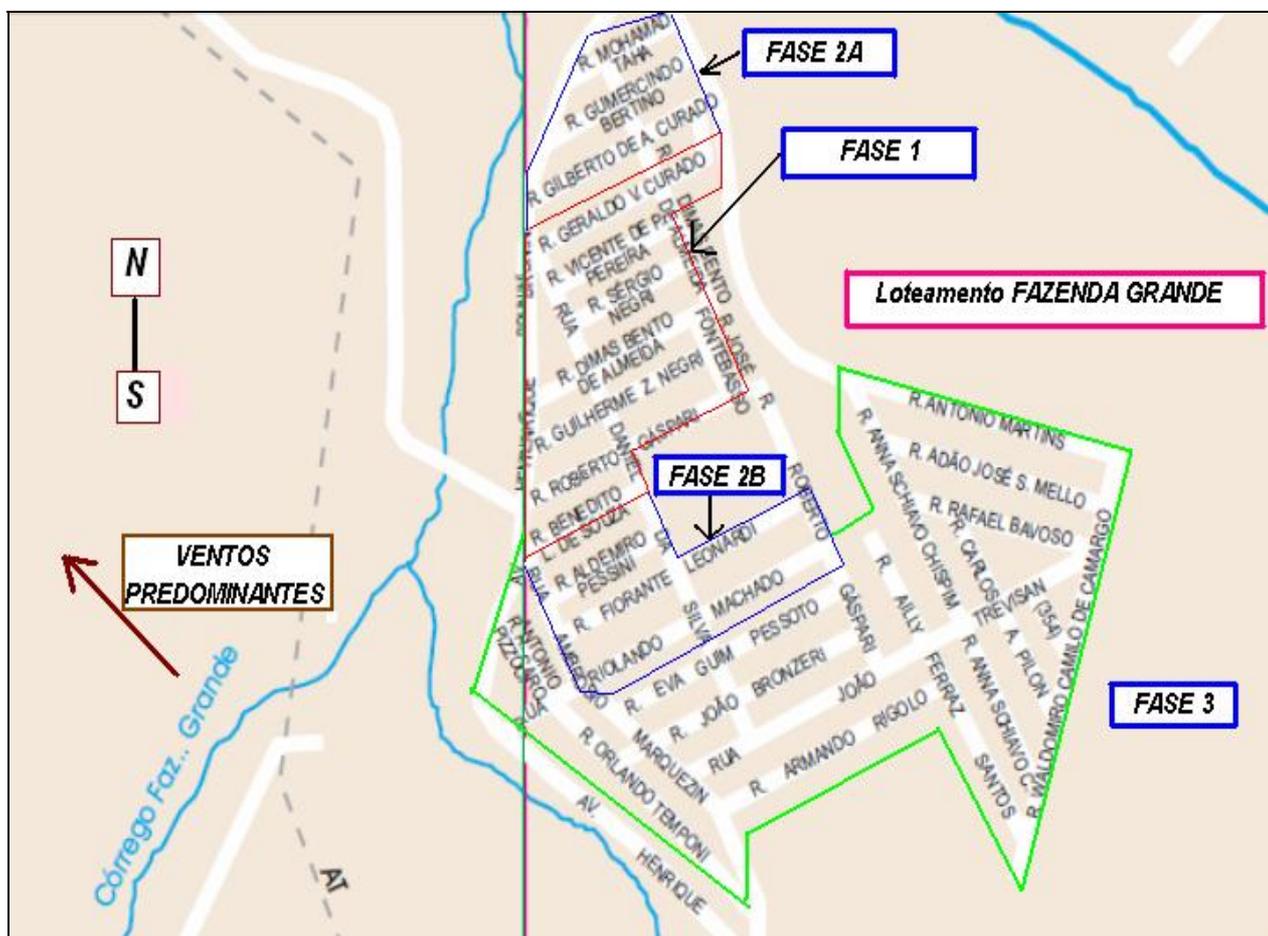


Figura 3.3 – Loteamento Fazenda Grande, cidade de Jundiaí-SP.

Em outubro de 2.002 foi entregue a primeira Fase. Do total de unidades habitacionais dessa fase, 164 (cento e sessenta e quatro) habitações possuem 1 (um) dormitório, sala, cozinha, banheiro e área de serviço (32,20 m² de área construída) e 300 (trezentas) habitações possuem 2

(dois) dormitórios, sala, cozinha, banheiro e área de serviço (41,72 m² de área construída). No ANEXO A estão os projetos das habitações dessa primeira Fase. Também faz parte dessa etapa do empreendimento um centro comunitário com 289,44 m² de área construída, contendo um salão, uma sala para cursos, dois banheiros, uma cozinha, uma churrasqueira, uma despensa e um *playground*.

Em abril de 2.004 foi entregue a segunda fase do empreendimento, sendo 228 (duzentos e vinte e oito) habitações com 1 (um) dormitório, sala, cozinha, banheiro e área de serviço (36,02 m² de área construída); 198 (cento e noventa e oito) habitações com 2 (dois) dormitórios, sala, cozinha, banheiro e área de serviço (44,85 m² de área construída) e 108 (cento e oito) habitações com 3 (três) dormitórios, sala, cozinha, banheiro e área de serviço (54,37 m² de área construída). Faz parte dessa segunda fase um centro comunitário com 289,44 m² de área construída, contendo um salão, uma sala para cursos, dois banheiros, uma cozinha, uma churrasqueira, uma despensa e um *playground*.

Em 2.005 foi iniciada a terceira fase do empreendimento, com unidades habitacionais nas tipologias de 1 (um), 2 (dois) e 3 (três) dormitórios. Também foram previstos mais 2 (dois) centros comunitários, um para cada grupo de 500 (quinhentas) unidades habitacionais dessa fase. Parte dessa Fase já foi entregue aos usuários, conforme a modulação aprovada de construção (etapas) previamente acordada entre o Poder Público municipal e a Caixa Econômica Federal (CAIXA). Essa Fase está com previsão de conclusão para até o final do ano de 2009.

a) Classificação climática de Jundiaí

Segundo a classificação de Koeppen, o clima de Jundiaí está enquadrado na classificação **Cwa**, caracterizado pelo clima tropical de altitude, com chuvas no verão e seca no inverno, com a temperatura média do mês mais quente superior a 22°C.

Na Tabela 3.1 estão demonstradas as temperaturas máximas, mínimas e médias, referências mensais e anual, bem como o índice de precipitações mensais e anual, relativos ao ano de 2007, para a cidade de Jundiaí (UNICAMP, 2008).

Tabela 3.1 – Clima da cidade de Jundiaí, 2007 (Fonte: UNICAMP, 2008).

<i>Jundiaí - Classificação Climática de Koeppen: Cwa</i> <i>Latitude: 23°6'' - Longitude: 46°31'' - Altitude: 680 metros</i>				
<i>Mês</i>	<i>Temperatura do ar (°C)</i>			<i>Chuva (mm)</i>
	<i>mínima média</i>	<i>máxima média</i>	<i>média</i>	
JAN	19.0	29.0	24.0	222.6
FEV	18.3	29.2	23.8	178.5
MAR	18.0	29.0	24.0	143.2
ABR	14.8	27.0	20.9	63.9
MAI	12.0	25.0	18.5	70.8
JUN	10.5	23.8	17.1	48.5
JUL	9.9	23.9	16.9	39.3
AGO	11.2	25.9	18.6	37.7
SET	13.2	26.9	20.0	67.2
OUT	14.9	27.5	21.2	123.2
NOV	15.9	28.2	22.1	142.1
DEZ	18.0	29.0	24.0	213.5
Ano	14.6	27.0	20.9	1350.5
Min	9.9	23.8	16.9	37.7
Max	19.0	29.2	24.0	222.6

Já segundo a classificação do Zoneamento Bioclimático brasileiro, conforme a NBR 15.220-3, a cidade de Jundiaí-SP pode ser considerada como pertencente à mesma Zona bioclimática das cidades entre as quais está situada: Campinas, São Paulo e Sorocaba, todas na **Zona 3**, conforme indicado na Tabela 3.2.

Tabela 3.2 – Classificação climática das cidades circunvizinhas da cidade de Jundiaí-SP.
(Fonte: NBR 15.220-3)

<i>Estado</i>	<i>Cidade</i>	<i>Zona</i>
SP	Campinas	3
SP	São Paulo	3
SP	Sorocaba	3

Assim, para a cidade de Jundiaí o zoneamento bioclimático, na **Zona 3**, possui clima classificado como mesotérmico seco (ou tropical de altitude). A temperatura mínima média é de 14,3C° e a temperatura máxima média é de 27,5C°, com temperatura média anual igual a 20,9C°. Na Figura 3.4 está indicada a Zona bioclimática 3.

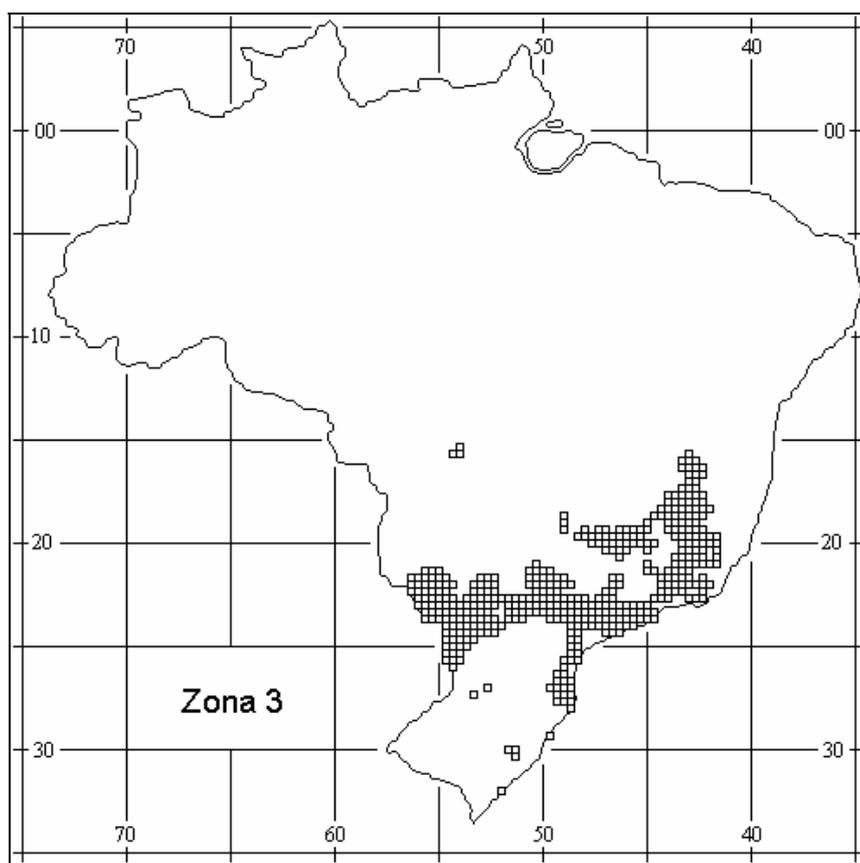


Figura 3.4 – Zona bioclimática 3 (Fonte: NBR 15.220-3).

Os ventos predominantes no município de Jundiaí vêm do sudeste e a precipitação média anual numa série histórica (de 1941 a 1995, medida na Estação Experimental Jundiaí do Instituto Agrônomo de Campinas) é de 1.385,2 mm. A temperatura máxima absoluta já

registrada na série histórica do Instituto Agronômico de Campinas (IAC) foi de 38,9C°, em 04/02/1971, e a temperatura mínima absoluta foi de -3,1C°, em 18/05/1968. A mínima média anual foi de 14,3C° e a máxima média anual foi de 27,5C°, com temperatura média anual igual a 20,9C°³⁷. Quanto à média anual da umidade relativa do ar, foi registrada em 70,7%. A insolação média anual ficou em 2.480 horas³⁸.

Considerando que esta Tese se restringe aos parâmetros relativos às vedações, as diretrizes construtivas desses elementos para se adequarem à Zona Bioclimática 3 (segundo a NBR 15.220-3) são apresentadas nas Tabelas 3.3 a 3.5:

- (1) classificação das aberturas externas para ventilação (janelas) e o sombreamento mais adequado dessas aberturas no inverno;
- (2) classificação das vedações externas (alvenarias externas e cobertura); e
- (3) condicionamento térmico interno passivo.

Tabela 3.3 – Aberturas e sombreamentos em habitações populares (Fonte: NBR 15.220-3).

<i>Aberturas para ventilação</i>	<i>Sombreamento das aberturas</i>
Médias	Permitir sol durante o inverno

Tabela 3.4 – Tipos de vedações externas para a Zona Bioclimática 3 (Fonte: NBR 15.220-3).

<i>Vedações externas</i>
Parede: Leve Refletora
Cobertura: Leve Isolada

Tabela 3.5 - Estratégias de condicionamento térmico passivo para a Zona Bioclimática 3. (Fonte: NBR 15.220-3).

<i>Estação</i>	<i>Estratégias de condicionamento térmico passivo</i>
Verão	J) Ventilação cruzada
Inverno	B) Aquecimento solar da edificação C) Vedações internas pesadas (inércia térmica)

³⁷ Fonte: Instituto Agronômico de Campinas – IAC.

³⁸ Fonte: Instituto Agronômico de Campinas – IAC.

b) Características do relevo e da vegetação locais.

O relevo do Município de Jundiaí encontra-se na compartimentação geomorfológica do “Planalto Atlântico”, compreendendo as subdivisões “Planalto de Jundiaí e Serras de São Roque”, caracterizadas predominantemente por relevo de morros. A região é próxima à zona de transição para a “Depressão Periférica Paulista”. Este conjunto de diferenças de nível é que dá ao relevo da cidade um aspecto irregular, repleto de “altos” e “baixos” (ROSS, 2001).

A micro-região do empreendimento “Loteamento Fazenda Grande” é relativamente homogênea quanto à vegetação, campos, e está situada ao oeste do Distrito Industrial (situado numa área plana, originalmente de várzea próxima do Rio Jundiaí), ao norte do aglomerado urbano consolidado mais próximo (Parque Eloy Chaves), ao sul da planície circundante do Rio Jundiaí e ao nordeste da Serra do Japi, de vegetação classificada como mata atlântica, mais distante.

3.1.1 Universo e amostra do estudo de caso

A estudo de caso foi delimitado nesta Tese à primeira etapa (Fase 1) do empreendimento “Loteamento Fazenda Grande”, constituído de 464 unidades habitacionais (U.H.), que é a parte mais antiga entregue aos usuários em outubro de 2.002, com unidades residenciais na tipologia térrea geminada, construída por duas empresas construtoras (“A” e “B”) aprovadas pelo Poder Público municipal e pelo agente financiador, a Caixa Econômica Federal (CAIXA).

O universo da pesquisa realizada, a Fase 1 do empreendimento, está identificada na Figura 3.5.

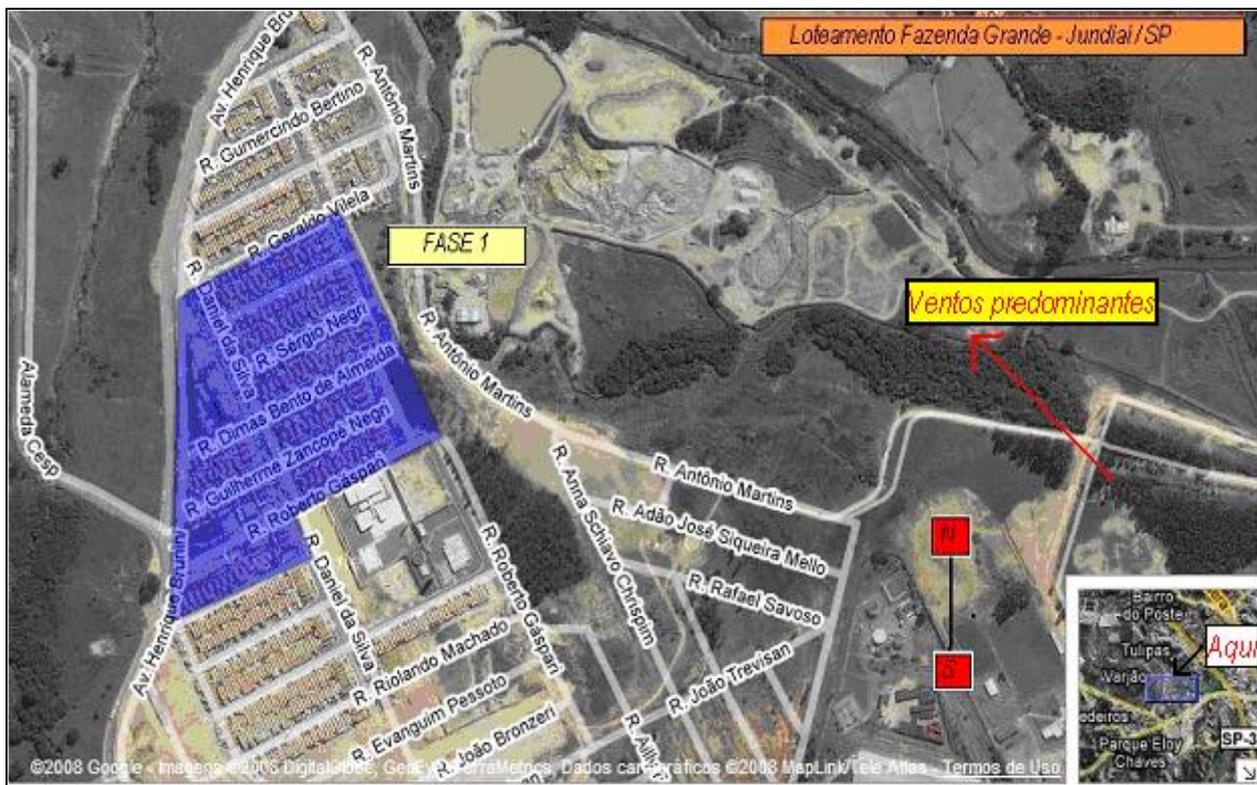


Figura 3.5 – Delimitação da Fase 1 do empreendimento “Fazenda Grande”.
(Fonte: Empreendimento Fazenda Grande, 2009)

Deve-se ressaltar que a escolha da população alvo da inspeção de campo ficou circunscrita à Fase 1 do empreendimento basicamente por dois fatores: (a) parte mais antiga entregue aos usuários; e (b) tipologia geminada. No entanto, para as outras fases do loteamento “Fazenda Grande” (2 e 3) o sistema construtivo em cada uma delas pouco difere daquele da Fase 1. A diferença relevante está na tipologia: geminada para a Fase 1 e isolada para as Fases 2 e 3.

Considerando esse universo de elementos para se proceder ao estudo de caso, optou-se por trabalhar a pesquisa a partir de uma amostra representativa. A amostragem escolhida foi a do tipo sistemática, variação da amostragem aleatória simples. Conforme Gil (2002), “para efetuar a escolha da amostra procede-se à seleção de um ponto de partida entre 1 e o inteiro mais próximo à razão da amostragem (o número de elementos da população pelo número de elementos da amostra)”, que também se aplica ao estudo de caso. O intervalo de amplitude é calculado pela fórmula:

$$i = \eta/\mu \tag{1}$$

onde:

η = população; e

μ = número de elementos da amostra determinada.

Gil (2002) ressalta que “a composição da amostra por esse processo é bastante simples. Porém, deve ficar claro que só é aplicável aos casos em que se possa previamente identificar a posição de cada elemento num sistema de ordenação da população”. É o caso no presente trabalho.

Nesta pesquisa, utilizando a tabela apresentada pelo citado autor, têm-se os seguintes parâmetros:

- População – 464 unidades habitacionais, térreas, geminadas, entregues aos usuários em outubro de 2.002 (Fase 1 do empreendimento);
- Amostra – quantidade de unidades para a pesquisa, com um nível de confiança de 95,5%, margem de erro de aproximadamente 10%. Na Tabela 3.6, apresentada por Gil (2002), temos a amplitude da amostra para cada faixa de população de um universo considerado. Assim, chegou-se a uma amplitude da amostra igual a 83 unidades.

Tabela 3.6– Determinação da amplitude de uma amostra tirada de uma população finita com margem de erro de 10% e coeficiente de confiança de 95,5% (Fonte: GIL, 2002).

<i>Amplitude da população (universo)</i>	<i>Amplitude da amostra com a margem de erro de 10%.</i>
< 1000	83
1000	91
1500	94
2000	95

Assim, a razão da amostragem (inspeção de campo) ficou igual aproximadamente a 6 (intervalo entre as unidades pesquisadas). Após a escolha das unidades habitacionais seguindo a razão da amostragem, foi efetuada a escolha das unidades faltantes dentre as unidades da amostra

não pesquisadas segundo a razão da amostragem, através de sorteio para completar o número total previsto igual a 83 unidades.

Nas Figuras 3.6 a 3.8 estão demonstradas as unidades habitacionais que constituem a amostra da pesquisa, através de fotos por satélite³⁹. Na Figura 3.6 está a parte da Fase 1 mais ao norte do empreendimento.



Figura 3.6 – Mapa 1: unidades pesquisadas na Fase 1 do Loteamento Fazenda Grande.

Na Figura 3.7 está o mapa com a parte central da Fase 1 do empreendimento.

³⁹ Fonte: **Google Maps**, em <<http://maps.google.com.br/maps?hl=pt-BR&tab=w1>>. Pesquisado em 28fev2009, 19h25.



Figura 3.7 – Mapa 2: unidades pesquisadas na Fase 1 do Loteamento Fazenda Grande.

E na Figura 3.8 está o mapa com a parte ao sul da Fase 1 do empreendimento.



Figura 3.8 – Mapa 3: unidades pesquisadas na Fase 1 do Loteamento Fazenda Grande.

a) Período da realização da inspeção de campo e características atuais do loteamento.

Quanto ao período da realização da pesquisa de campo, foi efetivado entre dezembro de 2.007 e março de 2.008, preferencialmente aos sábados e domingos, com a intenção de encontrar as pessoas que estivessem ocupando em definitivo as unidades habitacionais. Entre novembro e dezembro de 2.008 foi efetuada revisão no local através de vistorias expeditas.

b) Projetos do empreendimento e das unidades habitacionais.

No ANEXO (A) da Tese estão os projetos da implantação geral do “Loteamento Fazenda Grande” e das tipologias das habitações da Fase 1.

3.2 Caracterização das unidades habitacionais (U.H.)

As etapas construtivas da execução da obra de uma unidade habitacional (U.H.) do empreendimento são as indicadas em seguida, conforme memorial descritivo depositado na Caixa Econômica Federal (CAIXA, 2001). No item 3.3 (acompanhamento da execução das obras do empreendimento) estão inseridas fotos das etapas da implantação do loteamento e da construção das moradias.

a) Infra-Estrutura.

A fundação das unidades habitacionais foi do tipo “laje superficial”, denominada *radier*, com 8 cm de espessura de concreto com Fck de 15 MPa, no traço 1:3:5, com armadura dupla, positiva e negativa, constituída de tela (ou malha) soldada em aço CA-60, em rolo, tipo Q138, espaçamento 10x10 cm, diâmetro das barras igual a 4,2 mm. Nos alinhamentos das paredes previstas, conforme projeto, houve reforço na armadura em malha de aço CA-60, em rolo, tipo Q61, espaçamento 15x15 cm, diâmetro das barras igual a 3,2 mm.

Os terrenos foram previamente regularizados e patamarizados e nos locais em aterro houve compactação com controle do grau de compactação de no mínimo 95% PN (Proctor Normal).

A locação da fundação superficial (*radier*) foi feita topograficamente com marcação com gabarito metálico no entorno. A forma de borda tem altura de 11 (onze) cm para conter camada de brita compactada nº 2 com espessura de 3 cm, que serve como lastro, mais a camada de 8 cm de concreto sobre esta. A forma foi nivelada com nível e têm dispositivo para a fixação dos gabaritos para posicionamento nos locais corretos das saídas (ou entradas) das tubulações enterradas relativas às instalações elétricas e às hidráulico-sanitárias. Entre a camada de brita e a laje de concreto da fundação superficial (*radier*) foi colocada uma manta plástica com o objetivo de evitar a perda da nata de cimento da camada de concreto para os vazios da camada de brita, abaixo. Também como objetivo da aplicação da manta plástica foi a intenção de evitar o contato da camada de concreto da laje com uma possível umidade existente no solo.

As telas de armação foram posicionadas através de espaçadores plásticos ou metálicos e foram colocadas barras de aço CA-60 de diâmetro de 6,3 mm ao longo das bordas para reforço.

O concreto das lajes da fundação superficial (*radiers*) foi lançado de duas maneiras: na forma manual (convencional) ou por caminhão betoneira (industrializada), e foi sarrafeado e desempenado, de modo a constituir-se na superfície do piso interno das habitações nos ambientes onde não houve a previsão da aplicação de piso cerâmico.

Para a cura do concreto da laje da fundação superficial, posteriormente ao acabamento da superfície, foi estendida uma manta de feltro que foi mantida úmida por, no mínimo, 3 (três) dias.

Antes de se iniciar o assentamento da primeira fiada das alvenarias, foram aplicadas no respaldo da fundação, sobre as canaletas das paredes de divisa e do alinhamento das paredes, camadas de argamassa de cimento e areia, no traço 1:3, com adição polimérica, e pintura com Neutrol[®] com o objetivo de impedir a umidade na base das alvenarias e sua ascensão por capilaridade.

b) Superestrutura.

A superestrutura das unidades habitacionais é constituída: (1) pelas alvenarias de vedação em blocos cerâmicos de furos prismáticos (quadrados), revestidas interna e externamente em massa única (emboço paulista) sobre chapisco, os elementos de fechamento das aberturas (portas e janelas); (2) pelas lajes de forro em todos os ambientes internos, executadas com vigotas de concreto e lajotas cerâmicas e revestidas nas faces internas dos ambientes da habitação com massa única (emboço paulista) sobre chapisco; e (3) pela cobertura, que será discriminada na seguinte alínea (c).

As alvenarias foram executadas para funcionar como estruturas auto-portantes, com a utilização de blocos cerâmicos de vedação. As características dos blocos cerâmicos foram: 8 (oito) furos prismáticos, assentados com os furos no sentido horizontal, bem cozidos e não vitrificados, com porosidade específica inferior a 20% e nas dimensões de 9x19x19 cm (largura x comprimento x altura). No assentamento e no revestimento dos blocos cerâmicos foi utilizada argamassa mista de cimento, cal hidratada e areia média peneirada no traço 1:2:9.

A fim de evitar a ascensão da umidade nas alvenarias, pela ação de chuvas ou ações de limpeza após a ocupação do imóvel pelos seus usuários, as 2 (duas) primeiras fiadas de blocos foram aplicadas com argamassa de assentamento de cimento e areia no traço 1:3 misturada com impermeabilizante do tipo Vedacit[®].

