

ANDRÉ LUÍS DE ARAÚJO

PROPOSTA METODOLÓGICA PARA O PROJETO DE SISTEMAS DE
FECHAMENTO EM ALVENARIA PARA EDIFÍCIOS INSTITUCIONAIS EM
ESTRUTURA DE AÇO

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS - BRASIL
2010

ANDRÉ LUÍS DE ARAÚJO

PROPOSTA METODOLÓGICA PARA O PROJETO DE
SISTEMAS DE FECHAMENTO EM ALVENARIA PARA EDIFÍCIOS
INSTITUCIONAIS EM ESTRUTURA DE AÇO

Dissertação apresentada à
Universidade Federal de Viçosa, como
parte das exigências do Programa de Pós-
Graduação em Engenharia Civil, para
obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 13 de agosto de 2010.

Prof. Gustavo de Souza Veríssimo
(Co-orientador)

Prof. Antônio Cléber G. Tibiriçá
(Co-orientador