Não houve a previsão de pilares de concreto armado nos encontros das alvenarias da unidade habitacional (U.H.), nem de vigas. Nos encontros das alvenarias houve a execução de pilaretes constituídos de blocos cerâmicos vazados preenchidos com *graute* de cimento, cal hidratada, areia e pedrisco limpo no traço 1:0,1:2,5:3, seja nos cantos da habitação ou ao meio de paredes contínuas mais extensas, com a finalidade de reforçá-las. Nesses pilaretes com *graute* houve a colocação de 2 (duas) barras de aço CA-60, diâmetro 8 mm. E na última fiada da alvenaria foram executadas cintas de amarração com blocos cerâmicos canaletas para solidarizar as diversas paredes, preenchidas com concreto no traço 1:3:5 e Fck previsto de 15,0 MPa, com duas barras de aço CA-60, diâmetro 6,4 mm.

Na Figura 3.9 estão demonstrados o bloco comum, de 8 furos prismáticos, e o bloco vazado para uso em canaletas ou pilaretes.

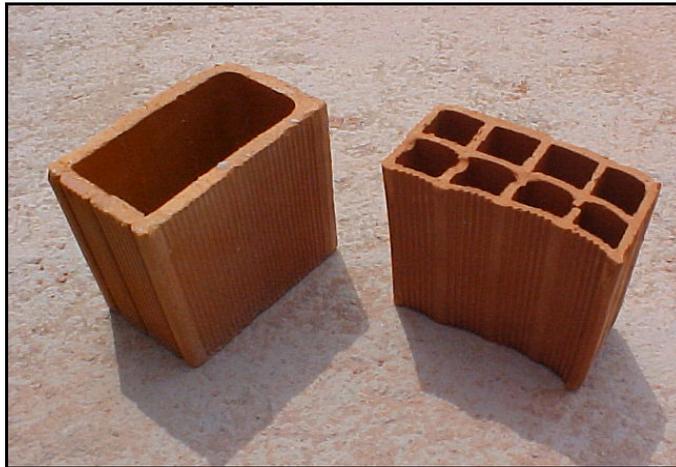


Figura 3.9 – Componentes da alvenaria das habitações (blocos).

c) Cobertura.

A cobertura foi executada com estrutura de madeira e telhas cerâmicas vermelhas, tipo romana, com beirais de 0,42m. A estrutura de madeira da cobertura foi suportada pela própria alvenaria ou lajes, não havendo o uso de tesouras. Nas bordas dos beirais houve a execução do acabamento com tabeiras em cedrinho aparelhado e no apoio das terças na alvenaria foi feita uma amarração na armação dos pilaretes dos encontros de paredes ou da laje sobre a canaleta da última fiada da alvenaria para garantir a estabilidade do telhado quando submetido à ação de ventos mais intensos. Ao longo do contato da cobertura com as paredes externas foi executada uma calafetação com argamassa de cimento e areia no traço 1:3 de modo a impedir a passagem de vento, a entrada de pássaros ou de outros animais. A sustentação da estrutura do telhado também foi executada através de pontaletes sobre as lajes.

d) Esquadrias de Madeira.

As esquadrias de madeira foram aplicadas apenas na parte interna nas habitações: as portas dos dormitórios (dimensão 0,80x2,10m) e a do banheiro (dimensão 0,70x2,10m). Os batentes, também em madeira, foram solidarizados nas alvenarias por fixadores metálicos “chumbados” ou parafusados. As folhas das portas são em chapas duras e encabeçadas, com espessura mínima de 3,5 cm. A ligação entre os batentes e as folhas das portas foi feita com a aplicação de 2 (duas) ou 3 (três) dobradiças e o vão entre o batente e a alvenaria foi fechado com a aplicação de guarnições. As fechaduras são embutidas no encabeçamento das portas e os tipos utilizados foram: tipo “gorges” nos dormitórios e tipo “tranqueta” no banheiro.

e) Esquadrias Metálicas.

As esquadrias metálicas foram constituídas pelas portas e janelas externas (todas as janelas dos ambientes: sala - 1,20x1,00m; cozinha - 1,20x1,00m; banheiro - 1,00x0,60m; dormitório - 1,20x1,00m) e as portas da sala - dimensão 0,80x2,10m - e da cozinha – dimensão 0,80x2,10m. As citadas esquadrias são em chapa de aço resistente à corrosão, industrializadas e fornecidas com aplicação de uma camada de tinta anti-ferruginosa, aplicada após o processo de fabricação. A fixação das esquadrias foi feita com a aplicação de conjuntos parafuso e bucha e a vedação da fresta entre as esquadrias e as alvenarias foi efetuada pela aplicação de silicone.

f) Revestimentos.

Todas as alvenarias foram revestidas externamente e internamente, assim como as lajes na face interna dos ambientes da habitação. Os revestimentos foram constituídos de:

- ❖ uma camada de chapisco de cimento e areia grossa no traço 1:4;
- ❖ uma camada de massa única (emboço paulista), de cimento, cal hidratada e areia fina no traço 1:2:9, na espessura média de 15 mm, nas paredes interna e externamente e na face da laje para o ambiente interno da moradia;
- ❖ nas paredes hidráulicas das cozinhas, até a altura de 1,60m, e em todas as paredes dos banheiros, até o teto, sobre a camada de chapisco, foram aplicados azulejos brancos na

dimensão 15x15 cm, com acabamento junta a prumo, assentes com argamassa colante pré-fabricada. A largura das juntas entre as fiadas de azulejos foi de 2 mm;

❖ nos banheiros foram colocados, concomitantes aos azulejos: porta-papel, porta-toalha, cabide e saboneteira.

Quanto aos pisos do banheiro e da cozinha, foram executados em material cerâmico sobre o contra-piso de concreto, na dimensão de 20x30cm, aplicados sobre argamassa cimentícia no traço 1:3. O rejuntamento do piso foi executado com argamassa industrializada. Nos demais ambientes (quartos, circulação e sala), não houve a aplicação de piso cerâmico.

g) Instalações Hidráulico-Sanitárias.

As instalações hidráulico-sanitárias foram executadas segundo as normas prescritivas da ABNT sobre o tema (ABNT NBR 5626; ABNT NBR 8160) e da concessionária local (DAE S/A – Água e Esgoto de Jundiaí), com tubulações de PVC marrom ou branco, dependendo da utilização como abastecimento de água ou esgotamento sanitário, respectivamente. Nas juntas foram utilizadas conexões do mesmo material das tubulações fixadas com cola especial para PVC, do mesmo fabricante das tubulações. As conexões para engates ou torneiras dos aparelhos são em PVC azul com roscas de metal. Após a finalização da execução das instalações hidráulico-sanitárias, foram instalados os aparelhos hidráulico-sanitários (pias, bacia sanitária, torneiras, etc.).

As ligações hidráulico-sanitárias às redes públicas de água e esgoto foram executadas segundo os padrões da concessionária local.

h) Instalações Elétricas.

As instalações elétricas foram executadas de acordo com as normas prescritivas da ABNT (ABNT NBR 5410; ABNT NBR 12483) e da concessionária local (CPFL Piratininga). Há

uma entrada de energia segundo os padrões estabelecidos para residências com até 5 kW. A entrada é interligada a um quadro de distribuição embutido na alvenaria da habitação, conforme projeto. A partir desse quadro, os circuitos tubulados sobem na alvenaria até o nível do telhado. Daí, fixados ao madeiramento do telhado através de roldanas, seguem para os diversos cômodos da habitação, descendo tubulados através dos furos efetuados nos blocos da alvenaria para caixas de ligação de PVC rígido, chumbadas aos blocos cerâmicos. Há caixas baixas, médias e altas, conforme a destinação indicada no projeto elétrico e para ponto de telefone, no padrão da concessionária local. Os pontos de iluminação foram instalados em *plafons* com globo de vidro ou plástico na cor branca leitosa e dimensionados para lâmpadas de 60 W; as tomadas e interruptores foram definidos em projeto elétrico específico e o ponto elétrico para chuveiro automático foi dimensionado para uma potência de até 4.400 W.

i) Pintura.

A pintura das paredes internas foi precedida de lixamento seguido da aplicação de uma demão de selador e acabada com duas demãos de tinta látex PVA nas cores areia ou gelo. Nas paredes externas, após lixadas, foi aplicada uma demão de selador acrílico e acabada com duas demãos de tinta látex acrílica, em cores diversas em tons claros, conforme a fase de construção do empreendimento.

As esquadrias metálicas foram previamente limpas e receberam uma demão de tinta a base de óxido de ferro (zarcão) e uma demão de esmalte sintético na cor grafite ou na cor branca. Após os procedimentos de pintura, os vidros foram fixados e aplicada mais uma demão de esmalte sintético. As esquadrias de madeira receberam duas demãos de pintura nos batentes e guarnições. As folhas de portas, tipo Eucatex[®], já foram instaladas com a pintura de fábrica.

O madeiramento do telhado recebeu uma demão de imunizante para garantir a proteção da estrutura contra o ataque de organismos patogênicos ao material.

3.2.1 Parâmetros referenciais para a avaliação das alvenarias das habitações

Assim, considerando a citada caracterização das unidades habitacionais do empreendimento sob estudo de caso, conforme o memorial descritivo depositado na Caixa Econômica Federal (CAIXA), os parâmetros referenciais em normas prescritivas, na norma de desempenho e em recomendações dos fabricantes dos componentes empregados nas alvenarias do sistema construtivo, relevantes para a comparação e a avaliação da execução das obras no presente trabalho estão indicados neste item.

Preliminarmente foram confirmadas no acompanhamento das obras (demonstrado no próximo item 3.3) a informações contidas no citado memorial descritivo quanto aos componentes aplicados na execução das obras, que foram:

- ❖ blocos cerâmicos de vedação, de furos prismáticos, assentados na direção horizontal; blocos cerâmicos de vedação, vazado, para uso nas canaletas, vergas, contravergas e nos pilaretes e os blocos cerâmicos de vedação Tipo J para uso na cinta de amarração junto ao respaldo das alvenarias com as lajes da cobertura;

- ❖ argamassa de assentamento constituída de cimento, cal e areia;

- ❖ argamassa de revestimento, tipo massa única, constituída da camada de chapisco (cimento e areia grossa) e da camada do emboço (ou reboco), denominada de “paulista”, constituída de cimento, cal e areia fina;

- ❖ *graute* para preenchimento dos pilaretes, das cintas de amarração e das vergas, constituído de cimento, cal, areia e pedrisco.

Os revestimentos cerâmicos (azulejos), aplicados com argamassa pré-fabricada sobre superfícies previamente chapiscadas, não foram considerados relevantes em virtude da pequena área interna aplicada.

Assim, as normas prescritivas, a norma de desempenho ou as recomendações de fabricantes que são parâmetros referenciais quanto aos componentes das alvenarias utilizados no sistema construtivo, são apresentadas nas alíneas relativas a cada um desses componentes.

a) **Blocos cerâmicos de vedação.**

As características ao uso e a indicação das normas prescritivas dos blocos de vedação utilizados no empreendimento estão mencionadas na Tabela 3.7:

Tabela 3.7 – Utilização do componente cerâmico de vedação (Fonte: ABNT NBR 15.270).

<i>Utilização</i>	<i>Tipos de unidades:</i>	<i>Normas regulamentares:</i>
1. Em alvenaria convencional de vedação.		ABNT NBR-15270-1 ⁴⁰ ABNT NBR-15270-3 ⁴¹
2. Adequado para residências térreas ou assobradadas, no sistema reticulado (com vigas e pilares).		
3. Pode ser utilizado em edifícios altos no sistema reticulado (com vigas e pilares).		

É recomendado que a utilização do bloco cerâmico de vedação, em paredes de fechamento simples, seja feita com procedimentos de elevação da alvenaria em modulações (09, 14, 19, 25, 29 e 39), dependendo do comprimento do componente (C), conforme indicado na Figura 3.10.

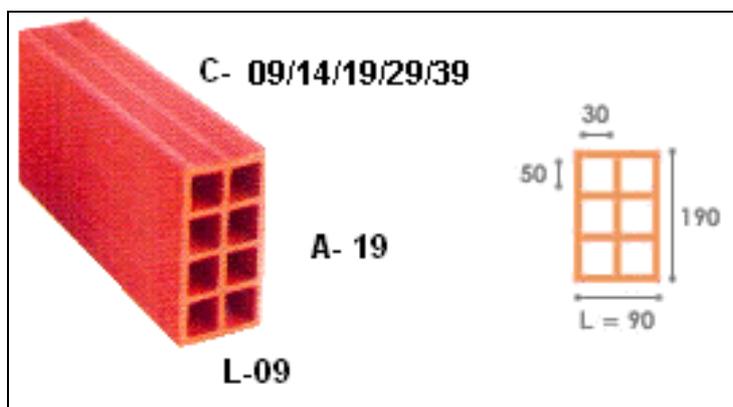


Figura 3.10 – Tijolo cerâmico de vedação, com furos prismáticos horizontais (FK Comércio, 2008).

⁴⁰ **NBR 15270-1:2005** –Componentes cerâmicos – Parte 1: Blocos Cerâmicos para alvenaria de vedação – Terminologia e requisitos (ABNT NBR 15270, 2005).

⁴¹ **NBR 15270-3:2005** –Componentes cerâmicos – Parte 3: Blocos Cerâmicos para alvenaria estrutural e de vedação – Método de ensaio (ABNT NBR 15270, 2005)

Na Tabela 3.8 estão indicadas as especificações dos blocos de vedação utilizados nas alvenarias do empreendimento “Loteamento Fazenda Grande”, em Jundiá.

Tabela 3.8 – Especificações do componente cerâmico (bloco cerâmico de vedação).

<i>Largura (cm)</i>	<i>Altura (cm)</i>	<i>Comprimento (cm)</i>	<i>Peso Médio (kg)</i>
9	19	19	2,10

Nota-se que a largura das unidades da alvenaria (blocos) tem a espessura mais estreita dentre os modelos disponíveis no mercado. E a parede, em virtude de sua espessura efetiva, está diretamente vinculada à sua esbeltez, que é o coeficiente, ou taxa, dada pela relação entre a sua altura efetiva⁴² e a sua espessura efetiva⁴³. No que diz respeito às prescrições normativas, devem ser destacadas as especificações das normas brasileira (NBR 10.837:1989), britânica (BS 5628:1992) e do projeto de norma ABNT 02:123.03-001/1:2009 (ABNT 02:123.03-001). A norma nacional foi elaborada somente para alvenarias em blocos de concreto e, portanto, não inclui as unidades cerâmicas. A citada norma estabelece 14 cm como espessura mínima para blocos com função estrutural e especifica a esbeltez máxima em 20 para quaisquer tipos de paredes não armadas (ABNT NBR 10837). Também “fornece recomendações para o enrijecimento das peças, a fim de que a estabilidade do sistema não seja afetada” (SILVA, 1996). Para as alvenarias em blocos cerâmicos, a norma estrangeira que tem melhor adaptação à realidade brasileira é a norma britânica BS 5628. A citada norma engloba todos os tipos de blocos utilizados em alvenaria auto-portante ou estrutural, incluindo os cerâmicos. A óptica da norma inglesa revela-se um pouco diferente da nacional para alvenarias em blocos de concreto, uma vez que não determina uma espessura mínima, mas sim a esbeltez máxima das paredes. Especifica que paredes com funções estruturais não devem possuir esbeltez superior a 27. E, especificamente para as paredes com espessura de 9 cm, a esbeltez não deve exceder 20 (BS

⁴² **Altura efetiva:** deve ser igual à altura da parede se houver travamentos que restrinjam os deslocamentos horizontais das suas extremidades; ou o dobro da altura, se uma extremidade for livre e se houver travamento que restrinja conjuntamente o deslocamento horizontal e a rotação na outra extremidade (ABNT 02:123.03-001/1). As UH do estudo de caso podem ser classificadas como da primeira especificação (N.A.).

⁴³ **Espessura efetiva:** as espessuras efetivas são aquelas relativas às espessuras nominais da parede (largura dos blocos, sem o revestimento) ou quando esta é enrijecida por pilares ou intersecções de paredes deve ser considerada a espessura nominal com a aplicação de um coeficiente chamado de “coeficiente de rigidez”. Para o cálculo do coeficiente de esbeltez, de acordo com a norma alemã DIN-1053 a espessura efetiva deve ser a medida mínima na seção transversal do componente da alvenaria correspondente à altura efetiva da parede em análise (SILVA, 1996).

5628-1). Já o Projeto ABNT 02:123.03-001 – Parte 1, indica que o valor máximo da esbeltez para paredes com função estrutural (ou auto-portante) em paredes cerâmicas, não armadas, não deve superar o índice de 24 (item 10.12, ABNT 02:123.03-001).

O cálculo da esbeltez é efetuado pela fórmula (ABNT 02:123.03-001):

$$\lambda = h_e / t_e \quad (2)$$

Onde:

λ – índice ou coeficiente de esbeltez da parede;

h_e – altura efetiva da parede;

t_e – espessura efetiva da parede.

Quanto às resistências à compressão, mínimas, conforme a NBR 15.270, que devem servir de parâmetros aos construtores para o uso dos componentes cerâmicos de alvenaria de vedação, estão apresentadas na Tabela 3.9.

Tabela 3.9 – Resistência mínima à compressão dos blocos cerâmicos de vedação – NBR 15.270:2005 (Fonte: ABNT NBR 15.270).

<i>Posição dos furos</i>	<i>f_b (MPa)</i>
Para blocos usados com furos na horizontal	$\geq 1,5$
Para blocos usados com furos na vertical	$\geq 3,0$

Os valores citados da NBR 15.270-1, indicativos para alvenarias de vedação, são os parâmetros para a análise da conformidade das unidades da alvenaria (blocos) quanto à sua resistência à compressão, mínima. A citada norma substituiu a anterior (NBR 7171:1996), que estava em vigência na época da execução da Fase 1 do empreendimento estudo de caso, porém, ambas servem como parâmetro de discussão para os resultados dos ensaios dos componentes da alvenaria, mencionados no capítulo 4 – Resultados e Discussões.

b) Argamassas de assentamento e de revestimento.

Quanto às argamassas de assentamento, as características recomendadas para o uso na elevação de alvenarias com blocos cerâmicos estão indicadas na Tabela 3.10. E os tipos de argamassas de revestimento recomendados para aplicação sobre alvenarias de blocos cerâmicos estão mencionados na Tabela 3.11.

Tabela 3.10 – Características das argamassas de assentamento (Fonte: FK Comércio, 2008).

Traços em volume (cimento : cal : areia)	Resistência aproximada 28 dias (em obra) - MPa	Uso mais comum
1 : 2 : 9	2,5	Vedação [(1) / (2)]
1 : 1 : 6	4,5	Casa [(2)]
1: 0,6 : 6	5,8	Sobrado [(3)]
1: 0,6 : 5	7,5	Edifício [(4)]

Notas:

(1) Paredes de vedação;

(2) Paredes estruturais em casas térreas de vãos moderados (3m a 4m);

(3) Paredes estruturais de sobrados de vãos moderados;

(4) Paredes estruturais de edifícios de 4 pavimentos de vãos moderados.

Tabela 3.11 – Tipos recomendados de argamassas de revestimento (Fonte: FK Comércio, 2008).

Tipo	Utilização
Convencional (chapisco + emboço + reboco)	Externa e interna
Massa única (chapisco + reboco)	Externa e interna

A recomendação da tabela anterior está relacionada à absorção superficial dos blocos cerâmicos, que resulta numa aderência adequada aos diversos tipos de revestimentos indicados.

c) **Graute.**

Quanto ao *graute*, microconcreto que serve para preencher as cavidades dos blocos vazados onde podem ser acomodadas as armaduras verticais e as amarrações das paredes através de grampos, foi utilizado nas unidades habitacionais (U.H.) do empreendimento na junção entre paredes, nos pilaretes de cantos e nos pilaretes intermediários de paredes mais extensas. Serviu, também, para preencher os blocos vazados das vergas e contravergas.

Os valores referenciais dos traços em volume para *grautes* estão indicados na Tabela 3.12.

Tabela 3.12 - Traços usuais de *graute* (Fonte: FK Comércio, 2008).

<i>Traços em Volume (cimento : cal : areia : pedrisco)</i>	<i>Resistência aproximada aos 28 dias (MPa)</i>
1 : 0,10 : 2,49 : 2,72	12,8
1 : 0,10 : 1,82 : 1,94	28,2

3.2.1.1 Aspectos quanto ao desempenho à durabilidade das alvenarias – NBR 15.575

A durabilidade das alvenarias de uma habitação está relacionada à capacidade funcional durante a vida útil de projeto (VUP), desde que sejam realizadas as manutenções estabelecidas no manual do usuário, conforme a NBR 15.575. De acordo com a citada Norma, na sua Parte 1, a vida útil de projeto (VUP) para as vedações foi estabelecida conforme segue indicada na Tabela 3.13:

Tabela 3.13 – Vida útil de projeto -VUP (Fonte: NBR 15.575-1).

<i>Sistema</i>	<i>VUP mínima</i>
Vedação vertical externa	≥ 40 anos
Vedação vertical interna	≥ 20 anos

Nota-se que a Norma indica a vida útil de projeto (VUP) num parâmetro mínimo, isto é, não há abertura para um projeto excepcionar para menos o mínimo estabelecido.

No Anexo C da mencionada Norma, em sua Parte 1, o parâmetro quanto ao efeito das falhas no desempenho, segundo os conceitos ali estabelecidos, trata o colapso repentino da estrutura como pertencente à categoria “A”, isto é, tem o efeito no desempenho classificado como “perigo à vida” (ou do usuário ser ferido). É a categoria de maior risco. Também pode-se classificar a alvenaria na categoria “C”, indicativa de “perigo à saúde”, quando há, por exemplo,

séria penetração de umidade através de fissuras verificadas no elemento do sistema construtivo. A Tabela 3.14 indica os parâmetros relacionados aos componentes do elemento alvenaria.

Tabela 3.14 – Efeito das falhas no desempenho relacionado à alvenaria (Fonte: NBR 15.575-1).

<i>Categoria</i>	<i>Descrição</i>	<i>Exemplo típico</i>
A	Perigo à vida (ou de ser ferido)	Colapso repentino da estrutura
B	Risco de ser ferido	Descolamento e queda do revestimento de fachada.
C	Perigo à saúde	Penetração de umidade, pintura de fachadas; revestimento de fachada.
D	Interrupção do uso do edifício	Descolamento e queda do revestimento de fachada.
E	Comprometimento da segurança de uso	Descolamento e queda do revestimento de fachada.
F	Sem problemas excepcionais	Degradação da pintura dos revestimentos internos e das fachadas.

Quanto à facilidade ou dificuldade de manutenção e reparação no caso de falha no desempenho, a Norma classifica os elementos estruturais na categoria “3”, isto é, não manutenível. Portanto, esses elementos estruturais devem ter a mesma vida útil do edifício por não possibilitar manutenção periódica. Também nesta classificação, componentes do elemento “alvenaria”, como os seus revestimentos, estão na categoria “2”, isto é, manutenível, considerados duráveis, porém com necessidade de manutenção periódica, e são passíveis de substituição ao longo da vida útil do edifício.

Quanto ao custo da correção de eventual falha, a NBR 15.575-1 indica em seu Anexo C que o elemento alvenaria pode estar enquadrado em diversas categorias, conforme Tabela 3.15, ressaltando a categoria “D”, de alto custo e com comprometimento à durabilidade.

Tabela 3.15 – Custo de manutenção e reposição de componentes da alvenaria ao longo da vida útil (Fonte: NBR 15.575-1).

<i>Categoria</i>	<i>Descrição</i>	<i>Exemplo típico</i>
B	Médio custo de manutenção ou reparação.	Pinturas de revestimentos internos.
C	Médio ou alto custo de manutenção ou reparação. O custo de reposição equivale ao custo inicial.	Pintura de fachadas.
D	Alto custo de manutenção e/ou reparação. O custo de reposição é superior ao custo inicial. Compromete a durabilidade afeta de outras partes do edifício.	Revestimento de fachada.

Assim, os critérios para o estabelecimento da Vida Útil de Projeto (VUP) da parte do edifício relacionado ao elemento “alvenaria” podem ser consolidados conforme demonstrado na Tabela 3.16.

Tabela 3.16 – Critérios para o estabelecimento da VUP do elemento alvenaria. (Fonte: NBR 15.575-1).

<i>Valor sugerido de VUP para o elemento</i>	<i>Efeito da falha</i>	<i>Categoria de custos</i>
1/10 da VUP do edifício	F	B
1/5 da VUP do edifício	E, F	C
1/3 da VUP do edifício	D, E, F	D
½ da VUP do edifício	qualquer	D
Igual à VUP do edifício	qualquer	qualquer

A vida útil de projeto (VUP) para o elemento de 1/10 da vida útil de projeto (VUP) do edifício pode ser aplicável apenas aos componentes. As demais VUP podem ser aplicáveis a todas as partes do edifício (sistemas, elementos e componentes) (ABNT NBR 15.575-1:2008).

Existem internacionalmente proposições para a determinação da VUP de um edifício. Um fato relevante é de que, em relação aos edifícios habitacionais, observa-se que elas apresentam convergência, situando a VUP destes edifícios entre 50 e 60 anos. Na Tabela 3.17 são reproduzidas as especificações da Norma Britânica que classificam os tipos de edifícios relacionados às habitações (BS 7543:1992).

Tabela 3.17 – Categorias de VUP para edifícios habitacionais, segundo a Norma Britânica.

<i>Categoria</i>	<i>Descrição</i>	<i>Vida útil de projeto (VUP) para a categoria</i>	<i>Exemplo</i>
3	Vida média	Período mínimo de 30 anos	Renovação de edifícios habitacionais.
4	Vida normal	Período mínimo de 60 anos	Edifícios habitacionais novos.
5	Vida longa	Período mínimo de 120 anos	Edifícios de alta qualidade.

Nota:

- Esta Tabela é válida também para componentes, elementos e sistemas (Fonte: BS 7543:1992).

Por fim, a Norma de Desempenho apresenta exemplos de VUP aplicando os conceitos de durabilidade às partes (ou componentes e elementos) de uma edificação. Na Tabela 3.18 estão apresentadas aquelas especificadas relativamente ao elemento “alvenaria” e aos seus componentes.

Tabela 3.18 – Exemplos de VUP aplicando os conceitos de durabilidade para alvenarias e seus componentes (Fonte: NBR 15.575-1).

<i>Parte da Edificação</i>	<i>Exemplo</i>	<i>VUP (anos) - Mínimo</i>
Estrutura principal	Paredes estruturais.	≥ 40
Vedação externa	Paredes externas, painéis de fachada.	≥ 40
Vedação interna	Paredes e divisórias leves internas.	≥ 20
Revestimento interno	Revestimento de parede: de argamassa, etc.	≥ 13
Revestimento de fachada	Revestimentos.	≥ 20
Pintura	Pinturas internas;	≥ 03
	Pinturas de fachada.	≥ 08

3.2.1.2 Ensaios realizados nos componentes da alvenaria

Embora este trabalho não tenha caráter experimental, como foi indicado na Introdução, considerou-se relevante apresentar os resultados dos ensaios disponíveis realizados nos componentes da alvenaria (blocos, argamassas, graute), obtidos na Caixa Econômica Federal

(CAIXA) – e realizados a pedido desta. Os ensaios foram executados por laboratórios externos e isentos contratados pelas duas construtoras responsáveis pelas obras sob financiamento junto ao mencionado agente financeiro federal (laboratórios SENAI – ACEVIR, CONTESTE e LENC). A seleção das amostras foi executada por técnicos dos laboratórios dentre os lotes recebidos pelas construtoras em obra, com a supervisão dos fiscais da Proponente (Poder Público municipal). Os resultados são úteis para a discussão quanto a uma possível causa das patologias registradas no estudo de caso por deficiência de resistência dos componentes ou deficiência quanto ao dimensional dos blocos cerâmicos.

Os ensaios foram realizados durante o acompanhamento da execução do empreendimento.

Os métodos de avaliação permitem verificar se o produto (componente) atende aos parâmetros para eles fixados nas normas prescritivas correspondentes. Os resultados dos ensaios e medidas obtidos em amostras dos componentes das alvenarias podem ser considerados para a verificação de atendimento de desempenhos previstos na NBR 15.575, como o da segurança estrutural, que pode ser correlacionado com o desempenho à durabilidade. Portanto, tendo em vista os requisitos de segurança estrutural e de durabilidade, foram realizados os ensaios mecânicos de compressão nos componentes do elemento “alvenaria” considerados mais relevantes: bloco cerâmico de vedação, argamassa e *graute*. Ensaios dimensionais foram realizados no bloco cerâmico de vedação. No ANEXO C está a descrição dos ensaios realizados para a análise e a discussão relativas ao desempenho da alvenaria das unidades habitacionais (U.H.) do sistema construtivo estudo de caso.

3.3 Acompanhamento da execução das obras do empreendimento

O acompanhamento das obras do empreendimento pela área de engenharia da Caixa Econômica Federal (CAIXA), da qual o autor desta Tese faz parte, ocorreu desde o início da Fase 1, em 2001. Esse acompanhamento da execução das obras do empreendimento foi efetuado através de visitas periódicas. Em cada vistoria realizada foram registradas fotograficamente as

etapas construtivas das unidades habitacionais: fundação, alvenaria, cobertura, acabamento, instalações hidráulico-sanitárias, instalações elétricas e demais itens até a finalização de cada Fase.

Como observação, é importante indicar que o acompanhamento das obras do empreendimento pela área de engenharia da Caixa Econômica Federal (CAIXA) foi efetuado através de visitas mensais, para fins de mensuração das etapas executadas e conseqüente liberação do porcentual correspondente da verba concedida no financiamento. A fiscalização das obras esteve na alçada da contratante, isto é, da Fundação Municipal de Ação Social (FUMAS) e a execução de cada Fase do empreendimento ficou a cargo de duas construtoras contratadas pelo Poder Público para essa finalidade.

O loteamento “Fazenda Grande” foi projetado em área de expansão urbana e em local onde foi necessário executar grande terraplenagem e transporte de um considerável volume de solo escavado. A concepção do loteamento foi pela execução de fundações superficiais (*radiers*) para as habitações, portanto, foi necessário efetuar previamente a patamarização das quadras, conforme poderá ser verificado no registro da implantação das obras através de fotos. Em resumo, os serviços de terraplenagem foram necessários por dois aspectos:

- (1) terreno acidentado; e
- (2) opção por executar fundação em laje superficial (*radier*) para as unidades habitacionais (U.H.).

Nas fotos aéreas, sob as Figuras 3.11 (de 2002) e 3.12 (de 2005) podem ser notadas as diferenças entre as fases (etapas de execução) do empreendimento: a Fase 1 é constituída de habitações térreas geminadas, situada ao centro da área do loteamento, e as Fases 2 e 3, constituídas de habitações térreas isoladas, situadas, respectivamente, na parte inferior e superior das fotos.



Figura 3.11 – Vista área do empreendimento com a Fase 1 em implantação (ano de 2.002).



Figura 3.12 – Vista área do empreendimento com a Fase 1 implantada e a Fase 2 em execução.

Na Figura 3.13 pode-ser observada a Fase 3 em início de implantação (foto de 2006).



Figura 3.13 – Vista aérea do empreendimento com as Fases 1 (parte central da foto) e 2 (parte inferior da foto) já executadas e na parte superior da foto a Fase 3, em execução (ano de 2006).

Na Figura 3.14 está demonstrada a terraplenagem prévia para implantação das quadras. Em seguida prosseguiu-se com a terraplenagem nas cotas de patamarização dos lotes. A escolha pela execução de fundações superficiais nas unidades habitacionais do loteamento, inserida na proposta de concepção formatada pelas construtoras, foi causa de grande intervenção no relevo local. Moretti (1997) informa que “as exigências urbanísticas já devem constar nos aspectos gerais dos critérios para formulação de exigências relativas à apresentação de projetos e às obras mínimas de infra-estrutura”. Dentre os serviços de infra-estrutura desejáveis, segundo o citado autor, “está a terraplenagem das áreas públicas (vias e parques) e dos lotes”. Essas obras “podem ser consideradas básicas e merecem prioridade de implantação na fase inicial do empreendimento” (MORETTI, 1997).



Figura 3.14 – Terraplenagem prévia das quadras para implantação da patamarização dos lotes.

A patamarização dos lotes demandou elevados serviços de terraplenagem local, além daquela relativa à implantação do loteamento (vias e locais públicos). A concepção apresentada pelas construtoras não foi questionada pelo Poder Público contratante, nem pela área de engenharia da Instituição Financiadora, a Caixa Econômica Federal (CAIXA).

A Figura 3.15 indica a patamarização executada para receber as unidades habitacionais.



Figura 3.15 – Patamarização executada.

Na Figura 3.16 estão demonstrados os materiais metálicos para uso na fundação superficial (*radier*) e nas alvenarias: (a) as telas soldadas para as lajes da fundação; e (b) as barras de aço para os pilaretes e para as cintas de amarração e vigas entre lotes patamarizados (muros de arrimo ou de contenção).



(a)



(b)

Figura 3.16 – (a) Tela soldada para o *radier*; e (b) Barras de aço CA-60 para os pilaretes, cintas e vigas entre lotes (muros de arrimo ou de contenção).

Para a delimitação das bordas da laje do *radier*, foram utilizados perfis metálicos, conforme demonstrado na Figura 3.17.



Figura 3.17 – Perfis metálicos para delimitação das bordas da laje do *radier* (gabaritos).

Na Figura 3.18 está demonstrada a concretagem da laje de fundação com os perfis metálicos posicionados (gabaritos).



Figura 3.18 – Laje da fundação (*radier*) concretada, com os gabaritos ainda posicionados.

A Figura 3.19 indica que no projeto da fundação foi previsto deixar barras metálicas como “arranques” nos locais onde serão executados os pilaretes da alvenaria.



Figura 3.19 – Arranques metálicos para engastamento nos pilaretes da alvenaria.

Na Figura 3.20 está indicada a etapa da elevação das alvenarias. A gestão das obras tem a diretriz de acelerar a construção, a fim de minimizar os custos fixos do canteiro de obras.



Figura 3.20 – Elevação das alvenarias em blocos cerâmicos de vedação.

A Figura 3.21 mostra as alvenarias na face externa com a camada de chapisco aplicado e as esquadrias metálicas externas colocadas.



Figura 3.21 – Alvenarias com o chapisco aplicado e as esquadrias metálicas externas instaladas.

Na Figura 3.22 demonstra-se o detalhe da contraverga executada em bloco canaleta. Da mesma forma, é executada a verga sobre aberturas de janelas e portas.



Figura 3.22 – Detalhe da contraverga executada em bloco canaleta.

O detalhe de um pilarete da alvenaria de canto é demonstrado na Figura 3.23.



Figura 3.23 – Detalhe de um pilarete de canto na alvenaria, com duas barras de aço e *graute*.

Na Figura 3.24 é demonstrado o detalhe de um pilarete na junção de duas paredes em mesma orientação.



Figura 3.24 – Detalhe de um pilarete de junção de paredes.

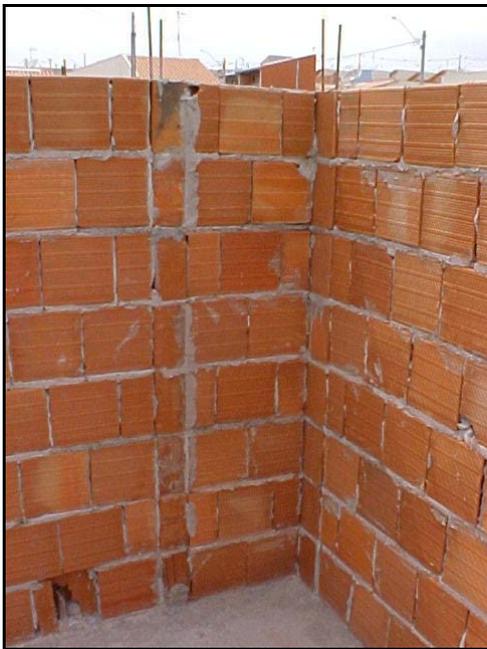
Nota-se que no pilarete preenchido com graute foram agregadas duas barras de aço, sem estribo. Não há a conformidade técnica relativa à execução desse pilarete como se fosse um pilar executado a partir de um projeto estrutural. Para as unidades habitacionais do empreendimento sob estudo de caso não houve a apresentação de projeto estrutural. E não há normalização nacional pertinente ao caso indicado.

Também relativamente a uma alvenaria estrutural ou auto-portante, a primeira verificação a ser feita é a existência e a adequação da modulação⁴⁴ do projeto. Com essa medida pode-se evitar a execução de projetos originalmente elaborados para sistemas reticulados (com a previsão de pilares e vigas em concreto armado ou estruturas metálicas) e que tenham sido mal adaptados para uma alvenaria auto-portante ou, o que seria mais grave, que não estejam em

⁴⁴ **Modulação:** é a base do sistema de coordenação dimensional utilizado nas edificações em alvenaria estrutural. Está baseada nas dimensões das unidades da alvenaria (blocos) que serão utilizadas na construção e constitui-se numa malha modular com medidas baseadas no tamanho dos componentes a serem utilizados (ROMAN et al., 2003).

sintonia com as premissas básicas desse sistema, como é o caso que se apresenta neste estudo de caso.

A Figura 3.25 indica a execução da alvenaria sem a coordenação modular⁴⁵ dos blocos, como orienta a técnica adequada para as alvenarias estruturais ou auto-portantes (MANZIONE, 2004).



(a)



(b)

Figura 3.25 – Detalhes da elevação da alvenaria sem execução modular conforme recomendação técnica para alvenarias estruturais.

Quanto a solidarização das paredes e os pilaretes de canto (ou pilaretes na junção de paredes de maior extensão), na Figura 3.26 pode-se verificar a colocação de barra de aço inserida na argamassa de assentamento para essa finalidade.

⁴⁵ **Coordenação modular:** é a técnica que permite relacionar as medidas de projeto com as medidas modulares (dos blocos) por meio de um reticulado especial de referência (ROMAN et al, 2003).



(a)



(b)

Figura 3.26 – Detalhes do tipo de solidarização do pilarete de canto com as paredes, através de barra de aço inserida na argamassa de assentamento.

A Figura 3.27 mostra o detalhe da faixa de argamassa de revestimento na base das alvenarias, com adição de impermeabilizante a fim de evitar umidade ascendente.



Figura 3.27 – Detalhe da argamassa de revestimento com adição de impermeabilizante aplicada na base das alvenarias.

Na Figura 3.28 está demonstrada a posição das vigotas da laje de forro em relação à última fiada da alvenaria, constituída de blocos Tipo J.



Figura 3.28 – Detalhe do posicionamento das vigotas de concreto da laje de forro sobre a última fiada da alvenaria, constituída de blocos Tipo J.

A Figura 3.29 indica o tipo de laje de forro utilizada na unidade habitacional: vigotas em concreto pré-fabricado com lajotas cerâmicas.



Figura 3.29 – Detalhe superior da laje de forro da unidade habitacional.

Na Figura 3.30 está demonstrada a posição da estrutura da cobertura sobre a alvenaria da habitação.



Figura 3.30 – Detalhe da estrutura da cobertura sobre a alvenaria da habitação.

Na Figura 3.31 está demonstrado o aspecto da alvenaria na face interna da habitação, com a laje da cobertura executada.



Figura 3.31 – Alvenaria na face interna da habitação, com a laje executada.

Na Figura 3.32 está demonstrada a execução dos dutos das instalações hidráulicas e elétricas através de rasgos na alvenaria, em procedimento não recomendado para alvenarias estruturais (MANZIONE, 2004).



Figura 3.32 – Instalações hidráulicas e elétricas executadas na alvenaria.

Na Figura 3.33 apresenta-se o aspecto das habitações da Fase 1 (unidades geminadas), depois de finalizadas as obras.



Figura 3.33 – Aspecto externo das habitações depois de finalizada a execução das obras (Fase 1)

Os tipos de blocos utilizados nas alvenarias das habitações do empreendimento são basicamente três: comum, de 8 furos prismáticos; tipo vazado, para utilização em pilaretes ou

vergas / contra-vergas com preenchimento com *graute*; e tipo J para assentar no respaldo da alvenaria e receber o concreto da laje de forro.

3.4 Inspeção de campo: materiais, equipamentos e registro das patologias

Quanto à inspeção de campo, no delineamento de estudo de caso, seguiu a recomendação expressa na NBR 15.575:2008, em sua Parte 1, que preceitua em seu item 6.4.2: “*Os métodos de avaliação estabelecidos nesta Norma consideram a realização de ensaios laboratoriais, ensaios de tipo, ensaios em campo, inspeções em protótipos ou em campo, simulações e análise de projetos*” (grifos do autor). Ainda segundo a citada Norma de Desempenho, no item 6.5 (Amostragem), a avaliação das fases do empreendimento sob estudo de caso está amparada. A citada Norma diz: “*Do ponto de vista da durabilidade, as avaliações de campo só devem ser aceitas se a construção ou instalação tiver ocorrido há pelo menos dois anos*” (ABNT NBR 15.575-1:2008).

Assim, os materiais e equipamentos utilizados na inspeção de campo, para verificação das condições das alvenarias das habitações, foram:

- (1) formulário de pesquisa (vide APÊNDICE A), com campos para registro das características dos entrevistados, das condições climáticas, das alvenarias das unidades habitacionais e registro escrito das patologias verificadas visualmente;
- (2) bússola, para a verificação da orientação do corpo das unidades habitacionais (U.H.) em relação ao percurso solar e sentido dos ventos; e
- (3) máquina fotográfica digital, para registro das patologias verificadas nas alvenarias.

O estudo de caso foi efetuado através de visitas às unidades escolhidas segundo o intervalo de amostragem indicado no item 3.1.1, com a realização de entrevista com os moradores e, havendo manifestações patológicas nas alvenarias da habitação, o registro fotográfico para a análise e classificação.

As unidades habitacionais pesquisadas, no total do universo escolhido (de 464 moradias), estão demonstradas na Figura 3.34. Esta figura pode ser relacionada com as Figuras 3.6 a 3.8, inseridas no item 3.1.1, que são mapas por satélite com indicação da posição de cada uma das habitações na área de implantação do loteamento.

INSPEÇÃO DE CAMPO																									
Pesquisa - Ruas FASE 1:		U.H.:																							
Rua Geraldo Vilela Curado (D1)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
Rua Geraldo Vilela Curado (D2)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14											
Rua Vicente de Paulo Pereira (D)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
Rua Vicente de Paulo Pereira (E)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
Rua Sérgio Negri (D)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
Rua Sérgio Negri (E)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
Rua Dimas Bento de Almeida (D)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
Rua Dimas Bento de Almeida (E)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
*Rua Dimas Bento de Almeida (E)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
Rua Guilherme Zancopé Negri (D)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
Rua Guilherme Zancopé Negri (E)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
Rua Roberto Gáspari (E)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22			
Rua Benedito Lino de Souza (E)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
*Rua José Fontebasso (E)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16									
*Rua Daniel da Silva (D)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20					
*Rua Daniel da Silva (E)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
Pesquisa - Ruas FASE 1:		U.H.:																							
Rua Geraldo Vilela Curado (D1)	25	26	27	28	29	30																			
Rua Geraldo Vilela Curado (D2)																									
Rua Vicente de Paulo Pereira (D)	25	26	27	28	29	30																			
Rua Vicente de Paulo Pereira (E)	25	26	27	28	29	30																			
Rua Sérgio Negri (D)	25	26	27	28	29	30																			
Rua Sérgio Negri (E)	25	26	27	28	29	30																			
Rua Dimas Bento de Almeida (D)	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36													
Rua Dimas Bento de Almeida (E)	25	26	27	28	29	30																			
*Rua Dimas Bento de Almeida (E)																									
Rua Guilherme Zancopé Negri (D)	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42							
Rua Guilherme Zancopé Negri (E)	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38											
Rua Roberto Gáspari (E)																									
Rua Benedito Lino de Souza (E)	25	26	27	28	29	30	31	32																	
*Rua José Fontebasso (E)																									
*Rua Daniel da Silva (D)																									
*Rua Daniel da Silva (E)	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40									
Legendas:																									
- Unidade pesquisada =>																							- U.H. com uma patologia verificada =>		(cor azul)
- Unidade em início de quarteirão =>																							- U.H. com duas patologias verificadas =>		(cor verde)
- Unidade pesquisada em início de quarteirão =>																							- U.H. com três patologias verificadas =>		(cor vermelha)

Figura 3.34 – Distribuição das unidades habitacionais pesquisadas na inspeção de campo.

No APÊNDICE B estão 2 (duas) tabelas com informações quantitativas das manifestações patológicas registradas e das unidades habitacionais que apresentaram manifestações patológicas classificadas conforme a orientação de sua posição no lote, conforme a rua, e indicado o tipo da patologia encontrada. É uma possível maneira de correlacionar o tipo da patologia existente com o percurso solar, portanto com o gradiente de temperatura no tempo, e a maior ou menor incidência da radiação solar nas fachadas e nos ambientes da moradia, bem como os ventos provenientes do sentido sudeste ao noroeste predominantes no local.

Assim, a partir das unidades pesquisadas, indicadas na figura anterior, as patologias recorrentes encontradas e registradas nas visitas estão apresentadas nas Figuras 3.35 a 3.44.

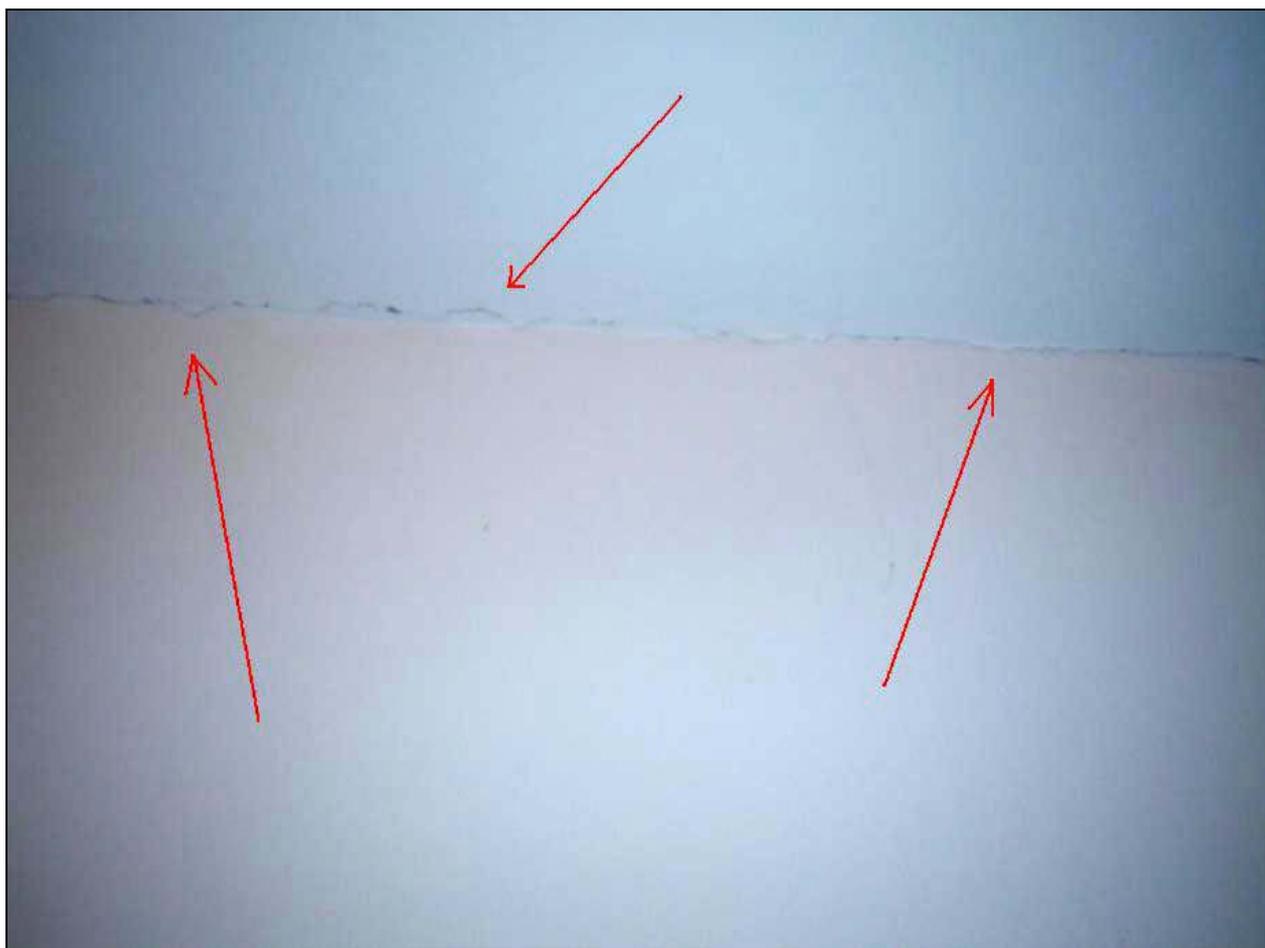


Figura 3.35 – Fissura por movimentação térmica (interface laje/parede), na face interna.



Figura 3.36 - Fissuras por movimentação higroscópica.

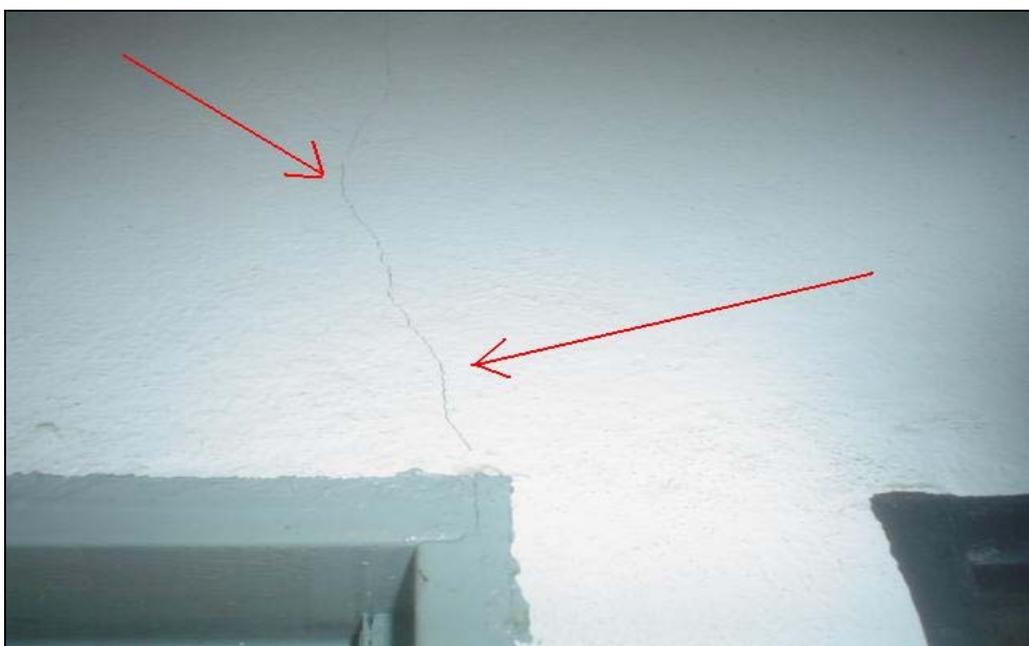


Figura 3.37 - Fissura por atuação excessiva de carga (1).

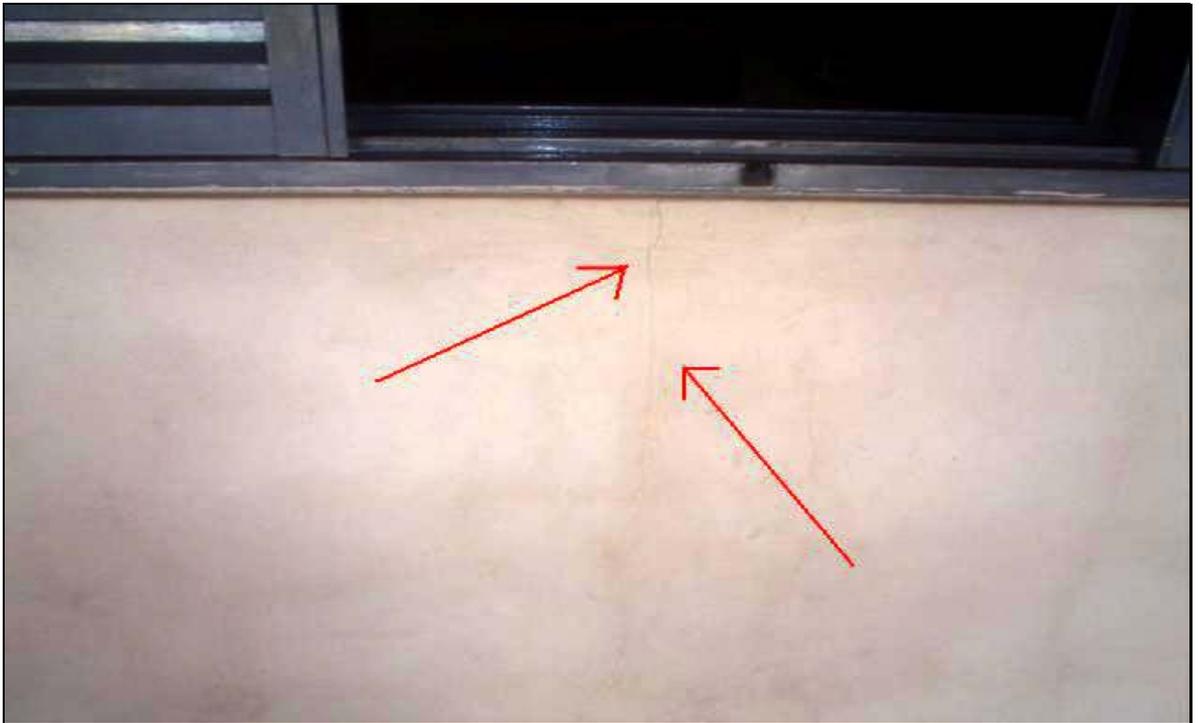


Figura 3.38 – Fissura por atuação excessiva de carga (2)



Figura 3.39 – Fissura por atuação excessiva de carga (3)



Figura 3.40 – Fissura por atuação excessiva de carga e fissuras por retração da argamassa do revestimento.



Figura 3.41 - Fissuras generalizadas por retração da argamassa de revestimento.



Figura 3.42 – Degradação da argamassa de revestimento por eflorescência (1).



Figura 3.43 – Degradação da argamassa de revestimento por eflorescência (2).



Figura 3.44 - Umidade na face interna da alvenaria decorrente de fissuramento da face externa da alvenaria.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A seguir são discutidos a concepção do empreendimento e o processo construtivo das U.H., com considerações sobre a execução das alvenarias e de seus componentes; e apresentados os resultados dos ensaios dos componentes da alvenaria, com considerações quanto à possibilidade da influência destes nas causas das patologias verificadas no estudo de caso. Também são discutidos os resultados do estudo de caso com considerações quanto às manifestações patológicas quantificadas.

4.1 Considerações sobre a concepção do empreendimento e sobre o processo construtivo das U.H.

Consideradas as dificuldades na aquisição de uma habitação pela população de menor renda, e dentro de suas possibilidades econômicas e sociais, a iniciativa de viabilizar o Loteamento Popular “Fazenda Grande” tornou-se importante para atender parte da demanda reprimida existente no município de Jundiá. Contudo, a concepção do empreendimento pode ser considerada como eivada de algumas deficiências relacionadas aos projetos, aos materiais e ao processo construtivo, a saber:

(1) na Fase 1 foram executadas unidades habitacionais de 1 (um) dormitório com 32,20 m² de área construída e de 2 (dois) dormitórios com 41,72 m². Durante a sua execução foi constatado que os ambientes internos eram pequenos. Nas fases seguintes (2 e 3) foram modificadas as tipologias da habitação de 1 (um) dormitório que passou para uma área construída de 36,02 m² e a de 2 (dois) dormitórios que passou para uma área construída de 44,85 m².

A alteração das áreas dos ambientes para as etapas seguintes do empreendimento pode ser considerada como uma correção de rumo. O projeto mostrou-se deficiente para as necessidades do público usuário. E não foi analisado com o rigor necessário pelo Poder Público contratante e nem pela Instituição Financiadora. A pesquisa prévia, com o enfoque social, ou não foi executada, ou foi executada com deficiência, somente percebida durante a execução da Fase 1 do empreendimento. Se não houvesse tal inconformidade frente ao descontentamento do público usuário, certamente as duas construtoras não teriam alterado a concepção do projeto para as etapas posteriores, pela intervenção do Poder Público municipal e da Instituição financeira, com maior custo e maior tempo de execução para as mesmas, em virtude da maior área construída e alteração dos projetos de implantação, arquitetônicos e sistemas hidrossanitários/elétrico. Contudo, mesmo com os ambientes pequenos, na concepção original foram elaborados e apresentados como sugestão aos usuários projetos para a ampliação posterior das suas unidades habitacionais. Para os projetos de 1 (um) dormitório foram sugeridas ampliações de até mais 2 (dois) dormitórios: o primeiro à frente da unidade e o segundo aos fundos. Para as unidades de 2 (dois) dormitórios, um projeto de ampliação do terceiro dormitório aos fundos. Os lotes individuais permitem tais ampliações: 6m x 25 m.

(2) na concepção da Fase 1 do empreendimento as unidades habitacionais foram geminadas, sem levar em consideração o aspecto cultural da população-alvo, isto é, a preferência desta quanto à tipologia de uma unidade habitacional (U.H.). Após pesquisas com as famílias durante a execução dessa Fase 1, os projetos das unidades habitacionais (U.H.) para as Fases 2 e 3 foram alterados, passando para tipologias isoladas, com áreas construídas, respectivamente, de 36,02 m² (11,9% de acréscimo de área) e 44,85 m² (7,5% de acréscimo de área);

A discussão anterior aplica-se a concepção das tipologias para as unidades habitacionais, que passaram de geminadas para isoladas, atendendo à preferência da população-alvo. A concepção da Fase 1 mostrou-se deficiente no seu projeto e implantação, corrigida nas etapas seguintes por intervenção do Poder Público contratante e da Instituição financiadora do empreendimento. Em resumo, como indica Moretti (1997), “a proposição de normas urbanísticas para a habitação de interesse social pelo município insere-se no objetivo de melhoria da

qualidade dos projetos e obras dos empreendimentos. Em última instância, o que se almeja é a melhoria de qualidade de vida, referencial básico do desenvolvimento do Ser Humano”.

(3) o sistema construtivo, com habitações em alvenarias de blocos cerâmicos de vedação, não foi homologado por ensaios prévios quanto ao desempenho estrutural e durabilidade. O agente financiador não fez exigências quanto a esse aspecto que poderia impactar no retorno do financiamento concedido às famílias durante o prazo de amortização, por eventual aparecimento de manifestações patológicas relevantes;

No Brasil atualmente não há regulamento normativo para o sistema construtivo executado no empreendimento sob estudo de caso. Nesse caso, poderiam ser buscadas duas alternativas: embasamento em normas estrangeiras pertinentes ao tema ou a execução da homologação quanto ao desempenho em institutos ou laboratórios credenciados pelo INMETRO. Ambas alternativas não foram buscadas. Com a NBR 15.575:2008 apresenta-se a necessidade de regularizar a condição vigente para esse sistema, em especial a partir da data quando esta terá força normativa plena. Contudo, antes mesmo de seguir a uma obrigação normativa e, conseqüentemente, legal, os proponentes desse sistema, os contratantes (os Poderes Públicos) e os Agentes Financiadores podem e devem exigir tais homologações visando o pleno conhecimento do desempenho total do sistema. Especificamente aos agentes financeiros está a necessidade premente de garantir o retorno dos empréstimos concedidos, pois compete aos usuários a sua amortização no tempo. Habitações que não satisfaçam aos seus moradores têm grande probabilidade de não serem quitadas pelos mesmos, gerando inadimplência junto aos agentes financeiros. Em conseqüência disso, a taxa de juros será maior e a análise de risco da concessão dos financiamentos aos mutuários será mais rigorosa para os futuros pretendentes de financiamentos de outros empreendimentos, o que vai gerar, por sua vez, um menor investimento no setor e conseqüentemente o avanço do déficit habitacional, já alarmante no País.

(4) quanto às características climáticas locais, as diretrizes construtivas das habitações do empreendimento “Fazenda Grande” deveriam ser orientadas para se adequarem de maneira plena à Zona Bioclimática 3 (segundo a NBR 15.220-3). As citadas diretrizes construtivas foram apresentadas nas Tabelas 3.3 a 3.5. Na caracterização das unidades habitacionais (U.H.) – item 3.2, foi apresentado cada item construtivo efetivamente executado, sendo possível analisar o

atendimento dos parâmetros das Normas 15.220-3 e 15.575-4, relativamente às alvenarias, a saber:

(4.a) quanto à Tabela 3.3, que dispõe sobre as aberturas dos ambientes de longa permanência (sala e dormitórios), considerando a implantação das unidades geminadas no empreendimento, metade das unidades, aproximadamente, tem incidência mais intensa de sol durante o inverno (as unidades com aberturas mais expostas ao sentido norte); a outra metade, aproximadamente, das unidades habitacionais (U.H.) apresentam deficiência quanto a esse quesito. O tamanho dos beirais (0,42m) permite tal insolação durante o inverno e a abertura dos dormitórios e da sala devem ser consideradas de média ventilação segundo os parâmetros da Zona Bioclimática Brasileira 3, conforme a NBR 15.575, Parte 4. Quanto às aberturas para ventilação das habitações do empreendimento, considerando que as janelas dos dormitórios são venezianas de meia abertura – dimensão (1,20x1,00m)/2 - e a janela de correr na sala também possui a mesma condição – dimensão (1,20x1,00m)/2, na Tabela 4.1 está a correlação da conformidade de desempenho das citadas aberturas executadas com aquelas previstas na norma de desempenho.

Tabela 4.1 – Correlação entre as aberturas dos ambientes da UH para ventilação com o mínimo admissível na NBR 15.575-4:2008 (Fonte: ABNT NBR 15.575).

<i>Ambiente da U.H.</i>	<i>Área do ambiente (m²)</i>	<i>Área da abertura (m²)</i>	<i>% da área do piso da U.H.</i>	<i>Abertura para Ventilação % da área do Piso (Zona 3)</i>
Sala	8,50	0,60	7,1	≥ 8
Dormitórios	8,50	0,60	7,1	

Nesses parâmetros quanto à abertura dos ambientes, não há o atendimento à prescrição da NBR 15.575-4, o que vai acarretar deficiência na ventilação, podendo ser causa de patologias relacionadas à umidade com o aparecimento de manchas por bolores e fungos ou bactérias.

Quanto aos parâmetros indicados na Tabela 3.5, – Estratégias de condicionamento térmico passivo, sobre a ventilação cruzada, as tipologias também apresentam deficiência em virtude de sua concepção, geminadas, conforme pode ser verificado nos projetos anexados a esta Tese. A ventilação deficiente pode maximizar manifestações patológicas relacionadas às umidades, com o aparecimento de bolores e mofos.

(4.b) Com relação aos parâmetros da Tabela 3.4 – Tipos de Vedações Externas, as vedações externas receberam revestimento com pinturas látex PVA em cores suaves.

Este quesito, portanto, vai ser atendido quanto às recomendações da NBR 15.220-3, pois haverá reflexão maior da radiação solar incidente nas fachadas decorrente do tipo de cor das pinturas sobre os revestimentos externos. E a cobertura foi executada em telhas cerâmicas sobre estrutura de madeira, com laje em todos os ambientes da unidade habitacional (vide projetos arquitetônicos no ANEXO A);

4.1.1 Considerações quanto aos parâmetros construtivos das alvenarias

Este item está relacionado especificamente aos parâmetros construtivos do elemento “alvenaria” das habitações do sistema construtivo executado no Loteamento “Fazenda Grande”.

Durante a execução das alvenarias não houve registro do uso de ferramentas usuais na execução de uma alvenaria estrutural, visando a distribuição uniforme da argamassa de assentamento. Para a garantia dos níveis, alinhamento e prumos das fiadas de blocos, foram utilizados escantilhões nos cantos internos das alvenarias durante suas elevações. A falta das ferramentas usualmente encontradas na execução de alvenarias estruturais ou auto-portantes indica uma gestão construtiva deficiente, o que poderia dar causa a futuras manifestações patológicas no elemento.

No assentamento e no revestimento das alvenarias foram utilizadas argamassas com traços de cimento, cal e areia. A presença da cal propicia uma melhor trabalhabilidade à argamassa como também atua como um retentor da água necessária à hidratação do cimento, que é algo intrínseco à característica desse material, como pode ser verificado nas pesquisas desenvolvidas pela Engenharia de Materiais (MEHTA ; MONTEIRO, 1994).

Considerando a não execução de pilares nas habitações, os encontros das alvenarias poderiam ser constituídos por travamento entre blocos das diferentes fiadas, ou por junção das

paredes encostadas numa coluna de blocos vazados preenchidos com o *graute*, ambas solidarizadas entre si com barras metálicas em “L” introduzidas nos vãos da argamassa de assentamento das fiadas dos blocos das paredes e dos pilaretes. Esta última alternativa foi a escolhida, apesar de não ser recomendada numa alvenaria estrutural com juntas a prumo nos encontros entre paredes, em função de dois motivos relevantes: (a) a redistribuição de tensões e o efeito arco das alvenarias com juntas em amarração praticamente desaparecer nas juntas a prumo; e (b) apesar da boa ancoragem mecânica que pode proporcionar entre as paredes, manifestações patológicas relacionadas ao fissuramento poderiam permitir a entrada de umidade nas juntas, o que seria causa de degradação por corrosão das barras metálicas utilizadas na solidarização das paredes com os pilaretes, podendo causar destacamentos do revestimento nos encontros das paredes (ABCI, 1990). No entanto, não foi verificada patologia nesse nível de degradação no estudo de caso.

Quanto à modulação da elevação da alvenaria, recomendada no item 3.2.1, alínea (a), não houve durante a execução do empreendimento a preocupação quanto a esse procedimento construtivo. Isso deve-se à inadequação pela falta de projeto estrutural e da mão-de-obra envolvida, como citado, que não tinha o conhecimento sobre o processo construtivo de uma alvenaria com função auto-portante comparado ao processo construtivo de uma alvenaria de vedação simples inserida num sistema estrutural reticulado, por exemplo. As Figuras 3.25 e 3.31 comprovam a inadequação das elevações da alvenaria segundo um processo racionalizado para uma alvenaria com função auto-portante.

Com relação à argamassa de assentamento da alvenaria, os construtores do empreendimento seguiram as especificações quanto ao traço recomendado para o assentamento dos blocos:

- ❖ Traço recomendado da argamassa de assentamento: 1:2:9, com resistência esperada para 28 dias igual a 2,5 MPa (item 3.2.1, alínea (b), Tab. 3.10);

- ❖ Traço da argamassa de assentamento executado: 1:2:9, com resistência média a partir de ensaios de ruptura à compressão, 28 dias, igual a 3,3 MPa (item 4.1.2, alínea (c), Tab. 4.10).

Quanto ao revestimento, foi executado nas faces internas e externas das alvenarias, em massa única, conforme descrito no item 3.2, alínea (b), adequado conforme as recomendações construtivas indicadas no item 3.2.1, alínea (b), Tabela 3.11. A espessura do revestimento foi indicada como 15 mm no memorial descritivo das habitações entregue à Caixa Econômica Federal (CAIXA).

As características do *graute* utilizado nos pilaretes, cintas de amarração e vergas / contra-vergas, lançado nos blocos cerâmicos vazados e nos blocos tipo J, foram:

❖ Traço recomendado para o *graute*: 1:0,10:2,49:2,72, com resistência esperada para 28 dias igual a 12,8 MPa (item 3.2.1, alínea (c), Tab. 3.12);

❖ Traço do *graute* executado: 1:0,10:2,50:3,00 (item 3.2, alínea (b)), com resistência média a partir de ensaios de ruptura à compressão, 28 dias, igual a 17,7 MPa (item 4.1.2, alínea (d), Tab. 4.11).

Quanto à vida útil de projeto (VUP), não houve menção em projeto ou no memorial descritivo ou no manual do proprietário, indicando-se apenas os critérios de garantia previstos em lei (por exemplo, no Código de Defesa do Consumidor). Portanto, não há o atendimento às indicações explicitadas com a atual NBR 15.575 (Tabela 3.13, item 3.2.1.1, c/c Tabela 3,18, item 3.2.1.1).

4.1.2 Resultados dos ensaios nos componentes da alvenaria

Os ensaios realizados nos componentes das alvenarias do empreendimento – resistência à compressão (blocos, argamassas e *graute*) e dimensionais dos blocos de vedação demonstraram resultados dentro de faixas previstas como adequadas pelas normas prescritivas correspondentes.

A solicitação da execução desses ensaios pela área de engenharia da Caixa Econômica Federal (CAIXA) decorreu de dúvida técnica durante o acompanhamento das obras. Os componentes da alvenaria estão adequados segundo os parâmetros das normas prescritivas existentes quanto à resistência e quanto aos dimensionais dos blocos? Os resultados dos ensaios, dentro dos parâmetros das normas prescritivas, eliminaram a preocupação quanto a essa

específica dúvida. Outros ensaios foram requisitados pela CAIXA, como, por exemplo, da compactação dos aterros, dos blocos estruturais dos muros de arrimo, da pavimentação, etc. Estes não estão no escopo do estudo desta Tese. Mas, pode-se afirmar que a área de engenharia da Caixa Econômica Federal (CAIXA) começou a se preocupar com a conformidade (ou possível inconformidade) dos componentes utilizados na execução do empreendimento sob estudo de caso. No entanto, quanto ao desempenho do sistema, por este estar completamente liberado a nível da Empresa, não houve como solicitar a apresentação da homologação completa, até porque não havia, então, um normativo nacional sobre o assunto. Tal situação não mais se sustenta, tendo em vista que, com a homologação da Norma de Desempenho NBR 15.575, necessário se faz regularizar a situação para esse sistema de uma forma completa e definitiva.

Quanto às normas prescritivas então vigentes, deve ser ressaltado que os parâmetros usados como referenciais para os blocos cerâmicos são relativos para uma alvenaria de vedação.

Complementa-se a discussão indicando que os ensaios foram realizados por laboratórios isentos, ainda que contratados pelas duas construtoras responsáveis pela execução do empreendimento, por exigência da CAIXA, como já citado. A retirada das amostras ficou sob responsabilidade dos laboratórios, que apresentaram os resultados para verificação dos prepostos das construtoras e dos técnicos da Instituição Financeira. Os resultados dos ensaios foram entregues à Instituição financiadora para arquivamento junto ao processo do financiamento e nas pastas técnicas da área de engenharia, para acompanhamento das obras durante as aferições para desembolso das parcelas referentes às etapas realizadas no período da mensuração. Eventuais inconformidades estariam sujeitas ao bloqueio da liberação das parcelas correspondentes às etapas não aprovadas em vistoria.

Nas alíneas seguintes, estão apresentados os resultados dos ensaios obtidos durante o acompanhamento das obras.

a) Bloco cerâmico de vedação – ensaios de resistência à compressão.

Os resultados dos ensaios de resistência à compressão nas unidades da alvenaria - blocos com furos na horizontal, estão indicados na Tabela 4.2.

Tabela 4.2 – Resultados dos ensaios de compressão – blocos cerâmicos de vedação.

<i>CP (corpo-de-prova)</i>	<i>Tensão (MPa) – Resultados relativos aos 28 dias</i>				
	<i>Lote 1</i> <i>20/03/01</i>	<i>Lote 2</i> <i>02/07/01</i>	<i>Lote 3</i> <i>29/09/05</i>	<i>Lote 4</i> <i>13/10/05</i>	<i>Lote 5</i> <i>18/05/06</i>
1	2,7	2,8	2,1	2,6	3,6
2	1,5	4,0	2,2	2,5	2,6
3	4,7	4,0	2,1	2,6	3,1
4	2,2	4,3	2,3	2,6	3,3
5	3,1	3,7	2,4	2,6	3,7
6	2,3	4,2	2,0	2,7	2,9
7	3,2	3,6	2,2	2,6	3,4
8	3,5	3,7	2,2	2,2	2,9
9	2,3	2,9	2,2	2,3	3,0
10	4,1	2,9	2,1	2,5	2,3
11	2,6	3,8	2,0	2,4	2,6
12	3,8	4,1	2,5	2,6	2,4
13	3,4	-x-	2,8	-x-	2,6
Média:	3,0	3,6	2,2	2,5	2,9
				Média geral:	2,8

Comparando-se o resultado médio geral obtido nos ensaios com o valor referencial de norma (da antiga NBR 7171:1993, igual a 1,0 MPa – Tabela 2.2, e da nova NBR 15.270-1:2005, igual a 1,5 MPa – Tabela 3.9), verifica-se que está acima, respectivamente, em 180% e 86,7%. Ademais, todos os resultados individuais apresentam-se superiores aos parâmetros mínimos recomendado nas citadas Normas. Em dois lotes (2 e 4), a tolerância quanto à inconformidade está dentro dos parâmetros aceitáveis. Os resultados indicaram que os componentes, com muita probabilidade, não seriam causa de manifestações patológicas estruturais, como de fato foi comprovado na inspeção de campo.

b) Bloco cerâmico de vedação – ensaios dimensionais.

Notou-se durante a mensuração das obras que os blocos recebidos em obra não apresentavam dimensões necessariamente uniformes (Figura 4.1), conforme previsão da norma prescritiva para esses componentes utilizados em alvenarias estruturais, a NBR 8042:1992, atualmente substituída pela NBR 15270:2005. Essa ocorrência não significa, a priori, que houve alguma irregularidade quanto à coleta das amostras para a realização dos ensaios, cujos

resultados estão apresentados nas tabelas sob esta alínea (b). O que se pode inferir é que o processo de produção desses componentes, inferior se comparado ao processo de produção dos blocos estruturais, influenciou nesse aspecto dimensional, havendo uma maior quantidade de unidades refugadas quando do recebimento dessas unidades da alvenaria no canteiro de obras.



Figura 4.1 – Aspecto do bloco de vedação refugado.

Nas Tabelas 4.3 a 4.9 estão os resultados dos ensaios dimensionais relativos aos Lotes 1 a 6, para verificação da conformidade frente à norma NBR 8798:1995, substituída pela NBR 15270:2005.

Tabela 4.3 – Resultados do ensaio dimensional – Lote 1

<i>CP (corpo-de-prova)</i>	<i>Dimensão (mm)</i>			<i>Área Bruta (mm²)</i>
	<i>Comprimento</i>	<i>Largura</i>	<i>Altura</i>	
1	192	90	188	17280
2	188	89	188	16807
3	189	87	184	16443
4	190	89	187	16910
5	192	89	189	17088
6	189	88	185	16632
7	193	88	189	16984
8	190	87	186	16530
9	189	87	184	16443
10	188	88	188	16544
11	192	88	187	16896
12	190	88	189	16720
13	-x-	-x-	-x-	-x-
Média:	190	88	187	16773
TI – L.Inf:	185	83	182	
TI – L.Sup:	195	93	192	

Nota: Laboratório SENAI – ACERVIR (Associação das Cerâmicas Vermelhas de Itu e Região).

Tabela 4.4 – Resultados do ensaio dimensional – Lote 2

<i>CP (corpo-de-prova)</i>	<i>Dimensão (mm)</i>			<i>Área Bruta (mm²)</i>
	<i>Comprimento</i>	<i>Largura</i>	<i>Altura</i>	
1	191	90	189	17050
2	191	90	190	17050
3	190	90	190	16960
4	190	90	190	17100
5	191	90	190	17145
6	190	90	190	17100
7	190	90	190	17005
8	190	90	189	16960
9	190	90	190	17005
10	191	89	190	16955
11	190	90	190	17005
12	190	90	189	16960
13	185	90	190	16558
Média:	190	90	190	17025
TI – L.Inf:	185	85	185	
TI – L.Sup:	195	95	195	

Nota: Laboratório CONTESTE Engenharia e Tecnologia Ltda (credenciamento INMETRO).

Tabela 4.5 – Resultados do ensaio dimensional – Lote 3

<i>CP (corpo-de-prova)</i>	<i>Dimensão (mm)</i>			<i>Área Bruta (mm²)</i>
	<i>Comprimento</i>	<i>Largura</i>	<i>Altura</i>	
1	190	90	190	17100
2	190	90	190	17100
3	191	90	190	17190
4	190	90	190	17100
5	190	90	190	17100
6	190	90	190	17100
7	191	90	190	17190
8	190	90	190	17100
9	190	90	190	17100
10	190	90	190	17100
11	190	90	190	17100
12	190	90	190	17100
13	-x-	-x-	-x-	-x-
Média:	190	90	190	17115
TI – L.Inf:	185	85	185	
TI – L.Sup:	195	95	195	

Nota: Laboratório CONTESTE Engenharia e Tecnologia Ltda (credenciamento INMETRO).

Tabela 4.6 - Resultados do ensaio dimensional – Lote 4

<i>CP (corpo-de-prova)</i>	<i>Dimensão (mm)</i>			<i>Área Bruta (mm²)</i>
	<i>Comprimento</i>	<i>Largura</i>	<i>Altura</i>	
1	187	90	193	16830
2	188	89	190	16732
3	188	92	191	17296
4	190	91	190	17290
5	183	89	189	16287
6	189	91	191	17199
7	188	92	193	17296
8	186	91	191	16926
9	191	90	191	17190
10	189	91	193	17199
11	187	88	188	16456
12	188	91	190	17108
13	186	90	190	16740
Média:	188	90	191	16984
TI – L.Inf:	183	85	186	
TI – L.Sup:	193	95	196	

Nota: LENC – Laboratório de Engenharia e Consultoria.

Tabela 4.7 - Resultados do ensaio dimensional – Lote 5

<i>CP (corpo-de-prova)</i>	<i>Dimensão (mm)</i>			<i>Área Bruta (mm²)</i>
	<i>Comprimento</i>	<i>Largura</i>	<i>Altura</i>	
1	187	90	192	16830
2	188	89	190	16732
3	188	92	191	17296
4	189	91	190	17199
5	183	89	189	16287
6	187	91	191	17017
7	188	92	193	17296
8	186	91	191	16926
9	191	90	191	17190
10	189	91	193	17199
11	187	88	188	16456
12	188	91	190	17108
13	186	90	190	16740
Média:	188	90	191	16961
TI – L.Inf:	183	85	186	
TI – L.Sup:	193	95	196	

Nota: LENC – Laboratório de Engenharia e Consultoria.

Tabela 4.8 - Resultados do ensaio dimensional – Lote 6

<i>CP (corpo-de-prova)</i>	<i>Dimensão (mm)</i>			<i>Área Bruta (mm²)</i>
	<i>Comprimento</i>	<i>Largura</i>	<i>Altura</i>	
1	187	89	188	16643
2	187	89	190	16643
3	190	89	190	16910
4	185	88	187	16280
5	189	89	191	16821
6	188	89	191	16732
7	187	89	190	16643
8	189	89	188	16821
9	189	88	189	16632
10	188	89	189	16732
11	188	89	188	16732
12	188	89	190	16732
13	188	88	188	16544
Média:	188	89	189	16693
TI – L.Inf:	183	84	184	
TI – L.Sup:	193	94	194	

Nota: LENC – Laboratório de Engenharia e Consultoria.

Tabela 4.9 – Resultados Médios dos Lotes.

<i>Lotes</i>	<i>Comprimento C (mm)</i>	<i>Largura L (mm)</i>	<i>Altura A (mm)</i>	<i>Área Bruta (mm²)</i>
1	190	88	187	16773
2	190	90	190	17025
3	190	90	190	17115
4	188	90	191	16984
5	188	90	191	16961
6	188	89	189	16693
Média:	189	90	190	16925
TM – LI:	186	87	187	
TM – LS:	192	93	193	

Com base nos resultados dos ensaios e nos relatórios dos laboratórios, todas as amostras atenderam às especificações da NBR 8798:1995, substituída pela NBR 15270:2005 (conforme Regulamento INMETRO, Portaria nº 127/2005). No entanto, em que pese a regularidade dimensional encontrada nas amostras ensaiadas, a falta de projeto quanto à modulação das paredes e a inadequação da mão-de-obra utilizada deram causa à elevação das alvenarias inserida numa inconformidade quanto à execução racionalizada de uma alvenaria auto-portante, modulada. O cuidado com a execução racionalizada da alvenaria, modulada, se faz importante até

por conta do uso de blocos de vedação com espessura de 9 (nove) cm, o que vai produzir uma parede esbelta, sujeita a carregamentos que não serão adequadamente distribuídos podendo originar manifestações patológicas por concentração de carregamentos.

c) **Argamassa de assentamento – ensaio de ruptura.**

Na Tabela 4.10 estão indicados os resultados obtidos nos ensaios realizados de ruptura à compressão, segundo a NBR 5739 e a NBR 13.279:1995.

Tabela 4.10 – Resultados do ensaio de ruptura do CP – argamassa de assentamento.

CP (corpo-de-prova)	Resistência à Compressão 7 dias / 28 dias (MPa)	Data da moldagem
1	1,8 / -x-	28/09/05
2	1,8 / 3,0	30/09/05
3	1,7 / 3,1	30/09/05
4	1,4 / 3,8	30/09/05
Média:	1,7 / 3,3	

Nota: Laboratório CONTESTE Engenharia e Tecnologia Ltda (credenciamento INMETRO).

Com base nos relatórios do laboratório, todas as amostras atenderam às prescrições das normas prescritivas citadas. Um fator importante a ressaltar é o comparativo da resistência da argamassa aos 28 dias (igual a 3,3 MPa) com aquela relativa aos blocos (igual a 2,8 MPa – média geral). A diferença em percentual entre ambos ficou na ordem de 17,9%. Na definição de qual deve ser o valor de resistência mais adequado à argamassa de assentamento, Gomes (1982) chegou à conclusão num trabalho experimental orientado ao estudo da alvenaria cerâmica de que, a partir dos valores obtidos e da observação dos modos de ruptura, o aumento da resistência da argamassa leva a uma ruptura excessivamente frágil, pois esta não consegue acompanhar os eventuais movimentos da estrutura. Por outro lado, argamassas de baixa resistência, não são capazes de absorver as imperfeições existentes nas unidades (blocos) e não conseguem distribuir corretamente as tensões. Com base na sua experiência, Gomes (1982) recomenda o emprego de

argamassas com uma resistência à compressão não inferior ao 70 % da resistência dos blocos e que em nenhum caso ultrapasse a resistência dos mesmos.

Em outra vertente, quanto à resistência mecânica à tração da argamassa, também convém salientar que esta não deve ficar maior que a resistência da unidade da alvenaria (bloco), para que as fissuras provocadas pela expansão térmica ou outros movimentos da alvenaria possam ocorrer nas juntas, embora a sua influência na resistência final da parede não seja muito significativa (CARDOSO, 1995). As argamassas da alvenaria são denominadas de “frágeis” (como o concreto e a cerâmica, em contraposição aos materiais denominados de “dúcteis”, como o aço, o alumínio ou o cobre). O limite de resistência à compressão para materiais frágeis é aproximadamente 8 (oito) vezes maior do que o limite correspondente obtido no ensaio de tração (CIMM, 2009) ⁴⁶.

Assim, considerando que a resistência da argamassa ensaiada ficou maior em relação àquela relativa aos blocos, pode-se considerar que numa situação de movimentação da alvenaria por solicitações diversas, o eventual fissuramento ocorrerá nas unidades da alvenaria (blocos).

d) Graute – ensaio de ruptura.

Quanto ao graute, preliminarmente indica-se que a compatibilidade entre o bloco e o graute possui uma importância relevante, e que a combinação inadequada desses materiais pode afetar a resistência da alvenaria devido às tensões de tração desenvolvidas (ROMAN, 2003).

Assim, na Tabela 4.11 estão indicados os resultados obtidos nos ensaios de ruptura à compressão, segundo a NBR 5739, e cujas conformidades foram baseados nas prescrições das normas vigentes NBR 5738:2008, NBR 5739:2007 e NBR NM33:1998.

⁴⁶ *Materiais frágeis* carregados em compressão tipicamente têm uma região linear seguida por uma região em que o encurtamento aumenta a uma taxa levemente maior do que a da carga aplicada. As curvas de tensão-deformação para compressão e tração geralmente têm formatos similares, mas as tensões normais últimas em compressão são maiores do que aquelas em tração (GERE, J.M. **Mecânica dos Materiais**. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2003. 698p.).

Tabela 4.11 – Resultados do ensaio de ruptura do CP – *graute*.

<i>CP (corpo-de-prova)</i>	<i>Resistência à Compressão 7 dias / 14 dias / 28 dias (MPa)</i>	<i>Data da moldagem</i>
1	11,6 / -x- / -x-	26/09/05
2	11,3 / -x- / -x-	26/09/05
3	10,4 / -x- / -x-	29/09/05
4	18,0 / -x- / -x-	26/09/05
5	-x- / 14,8 / 17,1	23/09/05
6	-x- / 14,6 / 18,8	23/09/05
7	12,1 / -x- / 17,1	26/09/05
Média:	12,7 / 14,7 / 17,7	

Nota: Laboratório CONTESTE Engenharia e Tecnologia Ltda (credenciamento INMETRO).

Com base nos relatórios do laboratório, todas as amostras atenderam às especificações das normas citadas.

Porém, a utilização do *graute* no sistema construtivo, com a finalidade de substituir a função de pilar não está na conformidade de uma construção segundo os parâmetros referenciais adequados. Na revisão bibliográfica foi indicado que este procedimento é inadequado para aplicação num sistema construtivo (item 2.3.3), como se apresenta no empreendimento sob estudo de caso. Roman (2003) indica que “o *graute* na alvenaria pode ser usado como material de enchimento em reforços estruturais, em zonas de concentração de tensões quando se necessita armar as estruturas (armaduras construtivas ou para absorver esforços de tração)”. Não é o caso verificado no sistema construtivo analisado nesta Tese. Estas inconformidades frente às recomendações indicadas na Revisão Bibliográfica e nas indicações de Roman (2003) devem ser corrigidas na execução da alvenaria do sistema construtivo sob estudo de caso.

4.2 Resultados da inspeção de campo

Na inspeção de campo, realizada entre o mês de dezembro de 2007 e março de 2008, foi observada a ocorrência de manifestações patológicas nas alvenarias das habitações da Fase 1, entregue aos usuários em outubro de 2002, como citado anteriormente. Ressalta-se que em várias unidades habitacionais foram verificadas ocorrências de mais de um tipo de patologia.

A ocorrência de manifestações patológicas num empreendimento habitacional está prevista em normativo técnico da Instituição financiadora, que detém experiência histórica pela concessão de financiamentos à produção, com indicação do seu limite máximo de admissibilidade (CAIXA, 2009), vinculada ao conceito do desempenho, nos seguintes termos:

“O conceito de desempenho técnico emitido por engenheiro/arquiteto do quadro das GIDUR/REDUR⁴⁷ deve compreender, para ser considerado BOM:

- *A boa qualidade das obras realizadas;*
- *Baixa incidência de vícios de construção recuperados, ou seja, comprovação da ocorrência de vícios de construção e sua regularização em, no máximo, 5% do número de unidades produzidas em um mesmo empreendimento (grifos nossos); e*
- *O bom relacionamento com a CAIXA quanto ao atendimento de pendências e problemas construtivos reclamados”.*

Este parâmetro da Caixa Econômica Federal (CAIXA) devido à sua relevância é recepcionado nesta Tese para ser comparado com os resultados obtidos na inspeção de campo, visto que a NBR 15.575 não faz menção de limite máximo de ocorrências relativas às manifestações patológicas que possa ser considerado relevante para comprometer o desempenho à durabilidade de um componente ou de um elemento ou de um sistema construtivo. Deve ser ressaltado que o limite máximo indicado no normativo interno da CAIXA refere-se a um percentual geral, isto é, não está relacionado a um determinado tipo de vício construtivo específico de um determinado componente ou elemento de um sistema construtivo.

Assim, os resultados obtidos na inspeção de campo são relacionados ao parâmetro CAIXA para uma análise de admissibilidade ou não do sistema construtivo. A partir daí, verificam-se as recomendações da NBR 15.575: requisito quanto ao atendimento da vida útil para as vedações (Tabelas 3.13 e 3.18), o efeito das falhas ou tipos das patologias quanto ao efeito no

⁴⁷ **GIDUR / REDUR:** são unidades de filial da Caixa Econômica Federal (CAIXA) que fazem a análise e a aprovação de propostas inseridas na área do desenvolvimento urbano e da sustentabilidade ambiental. **GIDUR** significa “Gerencia de Filial de Apoio ao Desenvolvimento Urbano” e é o órgão operativo da Vice-Presidência de Governo da Instituição a nível estadual. **REDUR** é a “Representação de Filial de Desenvolvimento Urbano” e é o órgão operativo da GIDUR a nível regional dentro de um Estado, geralmente ao nível de uma Superintendência Regional da CAIXA, que é o órgão negocial da empresa em determinada região do País. (N.A.).

desempenho relacionado à alvenaria (Tabela 3.14) e no custo de manutenção e reposição (Tabela 3.15).

4.2.1 Patologias relacionadas às Unidades Habitacionais (U.H.)

As manifestações patológicas exigem um alto número de ações de manutenção, por conta de sua frequência recorrente nas edificações (FIESS et al., 2004). Os citados autores efetuaram estudo sobre as causas da ocorrência de manifestações patológicas em conjuntos habitacionais do Estado de São Paulo com o objetivo de retroalimentar o processo das construções habitacionais, pois em geral podem comprometer a durabilidade das construções. No entanto, não correlacionaram os dados levantados especificamente ao requisito de durabilidade à luz da NBR 15.575, pois não havia, na época da elaboração do trabalho, normalização consolidada no País. Fizeram indicação das falhas que prejudicam o desempenho das edificações especialmente quanto à habitabilidade, segurança e estética. Outros trabalhos publicados, com o viés em patologias construtivas, focam a visão, quanto à gestão construtiva, no levantamento de boas práticas (planejamento, projeto, execução, uso e manutenção e pós-uso) através da pesquisa e caracterização em documentos técnicos nacionais, como propõe Cleto (2006), o que pode contribuir para minimizar patologias de habitações. Alguns trabalhos tratam de manifestações patológicas específicas às fissuras em alvenarias de blocos de solo-cimento (MORAES, 1982), portanto, com materiais ou componentes diversos deste trabalho, ou visam à análise ou ao estudo das causas e configurações típicas das manifestações patológicas (MAGALHÃES, 2006). Especificamente para condomínios residenciais, Silveira Neto (2006) faz indicações sobre manifestações patológicas recorrentes, com a identificação das suas possíveis causas e propõe medidas preventivas para a melhoria do processo construtivo na intenção de incentivar mudanças no setor da construção habitacional quanto ao tratamento de dados e informações.

Em todos os citados trabalhos, com alguma similaridade quanto ao tema, a preocupação principal foi na quantificação e na proposição de alternativas relacionadas à gestão construtiva e à classificação e busca das causas das patologias a fim de propor soluções construtivas. Os dados foram ordinariamente correlacionados às normas prescritivas em vigor. A comparação dos dados

patológicos frente ao desempenho, em especial ao desempenho de durabilidade, segundo o requisito da NBR 15.575:2008, não foi considerada nos citados trabalhos acadêmicos, o que, agora, se propõe neste trabalho. As manifestações patológicas verificadas nas alvenarias do empreendimento sob estudo de caso desta pesquisa são classificadas e quantificadas para posteriormente à consolidação efetuar correlação ao desempenho de durabilidade, conforme a citada norma de desempenho.

O resumo das manifestações patológicas da amostra das unidades habitacionais do empreendimento sob estudo de caso está apresentado na Tabela 4.12.

Tabela 4.12 – Resumo das manifestações patológicas no empreendimento sob estudo de caso.

INSPEÇÃO DE CAMPO			
RUA - FASE 1	PESQUISA.		
	Unid. Pesquisadas	Unid. c/ Patologias	Qtde Patologias
Rua Geraldo Vilela Curado (D1)	7	3	5
Rua Geraldo Vilela Curado (D2)			
Rua Vicente de Paulo Pereira (D)	11	2	2
Rua Vicente de Paulo Pereira (E)			
Rua Sérgio Negri (D)	12	4	10
Rua Sérgio Negri (E)			
Rua Dimas Bento de Almeida (D)	16	2	4
Rua Dimas Bento de Almeida (E)			
*Rua Dimas Bento de Almeida (E)			
Rua Guilherme Zancopé Negri (D)	13	6	7
Rua Guilherme Zancopé Negri (E)			
Rua Roberto Gáspari (E)	4	1	1
Rua Benedito Lino de Souza (E)	6	0	0
*Rua José Fontebasso (E)	2	0	0
*Rua Daniel da Silva (D)	12	2	3
*Rua Daniel da Silva (E)			
	83	20	32
OBSERVAÇÃO:			
(*) Ruas no sentido longitudinal.			
Total sobre a amostra (em %):	100,0%	24,1%	38,6%

Notas:

- Lado direito da via pública (lado par): (D)
- Lado esquerdo da via pública (lado ímpar): (E)
- * Ruas longitudinais. Demais ruas estão no sentido transversal, conforme implantação do loteamento.

Das 83 (oitenta e três) moradias da amostra, 20 (vinte) delas apresentaram algum tipo de manifestação patológica, totalizando 32 (trinta e duas). Isso representou na amostra 38,6% de inconformidades. Comparando-se com o parâmetro de admissibilidade do normativo CAIXA, de 5% do total de vícios construtivos nas unidades de um só empreendimento, o sistema construtivo

não estaria adequado segundo a experiência histórica da Instituição Financeira que aportou os recursos necessários para a execução do loteamento. Somente este dado já seria suficiente para indicar a necessidade de adequações quanto à concepção do sistema construtivo, dos seus projetos e da gestão construtiva. Ressalta-se que na concepção para implantação em determinado local, as condições climáticas que poderão interagir com as habitações devem estar previstas.

Quanto à classificação por tipo das manifestações patológicas, em números absolutos, pode ser verificada na Tabela 4.13.

Tabela 4.13 – Tipos de patologias registradas.

<i>Tipos de patologias - Alvenarias</i>	<i>Quantidade</i>
1) Movimentação térmica (fissuras laje/paredes, frisos)	13
2) Movimentação higroscópica (fissuras por umidade, verticais, ascendente)	02
3) Atuação excessiva de cargas (fissuras vergas/contra-vergas, verticais)	03
4) Retração da argamassa (fissuras de revestimento)	07
5) Eflorescência aparente no revestimento	01
6) Umidades (mofos, bolores)	06
<i>Total de manifestações patológicas verificadas:</i>	<i>32</i>

Os percentuais correspondentes às quantidades absolutas, no total da amostra, estão apresentados na Figura 4.2.

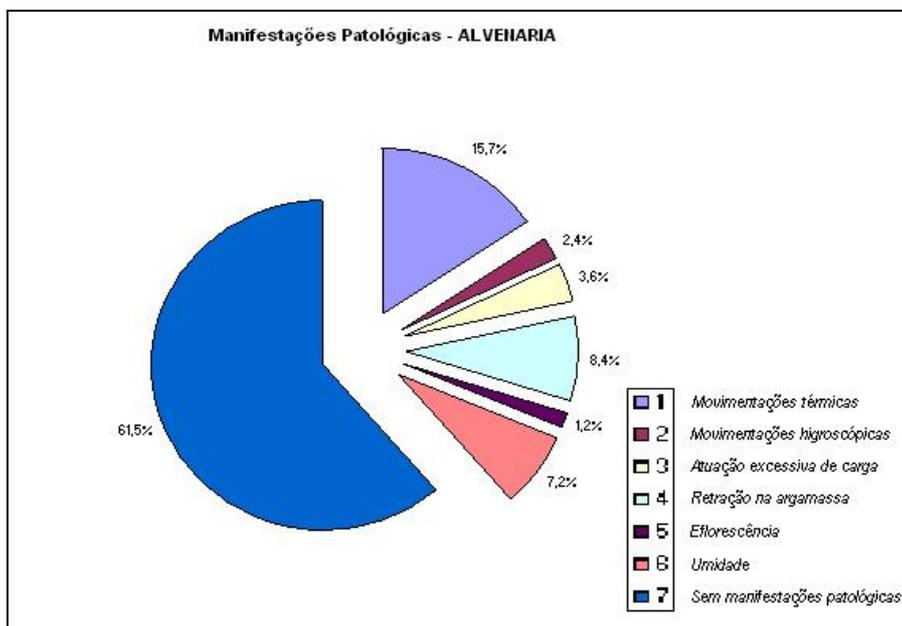


Figura 4.2 – Manifestações patológicas na alvenaria, em porcentual.

E no APÊNDICE B – Tabela 2, estão indicadas as unidades que apresentaram algum tipo de patologia, com a orientação de cada uma de suas fachadas externas e os tipos de manifestações patológicas verificadas. A implantação das U.H. no loteamento pode indicar a influência das condições climáticas na interação com as fachadas, sob estudo de caso.

Assim, a patologia por movimentação térmica alcançou a maior incidência verificada na inspeção de campo: 15,7% das manifestações encontradas no total das unidades habitacionais (U.H.) (Figura 4.2). É um indicativo importante para a verificação prévia da implantação das unidades habitacionais no empreendimento, levando em conta as características das condições climáticas locais (por exemplo, a incidência da radiação solar) com alternativas técnicas previstas em projeto que possam minimizar o aparecimento dessa patologia.

A patologia por movimentação higroscópica correspondeu a 2,4% do total das manifestações encontradas no total das unidades habitacionais (U.H.) (Figura 4.2). Ainda que seja a segunda menor causa patológica verificada, pode significar que o revestimento é suficientemente poroso para permitir uma variação do teor de umidade no seu interior, o que acarretará expansão do componente durante o aumento do teor de umidade e com a posterior diminuição dessa umidade provocará uma contração, ocasionando, assim, a manifestação patológica.

A atuação excessiva de carga que produziu a fissuras no elemento ou componentes por atuação excessiva de carga, com manifestações recorrentes sobre cantos dos vãos das aberturas (portas e janelas), correspondeu a 3,6% do total das manifestações encontradas no total das unidades habitacionais (U.H.) (Figura 4.2). No acompanhamento das obras da Fase 1 já havia sido constatada possibilidade dessa ocorrência, pois as alvenarias das unidades habitacionais em produção (U.H.) foram dimensionadas com a premissa para uma alvenaria estrutural. A causa provável dessa patologia decorre da deficiência quanto ao projeto, que não levou em consideração possíveis sobrecargas nos elementos, esbeltos (constituídos de blocos com espessura de 9 cm), e solidarizados via pilaretes com graute sem método construtivo adequado (vide Figura 3.26) e sem o respectivo cálculo racionalizado de uma alvenaria com função estrutural. Também a falta de vergas e contravergas nas dimensões mínimas recomendadas pode ser uma causa importante na concentração de cargas nos cantos das aberturas, ocasionando o

aparecimento da manifestação patológica. É usual encontrar detalhes deficientes, como a colocação de barras de aço com função inadequada inseridas em camadas insuficientes de argamassa ou graute (ROMAN, 2003). É o que pôde ser verificado nas unidades do loteamento sob estudo de caso.

A patologia por retração de produtos à base de cimento ocorreu nas argamassas de revestimento. Essa patologia correspondeu a 8,4% do total das manifestações encontradas no total das unidades habitacionais (U.H.). Foi a segunda maior ocorrência patológica encontrada na inspeção de campo. Já na fase da execução das obras do empreendimento, este vício ocorreu em várias unidades habitacionais (U.H.). Segundo Thomaz (1989), essas ocorrências constam fartamente na literatura técnica, cujas causas são reproduzidas abaixo, e que pela pertinência podem ser consideradas como as suas prováveis causas no empreendimento sob estudo de caso:

(A) Pela influência do clima nas condições de cura da argamassa, pois caso a evaporação da água iniciar-se antes do término da pega do aglomerante, isto é, antes de começar a reação de hidratação, a retração poderá ser acentuada; e

(B) Pela falha na execução, com a adição de cimento na mistura numa quantidade fora dos parâmetros adequados, pois quanto maior o consumo de cimento, maior a retração; também em relação à quantidade de água na mistura, pois quanto maior a relação água/cimento, maior a retração de secagem.

As outras patologias quantificadas, degradação do revestimento por eflorescência (1,2% das manifestações do total das unidades habitacionais inspecionadas) e a umidade registrada nas alvenarias, especialmente nas faces internas (7,2% das manifestações do total de unidades habitacionais inspecionadas), estão inter-relacionadas às causas anteriores. São patologias que podem ser classificadas como decorrentes das causas primárias comentadas.

A preocupação quanto à eflorescência e quanto à umidade extrapola a inadequação do elemento “alvenaria” frente às causas (de execução ou de projeto). Essas patologias, além do efeito psicológico negativo junto aos usuários, ocasionam não somente a deterioração dos componentes da alvenaria (revestimentos, argamassas de assentamento, blocos, armaduras de solidarização das paredes com os pilaretes / cintas), externa ou internamente, mas podem ocasionar também:

- (A) deterioração de bens móveis dos usuários nos ambientes onde forem detectadas;
- (B) aparecimento e proliferação de microorganismos patogênicos à saúde humana, portanto, aos usuários da unidade habitacional (U.H.).

As umidades internas decorrem das fissuras que atravessam o elemento “alvenaria”, degradando o revestimento (e a pintura), como se verifica na Figura 3.44. A eflorescência, indicada na Figura 3.42, pode ser ocasionada por umidade ascendente na base das paredes e, se for severa, irá degradar o revestimento pelas interações químicas no interior do material com a água abundante, como a hidratação retardada de cales pela ocorrência de umidificação do componente ao longo da sua vida útil, quando haverá a tendência dos óxidos livres se hidratarem, apresentando, em consequência, um aumento do volume de aproximadamente 100% (CINCOTTO, 1975). Ou, ainda, pode ocorrer pelo ataque por sulfatos que reagem com o aluminato-tricálcico do cimento, formando um composto denominado etringita. Essa reação é acompanhada de grande expansão. Os sulfatos podem ser originários de várias fontes, umas das quais é a água contaminada. Essa poderá ter acesso aos componentes através de diferentes formas: pela penetração de água de chuva em superfícies mal impermeabilizadas ou pela absorção da umidade pela ação dos usuários quando ocupam a unidade habitacional (U.H.), seja por processos de limpeza, seja pela condensação da umidade do ar presente nos ambientes (CEIDB, 1982).

Também, no caso da umidade e seus efeitos (aparecimento de bolores, manchas, escorrimentos) pode ser ocasionado pela má circulação do ar interno nos ambientes. Como foi constatado, as aberturas para ventilação cruzada dos ambientes das moradias não atingiram o mínimo recomendado pela NBR 15.575 (item 4.1 – Tabela 4.1). Nesse caso, há premente necessidade de revisão do projeto com a readequação das áreas das aberturas nas alvenarias.

Por fim, quanto ao requisito de durabilidade indicado na NBR 15.575, a vida útil de projeto mínima (Tabela 3.13), fixada em 40 anos para as vedações externas e de 20 anos para as vedações internas, não está adequadamente atendido. O efeito das falhas registradas na inspeção de campo pode levar à condição de “perigo à saúde”, prevista na Norma de desempenho (categoria C – Tabela 3.14), pela penetração de umidade através das fissuras ou por capilaridade na base das paredes. No entanto, não vislumbrou-se gravidade (categorias A e B) referentes ao

perigo à vida (ou de ser ferido) por colapso repentino da estrutura ou dos revestimentos. A manutenção requerida para a reposição de componentes da alvenaria pode chegar, contudo, até à categoria “D” (Tabela 3.15), relacionada a um alto custo de manutenção e/ou reparação. O custo de reposição será mais alto se comparado ao custo inicial. Essa condição está relacionada aos revestimentos da fachada, onde se apresentam as fissuras mais recorrentes: na interface parede / laje, e degradações por mapeamento e por carregamento concentrado. Para o público alvo de habitações de interesse social, de menor poder aquisitivo, esta condição é inaceitável, pois as manutenções requeridas para tanto, por falta de condições financeiras dos usuários, poderá ficar comprometida. Assim sendo, o desempenho de durabilidade poderá estar afetado. Nesse caso, o seu requisito relativo à vida útil não será atingido, longo quanto ao tempo (40 anos para as paredes externas e 20 anos para as paredes internas).

Os debates específicos quanto ao desempenho de durabilidade, na formulação da NBR 15.575:2008, dos quais participou o Autor desta Tese (como já citado), foram polêmicos. Na comissão de estudos da ABNT, incumbida de formatar os textos, sua forma e conteúdo, houve severa crítica a uma explicitação desse desempenho. Por proposta de associações de classe ligadas aos produtores de componentes, foi apresentada moção para que fosse excluído qualquer texto com considerações sobre durabilidade e vida útil. No entanto, pela atuação dos representantes do segmento dos consumidores, em especial da Caixa Econômica Federal (CAIXA), com o apoio de associações ligadas ao varejo de componentes construtivos, do Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) e da presidência da própria Comissão, permaneceram no texto final da NBR 15.575:2008 a explicitação desse desempenho de durabilidade, bem como de um anexo (ainda que informativo) que discorre com mais detalhes sobre a durabilidade e a vida útil (Anexo C da NBR 15.575-1). E na Parte 4 da citada Norma de Desempenho (item 14.1) foi incluída a menção explícita para o seguimento das recomendações contidas do Anexo C da Parte 1. Portanto, pela força normativa da Parte 4, o Anexo C da Parte 1 passa a ter, na realidade, o mesmo grau normativo, e não apenas informativo. Em que pese a necessária revisão e a harmonização entre as Partes 1 e 4 da NBR 15.575, após as discussões na Comissão de Estudos da ABNT, há uma explicitação do conteúdo do desempenho de durabilidade. Esta situação pode ser considerada um avanço relevante na normalização nacional sobre o tema.

5 CONCLUSÕES

Este trabalho relaciona-se à avaliação do sistema construtivo de um empreendimento de grande porte (Loteamento “Fazenda Grande”, em Jundiaí – SP), constituído de habitações de interesse social (H.I.S.). O elemento analisado das unidades habitacionais (U.H.) do sistema construtivo foi a alvenaria executada com blocos cerâmicos de vedação com funções auto-portantes.

As considerações quanto à concepção do empreendimento e sobre o processo construtivo das unidades habitacionais (U.H.) e os resultados da inspeção de campo, com a quantificação das manifestações patológicas que possam impactar no desempenho quanto à durabilidade (segundo a NBR 15.575:2008), permitiram indicar conclusões e sugestões para trabalhos futuros.

Quanto ao sistema construtivo das habitações com alvenarias em blocos cerâmicos de vedação com funções auto-portantes, do empreendimento sob estudo de caso, são apresentadas as conclusões seguintes.

(1) Conforme a inspeção de campo realizada na amostra definida para a população considerada (Fase 1 do Loteamento “Fazenda Grande”), de 83 unidades habitacionais (U.H.), nas quais foram verificadas patologias construtivas sob algum tipo classificado como tal em 20 unidades (24,1% do total da amostra), chega-se ao percentual de 38,6% dessa mesma amostra com algum tipo de patologia no elemento “alvenaria”. O percentual de manifestações patológicas pode ser considerado relevante quanto à admissibilidade prevista no parâmetro do Agente Financiador do loteamento, a Caixa Econômica Federal (máximo de 5% de patologias nas

unidades de um empreendimento). Por esse parâmetro, o sistema construtivo deve ser revisto em sua concepção construtiva e apresentadas soluções de implantação do empreendimento, projetos das unidades habitacionais, componentes da alvenaria e gestão da mão-de-obra envolvida na produção.

(2) Pode-se notar igualmente que a influência das condições climáticas locais é, também, um fator a ser considerado como provável causa das patologias. As fachadas direcionadas do leste ao norte e ao oeste, que recebem mais intensamente a radiação solar, desenvolveram mais fissuras decorrentes da variação térmica. Nota-se também que as fachadas relacionadas com a orientação oeste ao sul e ao sudeste, desenvolveram mais as patologias relacionadas à umidade. Essas fachadas recebem menor radiação solar direta e, por conta da incidência de chuvas ou ações de limpeza e da ventilação cruzada deficiente nos ambientes de maior permanência, a umidade contribui no desenvolvimento dos micro-organismos (fungos, bolores) nos revestimentos. Ademais, os projetos das moradias apresentaram-se deficientes quanto à ventilação cruzada interna, pela falta de aberturas mínimas adequadas ao zoneamento bioclimático 3, onde o município de Jundiá está inserido. Necessário se faz revisar em projeto as aberturas das alvenarias a fim de permitir uma adequada ventilação que poderá evitar o agravamento dos efeitos da umidade nos ambientes. Salienta-se que a implantação do empreendimento deve ser previamente concebida a fim de utilizar ao máximo o potencial climático local, como os ventos predominantes (nesse caso, a sudeste) e a insolação e o gradiente térmico local.

(3) O nível porcentual de manifestações patológicas registradas na alvenaria do sistema construtivo pode ser considerado relevante (vide as considerações do anterior item 1) se relacionado, também, ao prazo relativamente pequeno de 6 anos após a entrega das habitações aos seus usuários, quando comparado com o prazo mínimo previsto para a vida útil de projeto (VUP) prescrita na NBR 15.575 (Tabela 3.13 c/c Tabela 3.18). Em especial, as patologias por movimentações térmicas (fissuras na alvenaria), que, a depender da gravidade que assumir com o passar do tempo, pode fugir às considerações quanto ao dever do usuário em efetuar manutenções periódicas na habitação para manter a vida útil de projeto de 40 ou 20 anos (paredes externas e internas, respectivamente), caso esteja hipoteticamente prevista em projeto.

Ressalta-se que uma VUP menor do que a previsão mínima da norma NBR 15.575 não é admissível.

(4) É importante a prévia análise técnica sobre a adequação do elemento “alvenaria” de blocos de vedação com funções auto-portantes para aplicação em uma habitação, ainda que popular, frente às normas prescritivas para elementos estruturais. Em que pese os componentes cerâmicos serem de vedação, o sistema construtivo refere-se a uma alvenaria auto-portante. Assim, o projeto estrutural deve ser elaborado com indicações precisas para minimizar os esforços da laje sobre a esbelta alvenaria ($e = 9$ cm), dispor sobre os elos de ligação entre paredes e entre estas com os pilaretes (ou pilares armados) convenientemente dimensionados para suportar o peso próprio da supra-estrutura e as oscilações de expansão e retração dos materiais que constituem a alvenaria, que possuem coeficientes de dilatação diferentes entre si. E, principalmente, verificar os agentes do meio ambiente local que possam influenciar o elemento construtivo: o sentido predominante dos ventos, o regime de chuvas, a insolação e o gradiente térmico local. Deve-se ressaltar que o empreendimento analisado no estudo de caso tem como responsáveis técnicos os prepostos das duas construtoras contratadas para a sua execução, havendo ciência entre eles de que o sistema construtivo não estava atendendo às normas prescritivas e às normas de desempenho, ainda que estrangeiras, por falta de norma nacional naquele momento do início da construção da Fase 1.

(5) Especificamente quanto ao índice de esbeltez para a alvenaria do sistema construtivo sob estudo de caso, este ficou igual a 28,9 ($h_e = 260$ cm e $t_e = 9$ cm). Se for comparado com as prescrições da norma britânica (BS 5628-1), que recomenda especificamente para as paredes com espessura de 9 cm a esbeltez máxima de 20 ou com o Projeto ABNT 02:123.03-001 – Parte 1, que faz indicação de que o valor máximo da esbeltez para paredes com função estrutural (ou auto-portante) em paredes cerâmicas, não armadas, não deve superar o índice de 24, o sistema construtivo analisado nesta Tese não pode ser considerado adequado quanto à conformidade às prescrições ou recomendações técnicas vigentes ou em estudo, necessitando uma readequação quanto ao projeto estrutural e sua efetiva elaboração e apresentação ao Poder Público contratante e ao Agente Financeiro que aportou os recursos necessários para a sua produção.

(6) Também a homologação ou certificação de sistema construtivo quanto ao desempenho, com a NBR 15.575 por base, torna-se imprescindível. Segundo Zigmantas (2005), que expôs a problemática existente, e que é recepcionada nestas conclusões, “o desempenho desses sistemas, tidos como convencionais, é totalmente heterogêneo porque, durante a produção, raramente se pensa em mensurar desempenho”. A questão da heterogeneidade do desempenho dos sistemas é alimentada, muitas vezes, pelas legislações, pelas normas dos agentes financiadores e pelas diretrizes das companhias de habitação, muitas vezes antagônicas entre si quando relacionadas ao mesmo produto. Ressalta-se, como informa Zigmantas (2005) “que muito sistema denominado de ‘convencional’ não é produzido pensando no desempenho”. Nesse sentido, a Caixa Econômica Federal deveria padronizar o seu entendimento quanto à condição de um sistema construtivo ser “convencional” ou “não-convencional”, para a concessão de financiamentos ao segmento habitacional. Trata-se de um tema necessário para discussão na área técnica de engenharia e arquitetura da Empresa e emissão de normativo interno que sistematize o assunto em nível nacional.

(7) Torna-se relevante a inclusão nos currículos dos cursos de graduação em engenharia e arquitetura e urbanismo e dos cursos de pós-graduação em engenharia de edificações os conceitos aprofundados sobre desempenho. Sugere-se a elaboração de conteúdos programáticos em disciplinas específicas sobre desempenho das construções, atualizados conforme a NBR 15.575:2008 e/ou normas correlatas estrangeiras, em especial quanto aos requisitos e critérios relacionados ao desempenho de segurança estrutural e de durabilidade. Conforme Thomaz (1989), “o ensino do que deve ser feito é normalmente, e acertadamente, parte dos currículos dos citados cursos. Falta o ensino do que deve ser evitado”.

(8) O tempo decorrido desde a entrega das unidades do empreendimento analisado aos seus usuários, de 6 (seis) anos, atende ao tempo mínimo prescrito na NBR 15.575:2008 quanto ao interstício mínimo necessário para se efetivar uma inspeção de campo, de no mínimo 2 (dois) anos após a entrega das habitações aos usuários (ABNT NBR 15575-1:2008). Porém, pode-se considerar que o resultado das manifestações patológicas registrado no elemento “alvenaria” do sistema construtivo sob estudo, após esse tempo, igual a 38,6% do total, não atendeu ao requisito e aos critérios de durabilidade, vida útil e desempenho. Isso pode acarretar ao usuário, ao agente

financiador e ao construtor desgaste pela falta do cumprimento das exigências mínimas quanto à vida útil prevista para esse elemento construtivo, a alvenaria. A Caixa Econômica Federal (CAIXA), como citado, por experiência decorrente da concessão de financiamentos à produção de empreendimentos habitacionais, fixa em normativo interno o percentual máximo aceitável de 5% relativo à incidência de vícios de construção para as unidades constituintes de um mesmo empreendimento (CAIXA, 2009). Considerando o percentual referencial da CAIXA, citado, o valor percentual de patologias registradas indica a necessidade de aprofundar os estudos de formatação de projetos, da gestão da produção (incluindo a mão-de-obra) e do sistema construtivo (elementos e seus componentes). Também quanto ao requisito da vida útil de projeto, conforme as prescrições mínimas da NBR 15.575.

(9) Quanto à Norma NBR 15.575:2008 são apresentadas as seguintes considerações:

(9.a) a Parte 1 da norma trata do desempenho quanto à durabilidade no seu item 14 e possui considerações sobre durabilidade e vida útil no seu Anexo C. Esse foi definido como um anexo informativo, complementar ao texto principal normativo, não fazendo parte dele. No entanto, trata-se de um Anexo extremamente importante, com definições consolidadas que estavam dispersas por diversas literaturas. Manter esse Anexo como informativo não vai alcançar o objetivo pleno de impor aos integrantes do segmento da Construção Civil a obrigatoriedade de seguir o que lá está explicitado. Portanto, o desempenho quanto à durabilidade pode acabar ficando relegado como secundário. Esse desempenho, o mais complexo de todos, deveria ser mais explicitado na Norma e possuir autoridade normativa, e não apenas um texto complementar informativo.

(9.b) quanto às categorias de vida útil de projeto (VUP) para os edifícios, o texto da Norma deixa clara a seguinte posição: *“Este prazo, inferior ao aceito internacionalmente como mínimo, foi adotado nas ABNT NBR 15.575-1 a ABNT NBR 15.575-6 em função das condições socioeconômicas existentes atualmente e pode ser modificado quando de sua revisão”*. É uma posição inócua da Norma, pois o caráter normativo da mesma só entra plenamente em vigor após 2 (dois) anos da sua promulgação, dada em maio de 2.008. Assim, até maio de 2.010 o texto completo será apenas informativo ao público que direta ou indiretamente tem relacionamento com o segmento da construção habitacional. Infere-se que o inverso deveria ter sido indicado na

Norma: parâmetros mais sintonizados àqueles internacionalmente aceitos e que, na necessária revisão que se fará antes de sua entrada plena como estatuto normativo, retificar aquilo que pareceu pouco factível às condições sócio-econômicas existentes no País.

(9.c) um avanço que a Norma de Desempenho traz é o Anexo D – Diretrizes para o estabelecimento de prazos de garantia. Qualquer produto tem um prazo de garantia, princípio já recepcionado pelo Código de Defesa do Consumidor – Lei 8.078, de 11 de setembro de 1990 (BRASIL, 1990). No entanto, o citado Anexo da Norma é apenas informativo, e não normativo. Portanto, não irá obrigar ao segmento habitacional em seguir as orientações e prazos ali indicados, especialmente os relativos às alvenarias. Quanto à questão das responsabilidades no prazo de garantia (quando inserido no prazo de vida útil de projeto), a Norma deveria estabelecer parâmetros relacionados ao princípio da manutenibilidade. Ressalta-se que em relação a vício construtivo ou projeto inadequado ou má execução de algum edifício, sempre haverá um responsável que deverá assumir o ônus correspondente. Assim, conforme Zigmantas (2005), para concretizar a responsabilização, os considerandos a respeito seriam:

- se o problema se manifestar durante o período de garantia, o construtor assumiria o ônus de reparo imediatamente, não havendo necessidade de provar o erro, bastando caracterizar que existe a inconformidade (garantia objetiva)

- se o problema se manifestar após o prazo de garantia fixado na Norma, mas dentro do prazo de vida útil de projeto (VUP), o construtor e/ou o projetista poderiam vir a assumir o ônus desde que fique comprovado que projetaram e/ou construíram com imprudência; a incumbência de provar seria do usuário (garantia subjetiva). Nessa situação estariam as questões relativas ao uso e operação, à realização de serviços de manutenção e as eventuais mudanças nas condições de exposição da edificação.

- além do prazo de vida útil projetada (VUP) não haveria a quem responsabilizar.

(9.d) uma flexibilização que a Norma deveria recepcionar seria quanto aos métodos de construir, que tem, como exemplo, uma moradia sem laje que possa fazer parte de projeto de habitações populares e que não vai atender todos os desempenhos mínimos previstos no texto homologado. Para isso apresenta-se o princípio do “desempenho progressivo”, idéia explanada por primeiro por Cláudio Mitidieri nas discussões de elaboração da NBR 15.575. Esse princípio

está ligado aos programas de qualidade no País, como a qualidade evolutiva. Caberia ao usuário de uma habitação de interesse social complementá-la no tempo quanto aos requisitos de desempenho previstos na Norma e evitar a origem de manifestações patológicas, conforme indicados no respectivo manual do proprietário ou de manutenção. Este princípio tenderia a resolver diversas inconformidades, em especial aquelas relativas às habitações executadas em soluções emergenciais. Como ressalva importante, ao se mencionar uma habitação ‘evolutiva’, portanto com o princípio do desempenho ‘progressivo’, trata-se sempre de itens relacionados com desempenhos quanto ao conforto (térmico, acústico, etc.) e nunca com os desempenhos relacionados à segurança estrutural e à durabilidade.

(9.e) definir prazos quanto ao princípio da necessidade de manutenção obrigatória pelo usuário, sem a qual este deixa de fazer jus ao reparo pelas inconformidades ou manifestações patológicas eventualmente verificadas numa habitação. Sem essa definição na Norma, permanece com o segmento produtor (construtoras / incorporadoras) a atual situação onde o “quando e como” a manutenção deve ser realizada pelo usuário (consumidor).

Por fim, quanto à hipótese apresentada na introdução desta Tese, pode-se considerar que o sistema construtivo analisado não apresentou atendimento ao desempenho de durabilidade. O resultado do porcentual geral de patologias na alvenaria (38,6%) ultrapassou o parâmetro referencial de admissibilidade permitido em Manual Normativo da Caixa Econômica Federal (CAIXA, 2009), citado no item (8) – igual a 5%, que é a financiadora do empreendimento sob estudo de caso. O requisito de durabilidade indicado na NBR 15.575 (a vida útil de projeto mínima fixada em 40 anos para as vedações externas e 20 anos para as vedações internas), não está adequadamente atendido em virtude do efeito das falhas registradas, que podem levar à condição de “perigo à saúde” prevista na Norma de Desempenho (categoria C – vide Tabela 3.14), através da penetração de umidade nas fissuras ou por capilaridade na base das paredes. E a manutenção requerida para a reposição de componentes da alvenaria pode chegar à categoria “D” (vide Tabela 3.15), relacionada a um alto custo de manutenção e/ou reparação. O custo de reposição é mais alto se comparado ao custo inicial da produção. Esta condição está relacionada aos revestimentos das paredes (e também na interface da parede / laje), onde se apresentam as fissuras mais recorrentes e degradações dos revestimentos por mapeamento (fissuras

generalizadas na fachada, interna ou externa) e por carregamento concentrado, com fissuras nos cantos das aberturas das alvenarias (portas e janelas) ou abaixo de janelas, sob a contraverga. Ressalta-se que tais patologias ocorreram num período curto de 6 (seis) anos após a entrega das moradias aos seus usuários. Assim, para o público alvo de habitações de interesse social, de menor poder aquisitivo, esta condição de efetuar manutenções custosas passa a ser inaceitável, pois esse segmento social de baixa renda não tem condições econômicas para tanto. Assim sendo, o desempenho de durabilidade está afetado, pois como expõe a NBR 15.575-1:2008 em seu item 14.1: “o desempenho à durabilidade é uma exigência econômica do usuário, associado ao custo global do bem imóvel”. Portanto, o requisito relativo à mínima vida útil de projeto não será atingido, pois esse requisito indica parâmetro que pode ser considerado longo quanto ao tempo do desempenho, fixado em 40 anos para as paredes externas e 20 anos para as paredes internas.

5.1 Sugestões para trabalhos futuros

O desenvolvimento do presente trabalho permite sugerir alguns trabalhos complementares para enriquecer o tema abordado:

- (1) efetuar análises qualitativas no elemento “alvenaria” do sistema construtivo sob estudo de caso, focando a gestão do processo construtivo, e quais os seus impactos sobre as patologias verificadas quantitativamente na presente pesquisa;
- (2) analisar em particular cada uma das manifestações patológicas quantificadas e as formas de minimizar o aparecimento de cada uma delas, com indicação de soluções técnicas em projeto ou execução;
- (3) analisar a pertinência da implantação de um processo racionalizado de construção, utilizando os componentes cerâmicos de vedação como elemento de “alvenaria estrutural” para pequenas construções, com indicações sobre a espessura das paredes que possam minimizar os tipos de patologias registradas, com indicações sobre a modulação das paredes, a conformidade com o índice de esbeltez das paredes e quais seriam os elementos de ligação e travamento mais

eficientes para esse sistema, se factível, para minimizar as patologias quantificadas nesta pesquisa;

(4) analisar a influência das condições climáticas das diferentes zonas bioclimáticas indicadas na NBR 15.220:2005, no elemento do sistema construtivo que foi objeto deste trabalho;

(5) analisar as patologias em empreendimento de campo utilizando os demais métodos indicados na NBR 15.575, em especial ensaios e verificações de protótipos, obedecido o tempo mínimo para a realização destas verificações (2 anos após o término da construção);

(6) analisar o coeficiente da esbeltez da parede, em virtude da sua espessura (igual ao do bloco utilizado) e propor soluções para adequar o resultado obtido nesta Tese para o sistema construtivo sob estudo de caso a fim de adequá-lo às normas prescritivas.

REFERÊNCIAS

AGOPYAN, A. Estudos dos materiais de construção civil - materiais alternativos. In. EDITORA PINI, **Tecnologia de Edificações / Projeto de Divulgação Tecnológica Lix da Cunha**. 1ª Edição. São Paulo: Editora Pini : Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1988. Cap. 1, p. 75-78.

ALUCCI, M. P., FLAUZINO, W. D., MILANO, S. Bolor em edifícios: causas e recomendações. In. EDITORA PINI, **Tecnologia de Edificações / Projeto de Divulgação Tecnológica Lix da Cunha**. 1ª Edição. São Paulo: Editora Pini : Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1988. Cap. 8, p. 565-570.

ARGILLÉS, J. M. J et GARCIA, A. A. G. **Patología y técnicas de intervención: fachadas y cobiertas**. Madrid: Munilla- Lérvia, 1999.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA CONSTRUÇÃO INDUSTRIALIZADA (ABCI). **Manual técnico de alvenaria**. 1ª Edição. Coordenação de Carlos Alberto Tauil. São Paulo: Projeto Editores Associados, 1990. 276p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CERÂMICA (ABCERAM). Definição e classificação de cerâmica. Disponível em: <http://www.abceram.org.br/asp/abc_51.asp>. Acesso em: 22 dez 2008, às 11h30.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 5.410: Instalações elétricas de baixa tensão**. Rio de Janeiro, 2004. 209p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 5.626: Instalação predial de água fria**. Rio de Janeiro, 1998. 41p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 5.738: Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova**. Rio de Janeiro, 2008. 06p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 5.739:** Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2007. 09p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 6461:** Bloco cerâmico para alvenaria, verificação da resistência à compressão. Rio de Janeiro, 1983. 03p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 7.171:** Blocos cerâmicos para alvenaria - Especificação. Rio de Janeiro, 1993. 08p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 7.200:** Execução de revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas - Procedimento. Rio de Janeiro, 1998. 13p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 8.042:** Bloco cerâmico para alvenaria – Formas e dimensões. Rio de Janeiro, 1992. 3p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 8.160:** Sistemas prediais de esgoto sanitário. Rio de Janeiro, 1999. 74p

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 10.837:** Cálculo de alvenaria estrutural de blocos vazados de concreto. Rio de Janeiro, 1989. 20p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 11.702:** Tintas para edificações não industriais - Classificação. Rio de Janeiro, 1992. 06p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 12.483:** Chuveiros elétricos. Rio de Janeiro, 1992. 03p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 12.554:** Tintas para edificações não industriais - Terminologia. Rio de Janeiro, 1995. 03p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 13.245:** Execução de pinturas em edificações não industriais. Rio de Janeiro, 1995. 13p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 13.279:** Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão. Rio de Janeiro, 1995. 09p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 15.220:** Desempenho térmico de edificações - Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações de interesse social. Rio de Janeiro, 2005. 30p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 15.270:** Componentes cerâmicos – Parte 1: Blocos cerâmicos para alvenaria de vedação – Terminologia e requisitos. Rio de Janeiro, 2005. 11p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 15.270:** Componentes cerâmicos – Parte 2: Blocos cerâmicos para alvenaria estrutural – Terminologia e requisitos. Rio de Janeiro, 2005. 11p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 15.270:** Componentes cerâmicos – Parte 3: Blocos cerâmicos para alvenaria estrutural e de vedação – Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2005. 27p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 15.575:** Desempenho de Edifícios Habitacionais de até 5 pavimentos – Parte 1: Requisitos Gerais. Rio de Janeiro, 2008. 52p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 15.575:** Desempenho de Edifícios Habitacionais de até 5 pavimentos – Parte 4: Sistemas de vedações verticais externas e internas. Rio de Janeiro, 2008. 51p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR NM33:** Concreto – Amostragem de concreto fresco. Rio de Janeiro, 1998. 05p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **Projeto de Norma 02:123.03-001 – Parte 1:** Alvenaria estrutural – Blocos cerâmicos. Rio de Janeiro, 2009. 42p.

BARTH, F. La acción combinada de las lluvias con vientos en las fachadas de los edificios. In: CONFERÊNCIA INTERNACIONAL CONFORTO Y COMPORTAMIENTO TÉRMICO DE EDIFICACIONES – COTEDI. 2000, Maracaibo. **Anais...** Maracaibo: Universidade de Zulia, 2000.

BARTH. Fachadas, arquitetura, ambiente e tecnologia. In: CONGRESSO PARANAENSE DO AMBIENTE CONSTRUÍDO – COAPL, 2, 2001, Londrina. **Anais...** Londrina: UEL, 2001.

BAUER, R. J. F. Falhas em revestimentos. In: BAUER, L. A. F. **Materiais de Construção**. 5ª Edição. Rio de Janeiro: LTC – Livros Técnicos e Científicos Editora, 2001. Cap. 30, p. 903-945.

BAUER, E.; MOTA, N. M. B.; KRAUS, E.; PEREIRA, H. A. F. **Consistência das argamassas de revestimento e sua relação com a demanda de água e as partículas finas**. Brasília: UnB Editora, 2006. 12p. (PECC).

BEDIN, C. A. **Alvenaria estrutural de blocos de concreto**. 1ª edição. Florianópolis: ABCP, 2002. (Relatório técnico: Grupo de Tecnologia em Materiais e Componentes a Base de Cimento Portland).

BEZERRA, R. F. Habitação e Meio Ambiente: o fator humano – Algumas hipóteses para discussão. In. SEMINÁRIO DE AVALIAÇÃO DE PROJETOS IPT - HABITARE, 2001, São Paulo. **Anais...** São Paulo: IPT, 2002. p.109-114.

BRANDÃO, A. M. S.; PINHEIRO, L. M. **Qualidade e durabilidade das estruturas de concreto armado**: aspectos relativos ao projeto. São Carlos: EESC - USP, 1999. (Cadernos de Engenharia de Estruturas, n.8).

BRASIL, Lei 8.078, de 11 de setembro de 1990. Dispõe sobre a proteção do consumidor e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 12 set 1990. Seção 1, Edição Extra.

BRASIL. Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO). Aprova o Regulamento Técnico Metrológico. Portaria nº 127, 28 de junho de 2005. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 29 jun 2005.

BRITISH STANDARD INSTITUTION (BS). **BS 5628-1**: Code of practice for use of masonry. Structural use of unreinforced masonry. London, 1992. 76p.

BRITISH STANDARD INSTITUTION (BS). **BS 7543**: Guide to durability of buildings and building element, products and components. London, 1992. 43p.

CAIXA ECONÔMICA FEDERAL (CAIXA). **Memorial descritivo das habitações, segundo o Manual Técnico de Engenharia (MTE) – Loteamento Fazenda Grande**. Jundiaí: JCH – Jundiaí Cooperativa Habitacional : Construtora Menin Ltda, 2001. 11p. (Relatório Técnico de Engenharia, s/nº).

CAIXA ECONÔMICA FEDERAL (CAIXA). **MN AE083.002**: Limite para unidades habitacionais de empreendimentos contíguos. Brasília, 2009. 9p. (Normativo interno).

CARDOSO, A. P. **Tecnologia da cerâmica vermelha do norte do Paraná aplicada na produção de componente para alvenaria estrutural**. 1995, 139p. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1995.

CEIDB - COMITE EURO-INTERNATIONAL DU BETON. **Durability of concrete structures**. Paris: CEIDB, 1982. (Bulletin d'Information, n.148).

CENTRO DE INFORMAÇÃO METAL MECÂNICA (CIMM). Materiais dúcteis e materiais frágeis. Disponível em: <http://www.cimm.com.br/cimm/construtordepaginas/htm/3_24_7621.htm>. Acesso em 04 fev 2009, às 16h41.

CEOTTO, L. H., BANDUK, R. C.; NAKAKURA, E. H. **Revestimentos de argamassas: boas práticas em projeto, execução e avaliação**. Porto Alegre: ANTAC, 2005. 96p. (Recomendações Técnicas Habitare, v. 1).

CINCOTTO, M. A. **Danos de revestimento decorrentes da qualidade da cal hidratada**. São Paulo: ABPC, 1975. (Boletim nº 7).

CINCOTTO, M. A. Patologia das argamassas de revestimento: análise e recomendações. In. EDITORA PINI, **Tecnologia de Edificações / Projeto de Divulgação Tecnológica Lix da Cunha**. 1ª Edição. São Paulo: Editora Pini : Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1988. Cap. 8, p. 549-554.

CINCOTTO, M. A. et al. **Argamassa de revestimento: características, propriedades e métodos de ensaio**. São Paulo: IPT, 1995.

CLETO, F. R. **Referenciais tecnológicos para a construção de edifícios**. 2006, 195p. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

COSTA E SILVA, A. J. **Alvenaria**. 2004. Apostila de aula, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Católica de Pernambuco (UCP). 13p.

DA SILVA, T. J. Como estimar a vida útil de estruturas projetadas com critérios que visam à durabilidade. In: WORKSHOP SOBRE DURABILIDADE DAS CONSTRUÇÕES, 2, 2001, São José dos Campos. **Anais...** São José dos Campos: ANTAC, 2001.

DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG (DIN). **DIN 1053**: Part 1: Masonry: Design and construction (foreign standard). Berlin, 1996. 6p.

DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG (DIN). **DIN 4108**: Part 3: Heat insulation in buildings: protection against moisture caused by climate – requirements and directions for planning and construction. Berlin, 1981.

DRYSDALE, R. G.; HANID, A. A.; BAKER, L. R. **Masonry structures**: behavior and design. New Jersey: Prentice Hall, 1979.

EMPREENDIMENTO FAZENDA GRANDE. Imagem por satélite. Disponível em: <<http://maps.google.com.br/>>. Acesso em: 21 jul 2008, às 10h20.

EVANS D.L.; FICHER G.R.; GEIGER J.E.; MARTIN F.W. Thermal expansions and chemical modifications of cordierite. **Journal of the American Ceramic Society**. New York, 1980.

FIESS, J. R. F. et al. Causas da ocorrência de manifestações patológicas em conjuntos habitacionais do Estado de São Paulo. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 10, 2004, São Paulo. **Anais...** São Paulo: ANTAC, 2004.

FIORITO, A. J. S. I. **Manual de argamassas e revestimentos**. São Paulo: Editora Pini, 1994.

FK COMÉRCIO. Especificações dos componentes cerâmicos de vedação para alvenarias. Disponível em: <<http://www.fkct.com.br/>>. Acesso em: 12 jun 2008, às 20h30.

FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO. **Déficit habitacional no Brasil, 2005**. Belo Horizonte: Fundação João Pinheiro, 2007. (Informativo CEI - Centro Estatística de Informações, abril 2007).

FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO. **Déficit habitacional no Brasil**. 2ª edição. Belo Horizonte: Fundação João Pinheiro : Centro de Estatística e Informações, 2005. 111p.

FREITAS, V. P. **Transferência de umidade em paredes de edifícios**: análise do fenômeno de interface. 1992. Tese (Doutorado em Engenharia) - Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, Portugal, 1992.

FUNDAÇÃO MUNICIPAL DE AÇÃO SOCIAL (FUMAS). **Parque Antonieta Chaves Cintra Gordinho – Loteamento Popular Fazenda Grande**. Jundiá: FUMAS : JCH : CAIXA, 2004. 74p. (Relatório Técnico-Social do Empreendimento, s/nº).

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4ª edição. São Paulo: Atlas, 2002. 175p.

GIVONI, B. **Passive and low energy cooling of buildings**. New York: John Wiley and Sons, 1994. 272p.

GOMES, N. S. **A resistência das paredes de alvenaria**. 1983, 190p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1983.

HELENE, P. R. L. **Contribuição ao estudo da corrosão em armaduras de concreto armado**. 1993, 231p. Tese (Livre Docência) - Departamento de Engenharia de Construção Civil da Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1993.

HELENE, P. Introdução da vida útil no projeto das estruturas de concreto NB/2001. In: WORKSHOP SOBRE DURABILIDADE DAS CONSTRUÇÕES. Novembro. **Anais...** São José dos Campos: ANTAC, 2001.

HENRIQUES, F. M. A. **Humidade em paredes**. Lisboa: Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 1995.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO (IPT). **Avaliação de desempenho de habitações térreas unifamiliares**. São Paulo: IPT, 1983. 479p.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO (IPT). **Critérios mínimos de desempenho para habitações térreas de interesse social**. São Paulo: IPT, 1998. 84p.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO). **ISO 6240**: (E) Performance standards in building – contents and presentation. Geneva, 1980. 02p.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO). **ISO 6241**: Performance standards in building: – principles for their preparation and factors to be considered. Geneva, 1980.

ISAIA, G. C. Durabilidade do concreto ou das estruturas de concreto? Reflexões sobre o tema. In: WORKSHOP SOBRE DURABILIDADE DAS CONSTRUÇÕES. Novembro. **Anais...** São José dos Campos: ANTAC, 2001.

JOHN, V. M. **Avaliação da durabilidade de materiais e componentes de edificações**: emprego do índice de degradação. 1987. Dissertação (Mestrado) – Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1987.

JOHN, V. M. et al. Durabilidade e sustentabilidade: desafios para a construção civil brasileira. In: WORKSHOP SOBRE DURABILIDADE DAS CONSTRUÇÕES. Novembro. **Anais...** São José dos Campos: ANTAC, 2001.

JUNDIAÍ. Imagem por satélite. Disponível em: <<http://maps.google.com.br/>>. Acesso em: 04 fev 2009, às 23h10.

KELLETT, P. **Tecnologia inapropriada? Experiências de vivienda social em Gran Bretaña.** Buenos Aires, 1990. (Informes de la Construcción, vol.42, nº 409, septiembre/octubre, 1990).

KLEIN, D. L. et al. Sistemas construtivos inovadores: procedimentos de avaliação. In: SEMINÁRIO DE PATOLOGIA DAS EDIFICAÇÕES, 2, 2004, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: UFRGS, 2004.

KOEPPEN, W. **Climatología:** con un estudio de los climas de la tierra. México: P. Imprenta : Fondo de Cultura Econômica, 1948.

KUA, H. W. ; LEE, S. E. Demonstration intelligent building - a methodology for the promotion of total sustainability in the built environment. **Building and Environment**, New York, n.37, p. 231-240, 2002.

LABAKI, L. C. **Radiação solar incidente sobre a atmosfera terrestre.** 2005. 1 ilustração, color. Apontamentos de aula, Pós-Graduação em Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP).

LORDSLEEM JUNIOR, A. C. **Execução e inspeção de alvenaria racionalizada.** São Paulo: O Nome da Rosa, 2001. 103p.

MAGALHÃES, E. F. **Fissuras em alvenarias:** configurações típicas e levantamento de incidências no estado do Rio Grande do Sul. 2004, 177p. Trabalho de conclusão (Mestrado Profissionalizante) – Curso de Mestrado Profissionalizante em Engenharia, Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.

MANZIONE, L. **Projeto e execução de alvenaria estrutural.** São Paulo: O Nome da Rosa, 2004. 116p.

MASCARÓ, L. **Energia na edificação:** estratégia para minimizar seu consumo. São Paulo: Projeto, 1991.

MASTERS, L. N. ; BRANDT, E. Systematic methodology for service life prediction of building materials and components. **Materials and Structures**. New York, v.2, n. 131, p. 385-392, sep. 1989.

MATTOS, D. M. **Desenvolvimento de componentes para edificações:** blocos cerâmicos de vedação. 1988, 184p. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1988.

MEHTA, P. K. ; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto:** estrutura, propriedades e materiais. São Paulo: Editora PINI, 1994. 573p.

MITIDIARI FILHO, C. V. **Avaliação de desempenho de componentes e elementos construtivos inovadores destinados a habitações:** proposições específicas à avaliação do desempenho estrutural. 1998, 218p. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1998.

MORAES, M. B. **Estudo de trincas em paredes de alvenaria auto-portante de tijolos e blocos de solo-cimento.** 1982, 82p. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1982.

MORETTI, R. S. **Normas urbanísticas para Habitação de Interesse Social:** recomendações para elaboração. São Paulo: IPT / FINEP, 1997. 158p.

NAPPI, S. C. B. ; TONERA, R. Rebocos de recuperação. In: CONGRESSO IBERO-AMERICANO DE PATOLOGIA DAS CONSTRUÇÕES, 4, e CONGRESSO DE CONTROLE DE QUALIDADE, 6, 1997, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: DEC – UFRGS, 1997.

NEVILLE, A. Consideration of durability of concrete structures: past, present and future. **Materials and Structures**. New York, v.34, n. 236, p. 114-118, 2001.

OLIVEIRA, F. L.; JUNIOR, E. F. M. **Avaliação da segurança estrutural de sistemas inovadores.** São Carlos: EESP-USP, 1998. (Cadernos de Engenharia de Estruturas).

PEREIRA, M. F. P. **Anomalias em paredes de alvenaria sem função estrutural.** Portugal: Guimarães, 2005.

PINI EDITORA (PINI). Desempenho – Excelência atestada. **Revista Técnica**. São Paulo, edição 136, p. 50-53, jul. 2008.

REZENDE, L. V. S. et al. Resistência do concreto dosado em central - classificação e aspectos de durabilidade. In: CONGRESSO TÉCNICO-CIENTÍFICO DE ENGENHARIA CIVIL, 1996, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: UFSC, 1996.

ROMAN, H. R. et al. **Análise de alvenaria estrutural**. Florianópolis: NPC – Núcleo de Pesquisa em Construção da Universidade Federal de Santa Catarina : GDA – Grupo de Desenvolvimento de Sistemas de Alvenaria da Universidade Federal de Santa Catarina : FEESC – Fundação do Ensino da Engenharia em Santa Catarina, 2003. 168p.

ROQUE, J. A. **Sistema construtivo em aço patinável e bloco de concreto celular autoclavado: análise de protótipo de moradia de interesse social**. 2003, 195p. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Engenharia e Ciência dos Materiais, Universidade São Francisco, Itatiba, 2003.

ROSS, J. L. S. Os fundamentos da geografia da natureza. In: ROSS, J. L. S. **Geografia do Brasil**. 4ª Edição. São Paulo: EdUSP, 2001. Cap. 01, p. 13-63.

SABBATINI, F. H. et al. **Diretrizes para a produção e controle de dosagem das argamassas de assentamento e revestimento e recomendações para a execução de revestimentos de argamassa para paredes e tetos**. São Paulo: EPUSP, 1989. 180p. (Projeto EP/EN-1, Documento 1A: 20017).

SALES, U. C. et al. Mapeamento de problemas na construção industrializada em aço. **REM - Revista Escola de Minas**. Ouro Preto, vol. 54, nº 4, 2001.

SAYEGH, S. Cuidados contra o tempo: indispensável à valorização e funcionamento do imóvel, reparos devem seguir diretrizes de normas técnicas. **Revista Técnica**, São Paulo, ano 12, n. 85, p. 38-42, abr. 2004.

SEGAT, G. T. **Manifestações patológicas observadas em revestimentos de argamassa: levantamento de campo em conjunto habitacional popular na cidade de Caxias do Sul (RS)**. 2006, 166p. Dissertação (Mestrado Profissionalizante) - Curso de Mestrado Profissionalizante, Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2006.

SILVA, I. M. **Análise de edifícios de alvenaria estrutural sujeitos às ações do vento**. 1996, 81p. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1996.

SILVA, M. M. A. **Diretrizes para o projeto de alvenarias de vedação**. 2003, 167p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

SILVA, W. J. **Uma proposta metodológica para a inspeção da qualidade em blocos cerâmicos para alvenaria em canteiro de obras**. 2003. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2003.

SILVEIRA NETO, O. **Manifestações patológicas em condomínios habitacionais de interesse social do município de Porto Alegre**: levantamento e estudo sobre a recorrência. 2005, 168p. Trabalho de conclusão (Mestrado Profissionalizante) – Curso de Mestrado Profissionalizante em Engenharia, Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.

SOUZA, L. C. L. **Influência da geometria urbana na temperatura do ar ao nível do pedestre**. 1996, 125p. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1996.

SOUZA, R. e MITIDIÉRI FILHO, C. V. Avaliação de desempenho de sistemas construtivos destinados à habitação popular. In. EDITORA PINI, **Tecnologia de Edificações / Projeto de Divulgação Tecnológica Lix da Cunha**. 1ª Edição. São Paulo: Editora Pini : Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1988. Cap. 2, p. 139-152.

TANIGUTI, E. K. **Método construtivo de vedação vertical interna de chapas e gesso acartonado**. 1999, 293p. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.

TAYLOR, H.F.W. **Cement chemistry**. 2ª edição. London: Academic Pres, 1992.

TENÓRIO, J. A. S. et al. Decomposição da fase majoritária do cimento Portland - Parte I: alita pura. **Revista Metalurgia e Materiais**, São Paulo, [199-?].

THOMAZ, E. **Trincas em edifícios – causas, prevenção e recuperação**. 1ª Edição, Reimpressão: janeiro 1990. São Paulo: IPT : EPUSP : Editora Pini, 1989. 194p.

UEMOTO, K. L. Patologia: danos causados por eflorescência. In. EDITORA PINI, **Tecnologia de Edificações / Projeto de Divulgação Tecnológica Lix da Cunha**. 1ª Edição. São Paulo: Editora Pini : Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1988. Cap. 8, p. 561-564.

UEMOTO, K. L. **Projeto, execução e inspeção de pinturas**. São Paulo: O Nome da Rosa, 2002. 101p.

UEMOTO, K. L.; AGOPYAM, V.; BRAZOLIM, S. **Degradação de pinturas e elementos de fachada por organismos biológicos**. São Paulo: EPUSP, 1999. (Boletim Técnico).

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS (UNICAMP). Classificação do clima paulista segundo Koeppen. Disponível em: <<http://www.cpa.unicamp.br/outras-informacoes/clima-dos-municipios-paulistas.html>>. Acesso em: 21 jul 2008, às 19h45.

VERÇOZA, E. J. **Patologia das edificações**. Porto Alegre: Editora Sagra, 1991.

VILATÓ, R. R.; FRANCO, L. S. **A capacidade resistente da alvenaria estrutural não armada**. São Paulo: EPUSP, 2000. 21p. (Boletim Técnico PCC-515: Alvenaria Estrutural).

VON KRUGER, P. G. **Análise de painéis de vedação nas edificações em estrutura metálica**. 1999, 162p. Dissertação (Mestrado) - Departamento de Engenharia Civil, Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 1999.

WRIGHT, I. C. The deterioration of paints films by algae and lichens. In: INTERNATIONAL BIODETERIORATION SYMPOSIUM, 1, 1968, London. **Proceedings...** London: Elsevier, 1968.

ZIGMANTAS, L. G. M. Expectativa da CAIXA quanto à implantação das normas de desempenho de edifícios até 5 pavimentos. In: SEMINÁRIO SOBRE HABITAÇÃO, DESEMPENHO E INOVAÇÃO TECNOLÓGICA, 2005, São Paulo. **Anais...** São Paulo: IPT, 2005.

Apêndices

APÊNDICE A - Formulário da Inspeção de Campo.

APÊNDICE B – Tabelas com informações da inspeção de campo.

Apêndice A – Formulário da Inspeção de Campo.

Formulário da Inspeção de Campo

LOCAL PESQUISADO:	LOTEAMENTO FAZENDA GRANDE – FASE 1 (CASAS GEMINADAS)	
Endereço (RUA e Nº):		
DATA DA VISTORIA:		HORÁRIO:
Entrevistador:		

DADOS DO ENTREVISTADO:

Nome do entrevistado: _____

Há quanto tempo mora no local? _____

Condição da habitação: Comprou () Alugada () Doadada ()

DADOS DO IMÓVEL:

– Houve modificação construtiva (reforma / ampliação) após a aquisição do imóvel pelo proprietário?

Sim () Não () Não sabe (). Se houve, onde? _____

– Quantidade de dormitórios na casa ()

DADOS DO ENTORNO – CLIMA (=> ENTREVISTADOR):

– **Intensidade dos ventos no dia da entrevista:**

Nenhuma sensação () Pequena intensidade () Média intensidade () Grande intensidade ()

Direção dos ventos: de _____ para _____.

– **Orientação da construção pesquisada:**

Orientação da frente da habitação: N() NE() L() SE() S() SO() O() NO()

– **Clima externo do local – sensação térmica DO ENTREVISTADOR:**

Frio () Moderado () Quente ()

Identifique o cômodo de maior incidência externa de sol: _____

– **Bate sol na casa - verão? (impressão do entrevistador)**

Na casa toda () Quase toda () Poucos cômodos () Nenhum cômodo ()

DADOS DA ALVENARIA

– Condições da alvenaria / revestimento (em geral) – **conservação/manutenção:**

Conservada () Degradada em alguns pontos () Degradação generalizada ()

– **Paredes – faces externas – Existe alguma patologia?**

Sim (___) Não (___) Tipo(s): _____

Gravidade: Não relevante (___) Relevante (___)

– **Paredes – faces internas – Existe alguma patologia?**

Sim (___) Não (___) Tipo(s): _____

Gravidade: Relevante (___) Não relevante (___) Não foi possível entrar na moradia (___)

– **Patologia(s) verificada(s):**

Na alvenaria **externa** junto à laje (___)

Na alvenaria **externa** junto às aberturas – portas ou janelas (___)

No meio da parede – face **externa** (___)

No meio da parede – face **interna** (___)

Na alvenaria **interna** junto à laje (___)

Na alvenaria **interna** junto às aberturas – portas ou janelas (___)

– **Patologia mais grave VERIFICADA na alvenaria da moradia:**

Abertura até nos **blocos** – rachaduras (___)

Abertura até nas **argamassas de assentamento** – rachaduras / trincas (___)

Abertura somente nas **argamassas de revestimento** – trincas / fissuras (___)

Descreva a patologia: _____

– **Há infiltração de água?**

Sim (___) Não (___)

Se houver, qual gradação das conseqüências verificadas?

Mofo / bolor (___) Degradação do revestimento (___) Água vertendo (___) Blocos comprometidos (___)

– **Há infiltração de água em qual (quais) local (locais)?**

Na abertura de janelas (___)

Na ligação parede / laje (___)

Umidade ascendente na base da alvenaria (___)

Outros: _____

OUTRAS CONSIDERAÇÕES QUE ACHAR RELEVANTE:

Apêndice B – Tabelas com informações da inspeção de campo.

TABELA (I) – Inspeção de campo (Tipos de manifestações patológicas).

TABELA (II) – Orientação das U.H. pesquisadas.

TABELA (I) – Inspeção de campo (Tipos de manifestações patológicas).

INSPEÇÃO DE CAMPO		VISTORIA LOCAL										Qtde de U.H. Pesquisadas	Tipos de Manifestações Patológicas: (Vide LEGENDA)						Total de Patologias			
		Identificação U.H.		Qtde de U.H.		Tipos de Manifestações Patológicas: (Vide LEGENDA)																
		Nº Direita	Nº Esquerda	Dir.	Esq.	Total	A	B	C	D	E		F									
		Inicial	Final	Inicial	Final	da rua	da rua															
Rua Geraldo Vilela Curado	38	342	0	0	44	0	44	0	44									5				
Rua Vicente de Paulo Pereira	38	212	37	211	30	30	60											2				
Rua Sérgio Negri	38	212	37	211	30	30	60											10				
Rua Dimas Bento de Almeida (1)	70	286	157	331	36	30	90											4				
(*)Rua Dimas Bento de Almeida (2)	0	0	361	535	0	24												0				
Rua Guilherme Zancopé Negri	20	340	55	339	42	38	80											7				
Rua Roberto Gaspari	0	0	267	393	0	22	22											1				
Rua Benedito Lino de Souza	0	0	27	213	0	32	32											0				
(*)Rua José Fontebasso	0	0	13	125	0	16	16											0				
(*)Rua Daniel da Silva	256	386	61	409	20	40	60											3				
										464							32					
										Total de patologias por tipo no total das U.H. da amostra:						15,7%	2,4%	3,6%	8,4%	1,2%	7,2%	61,5%
										OBSERVAÇÕES:												
										(1) 1º trecho - sentido S/ONE												
										(2) 2º trecho - sentido SE/NO												
										(*) Ruas no sentido SE-NO.												
										LEGENDA - Tipos de Manifestações Patológicas:												
										A => movimentações térmicas (fissuras laje/parede, friso externo, paredes geminadas)												
										B => movimentações higroscópicas (trincas por umidade, verticais, ascendente).												
										C => atuação excessiva de carga (fissuras vergas/contra-vergas)												
										D => retração da argamassa (mapeamento)												
										E => eflorescência												
										F => unidades												
										Total de manifestações patológicas na Amostra, em número absoluto:						32						
										Total de manifestações patológicas na Amostra, em porcentual (%):						38,6%						
										Total de U.H. com manifestações patológicas na Amostra, em número absoluto:						20						
										Total de unidades com manifestações patológicas na Amostra:						24,1%						
										Total de unidades sem manifestações patológicas na Amostra:						75,9%						
										Referencial CAIXA - incidência máxima de vícios construtivos em um empreendimento (MI AE083.002 - item 3.3.2.1.6.1):						5,0%						

TABELA (II) – Orientação das U.H. pesquisadas.

INSPEÇÃO DE CAMPO									
RUA - FASE 1	Orientação da testada das U.H.	Orientação fachada lateral	Orientação fachada fundos	Qtde Patologias (Total)	Unidades com Patologias Qtde	Tipo de Patologia (Vide LEGENDA)			
Rua Geraldo Vilela Curado (D1)	N1NO - 335°	E1E - 65° E1E - 65°	SSE - 155°	5	2	A / D			
Rua Geraldo Vilela Curado (D2)	N1NO - 335°	OS0 - 245°	SSE - 155°		6	A			
Rua Vicente de Paulo Pereira (D)	N1NO - 335°	E1E - 65°	SSE - 155°	2	1	C / F			
Rua Vicente de Paulo Pereira (E)	SE - 135°	SO - 225°	NO - 315°		1	A			
Rua Sérgio Negri (D)	N1NO - 335°	E1E - 65°	SSE - 155°	10	2	A / B / F			
Rua Sérgio Negri (E)	SE - 135°	E1E - 65° SO - 225°	NO - 315°		26	A / D / E			
Rua Dimas Bento de Almeida (D)	N1NO - 335°	E1E - 65°	SSE - 155°	4	0	A / D / F			
Rua Dimas Bento de Almeida (E)	SE - 135°	SO - 225° SO - 225°	NO - 315°		7	A			
*Rua Dimas Bento de Almeida (E)	N1NE - 32,5°	O1HO - 302,5	SSO - 212,5°		30	A			
Rua Guilherme Zancopé Negri (D)	N1NO - 335°	OS0 - 245° OS0 - 245°	SSE - 155°	7	0	-x-			
Rua Guilherme Zancopé Negri (E)	SE - 135°	E1E - 45° E1E - 45° E1E - 45° E1E - 45°	NO - 315°		0	-x-			
Rua Roberto Gáspari (E)	SE - 135°	SO - 225°	NO - 315°	1	2	F			
Rua Benedito Lino de Souza (E)	SE - 135°	-X-	NO - 315°	0	3	B			
*Rua José Fontebasso (E)	N1NE - 32,5°	-X-	SSO - 212,5°		9	A			
*Rua Daniel da Silva (D)	N1NE - 32,5°	-X-	SSO - 212,5°	3	0	A / D			
*Rua Daniel da Silva (E)	OSO - 242,5°	O1HO - 332,5 SSE - 152,5	ENE - 62,5°		32	C			
				32	40	D			
					13	-x-			
					0	-x-			
					0	-x-			
					0	-x-			
					2	A / F			
					33	A			
					40	A			
				32	20				
OBSERVAÇÃO:				VENTOS PREDOMINANTES: SE					
(*) Ruas no sentido longitudinal.				Total sobre a amostra (em %):					
				38,6%	24,1%				
LEGENDA - Tipos de Manifestações Patológicas:									
A => movimentações térmicas (fissuras laje/parede, friso externo, paredes geminadas)									
B => movimentações higroscópicas (trincas por umidade, verticais, ascendente).									
C => atuação excessiva de carga (fissuras vergas/contra-vergas)									
D => retração da argamassa (mapeamento)									
E => efflorescência									
F => umidades									
				- U.H. com uma patologia verificada =>		0 (cor azul)			
				- U.H. com duas patologias verificadas =>		0 (cor verde)			
				- U.H. com três patologias verificadas =>		0 (cor vermelha)			

Anexos

ANEXO A – Projetos.

ANEXO B - Classificações bioclimáticas nacional e para o Estado de São Paulo.

ANEXO C - Descrição dos ensaios nos componentes da alvenaria das U.H. do sistema construtivo sob estudo de caso.

ANEXO A – Projetos

FIGURA (I) - Projeto da implantação do empreendimento.

FIGURA (II) – Projeto da Unidade Habitacional de 1 (um) dormitório.

FIGURA (III) – Projeto da Unidade Habitacional de 2 (dois) dormitórios.

FIGURA (IV) – Projeto da fachada da Unidade Habitacional.

FIGURA (V) – Corte transversal.

FIGURA (VI) – Corte longitudinal.

FIGURA (I) - Projeto da implantação do empreendimento.

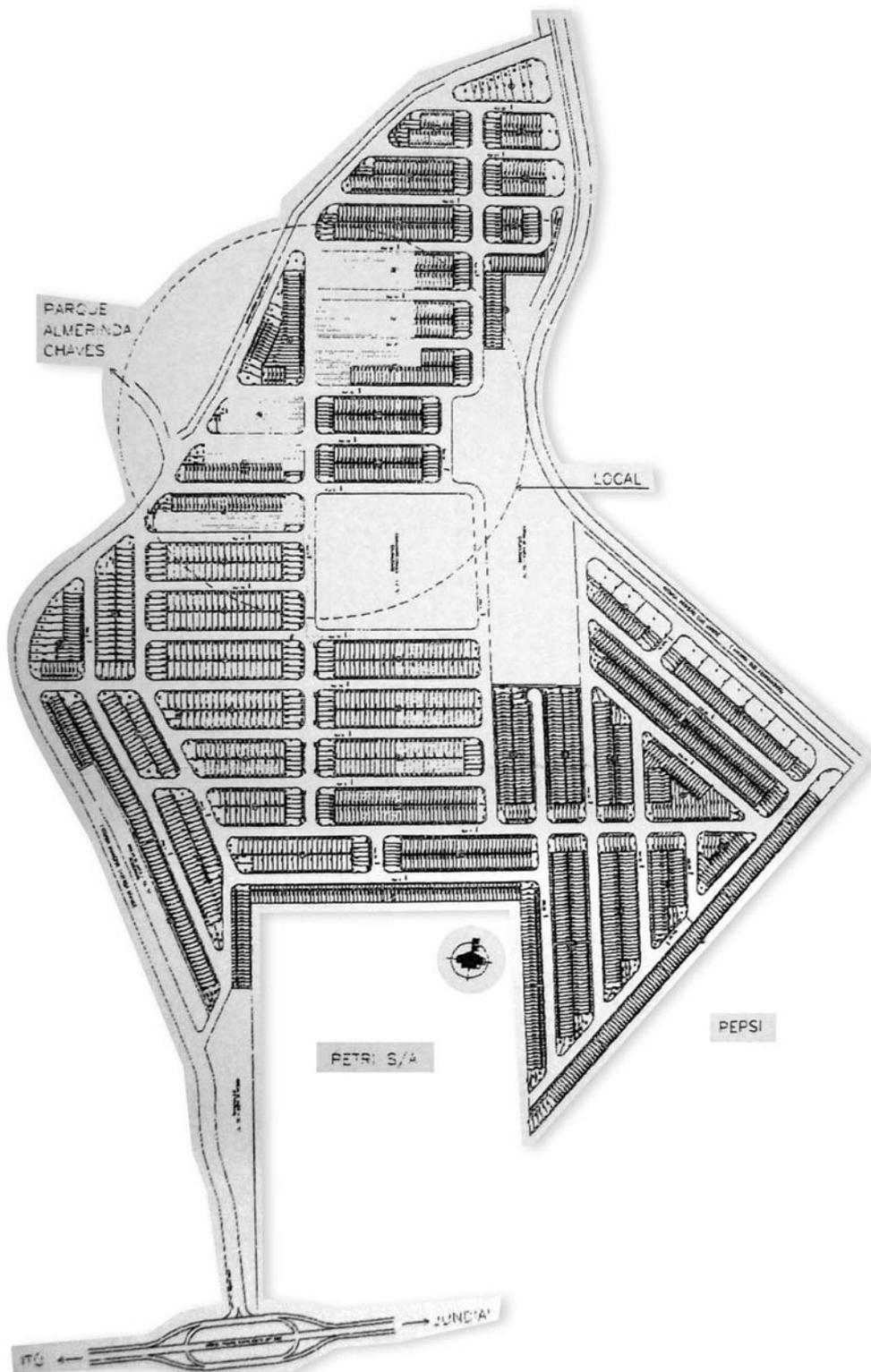


FIGURA (II) – Projeto da Unidade Habitacional de 1 (um) dormitório.

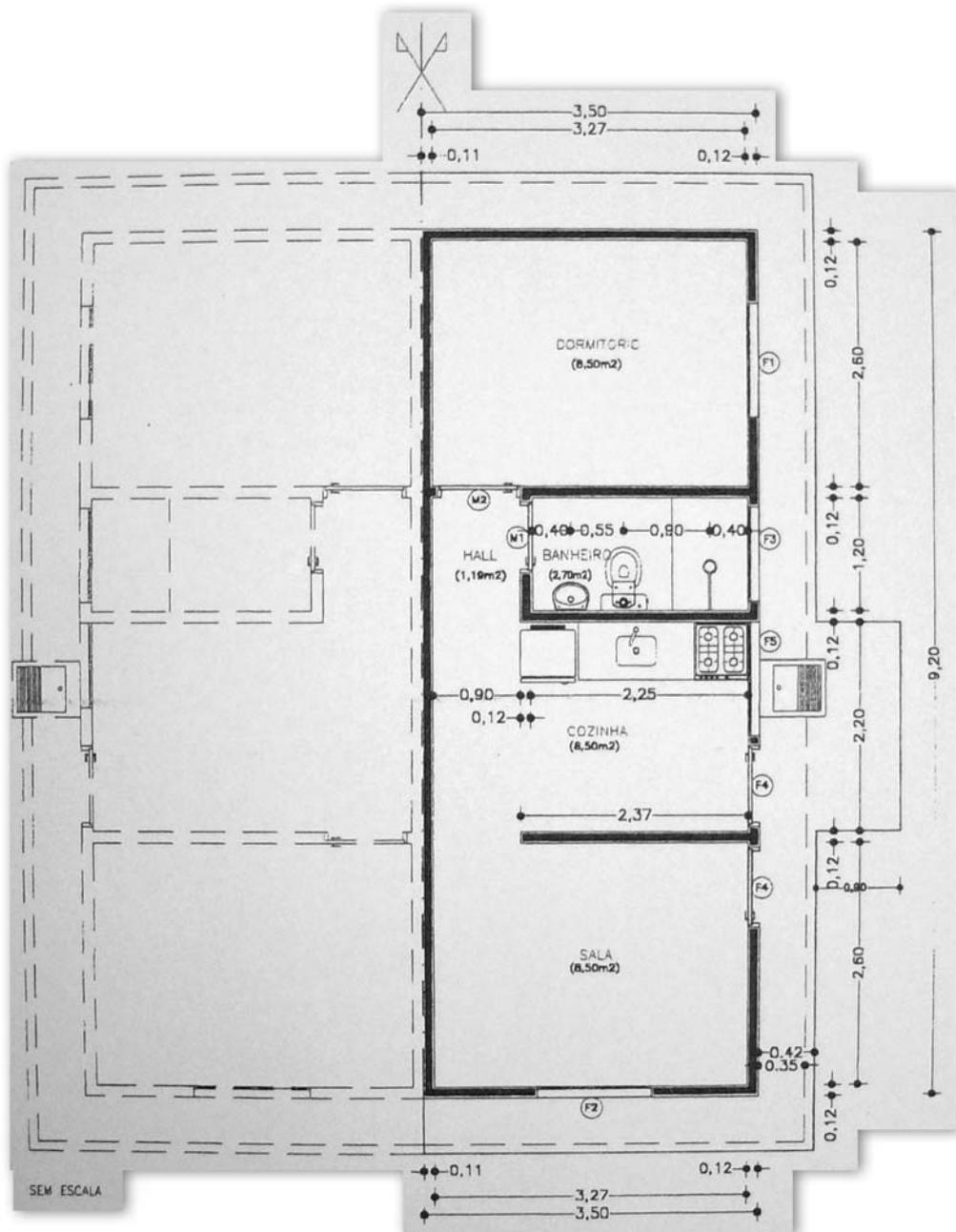


FIGURA (III) – Projeto da Unidade Habitacional de 2 (dois) dormitórios.

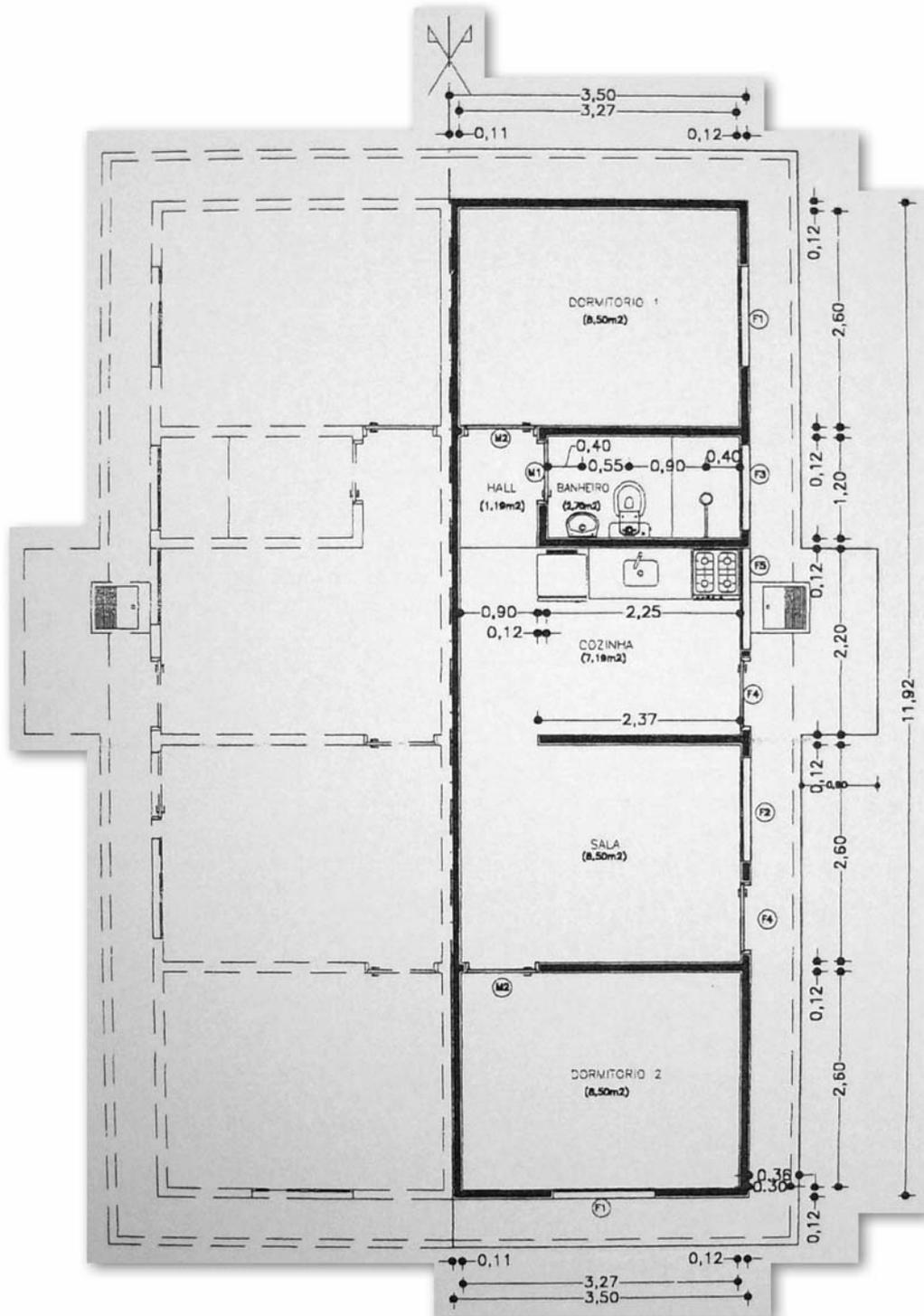


FIGURA (IV) – Projeto da fachada da Unidade Habitacional.

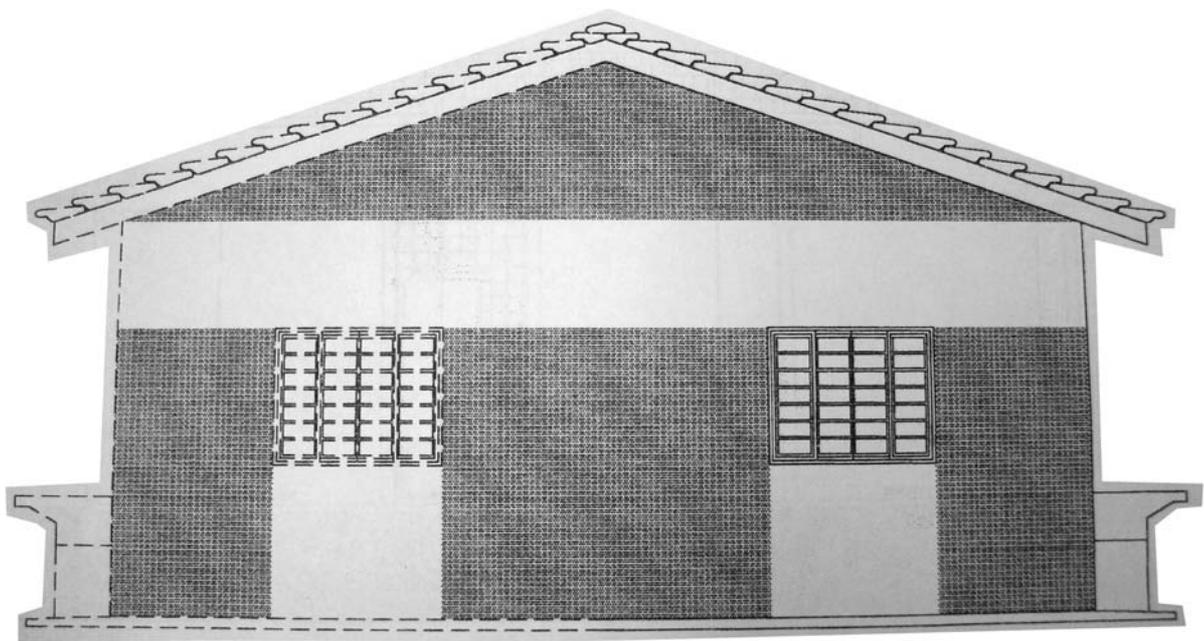


FIGURA (V) – Corte transversal.

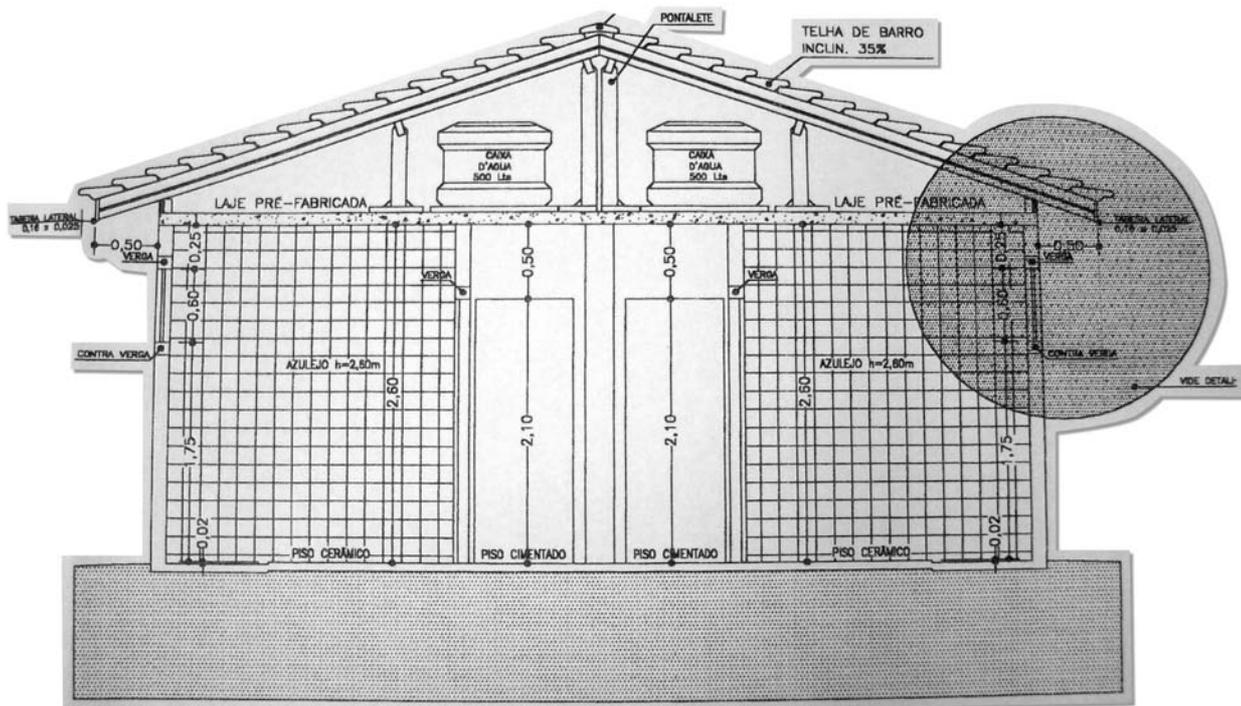
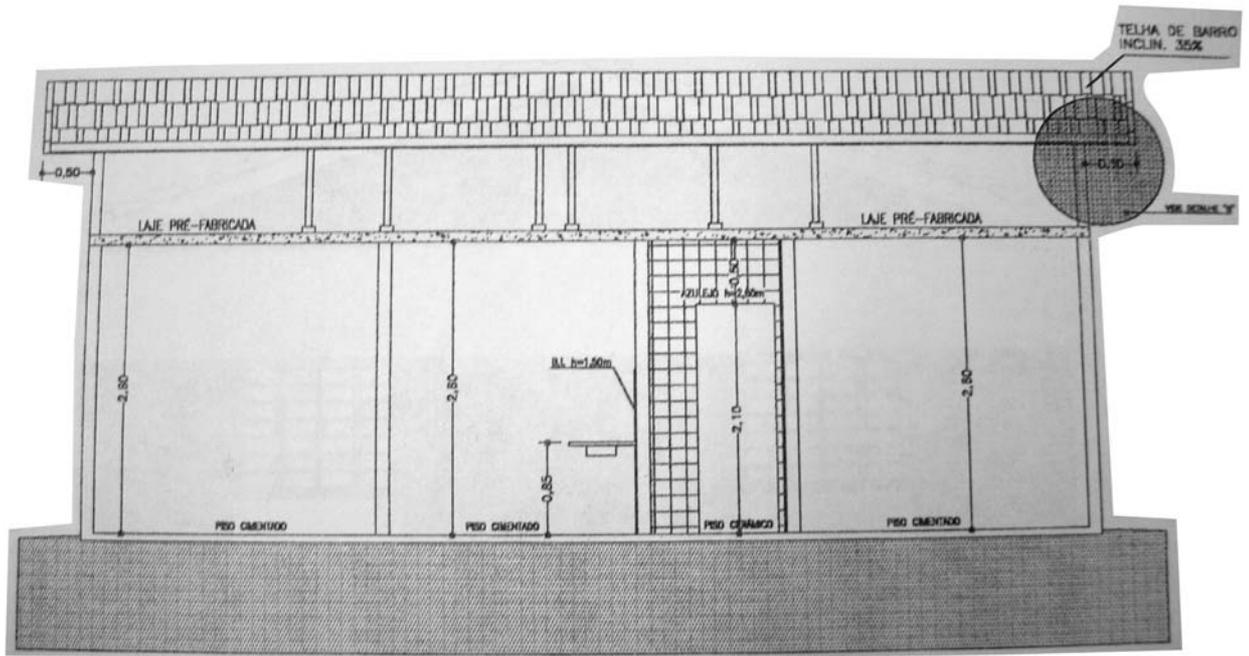


FIGURA (VI) – Corte longitudinal.



ANEXO B - Classificações bioclimáticas nacional e para o Estado de São Paulo.

Classificações bioclimáticas nacional e para o Estado de São Paulo.

O Brasil possui um zoneamento bioclimático constituído de 8 (oito) zonas, normalizado na NBR 15.220:2005 (ABNT NBR 15.220:2005). Para cada uma das zonas bioclimáticas são apresentadas recomendações que impactam a ação humana na região, conforme as características relacionadas à posição geográfica, à altitude, à temperatura, à capacidade da retenção da umidade relativa do ar, à circulação do ar – ventos, regime de chuvas, dentre outras. Na Figura B.1 é apresentado o zoneamento bioclimático brasileiro indicado na citada Norma.

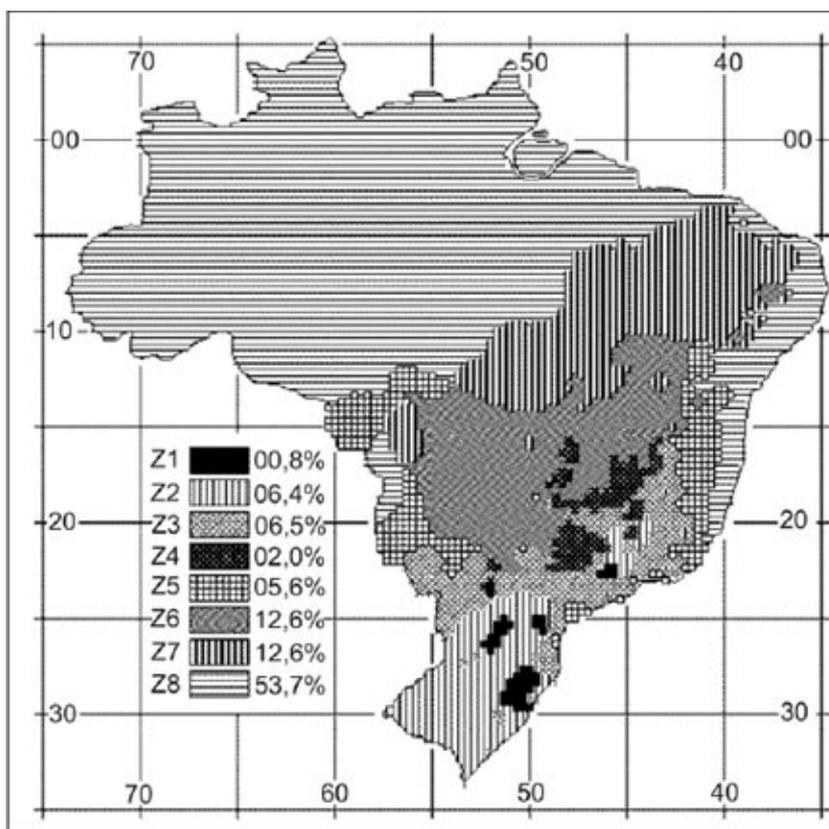


Figura B.1 – Zoneamento bioclimático brasileiro (Fonte: NBR 15.220:2005).

Para o Estado de São Paulo, tem-se uma classificação climática específica, de Koeppen, baseada em dados mensais pluviométricos e termométricos. Nessa classificação climática, o Estado de São Paulo abrange 7 (sete) tipos climáticos distintos.

Na Figura B.2 está o mapa do Estado de São Paulo com identificação da classificação climática de Koeppen por município.

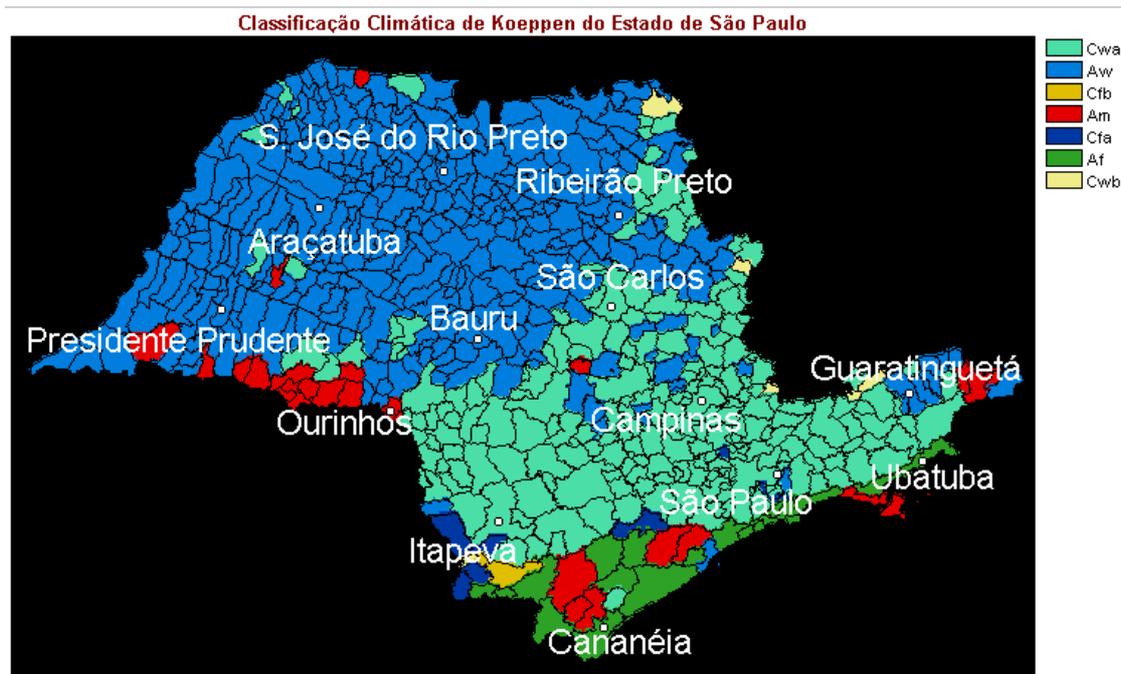


Figura B.2 – Classificação climática do Estado de São Paulo (Fonte: UNICAMP, 2008).

O tipo climático que abrange toda a parte central-leste do Estado (onde está inserido município de Jundiaí), é o **Cwa** e é caracterizado pelo clima tropical de altitude, com chuvas no verão e seca no inverno, com a temperatura média do mês mais quente do ano superior a 22°C. Os outros tipos climáticos segundo Koeppen são: **Cwb**: temperatura média do mês mais quente é inferior a 22°C e durante pelo menos quatro meses é superior a 10 °C; **Aw**: temperaturas mais quentes, tropical chuvoso com inverno seco e mês mais frio com temperatura média superior a 18°C. O mês mais seco tem precipitação inferior a 60mm e com período chuvoso que se atrasa para o outono; **Am**: clima tropical chuvoso, com inverno seco onde o mês menos chuvoso tem precipitação inferior a 60mm. O mês mais frio tem temperatura médio superior a 18°C; **Cfa**: clima tropical, com verão quente, sem estação seca de inverno, onde a temperatura média do mês mais frio está entre 18°C e -3°C – mesotérmico; **Cfb**: áreas serranas, mais altas, das serras do Mar e da Mantiqueira, com verão ameno e chuvoso o ano todo e verão um pouco mais ameno, onde o mês mais quente tem temperatura média inferior a 22°C; e **Af**: faixa litorânea, caracterizada pelo clima tropical chuvoso, sem estação seca com a precipitação média do mês mais seco superior a 60mm.

ANEXO C - Descrição dos ensaios nos componentes da alvenaria das U.H. do sistema construtivo sob estudo de caso.

Descrição dos ensaios nos componentes da alvenaria das U.H. do sistema construtivo sob estudo de caso.

a) Ensaios de resistência à compressão:

Os ensaios de resistência à compressão nos blocos cerâmicos foram realizados no sentido uniaxial, devidamente capeados nas duas faces com uma camada de pasta de cimento sobre uma placa de metal ou de vidro recoberta com uma folha de papel umedecida para uniformizar a área de atuação da força de compressão e a regularidade do ensaio. Após o endurecimento das pastas, os blocos foram imersos em água por 24h. Pouco antes do ensaio, foram retirados da água e enxugados. Após a medição das faces de trabalho foram realizados os ensaios em prensa de laboratório externo ao canteiro de obras do empreendimento, especialmente contratado para verificar a adequabilidade desses componentes frente às disposições da norma prescritiva. A Norma adotada como parâmetro foi a NBR 6461:1983 – Bloco cerâmico para alvenaria, verificação da resistência à compressão (ABNT NBR 6461:1983).

Conforme Costa e Silva (2004), “os corpos de prova devem ser ensaiados de modo que a carga seja aplicada na direção do esforço que o bloco deve suportar durante o uso. A tensão é calculada a partir da carga de ruptura, dividida pela área da seção bruta (ou seja, sem descontar as áreas dos furos). As posições de ensaio utilizadas são denominadas de galga, face e espelho, efetuados, respectivamente, com os furos na vertical, horizontal (ambos como o tijolo “em pé” – alvenaria de ½ vez) e novamente horizontal, porém com a carga aplicada no tijolo “deitado” (alvenaria de 1 vez)”.

Os blocos ensaiados com os furos na posição vertical apresentam resultados significativamente superiores àqueles analisados com os furos na horizontal, por conta do maior número de “septos” resistentes, o que auxilia também para a não ocorrência de uma ruptura do tipo abrupta.

Para as argamassas de assentamento da alvenaria, foram realizados ensaios de compressão uniaxial em corpos-de-prova (CP) segundo a NBR 5.739 e a NBR 13.279, em laboratório externo ao canteiro de obras do empreendimento, especialmente contratado para verificar a adequabilidade desses componentes frente às disposições da norma prescritiva. Nos corpos-de-prova foram executados capeamento de enxofre para uniformizar a área de atuação de compressão.

Igual procedimento foi realizado para os corpos-de-prova de *graute* e a análise dos resultados foi baseada nas prescrições das normas NBR 5738:2008, NBR 5739:2007 e NBR NM33:1998.

b) Ensaio dimensionais:

Quanto aos ensaios dimensionais dos blocos cerâmicos de vedação, foram realizados segundo as prescrições da NBR 8042:1992, substituída pela norma vigente NBR 15270:2005. Esta última reproduz os parâmetros do Regulamento Técnico Metrológico da Portaria INMETRO / MDIC nº 127/2005 (BRASIL, 2005), que estão apresentados nas Tabelas C.1 e C.2.

Tabela C.1 – Parâmetros da amostragem (Fonte: BRASIL, 2005).

<i>Tamanho do Lote</i>	<i>Tamanho da Amostra</i>	<i>Critério de Aceitação</i>
50 a 100.000 unid.	13 unid.	2 inconformidades

Tabela C.2 – Parâmetros da tolerância (Fonte: BRASIL, 2005).

<i>Dimensões</i>	<i>T (tolerância para a média)</i>	<i>T (tolerância individual)</i>
L. H. C.	3 mm	5 mm

Os ensaios dimensionais verificaram o atendimento à normalização prescritiva, com a posição dos blocos e o modelo das unidades ensaiadas (dimensões) nas seguintes condições:

- Posição dos blocos: furos no sentido horizontal.
- Modelo das unidades ensaiadas: 190x90x190mm (comprimento x largura x altura).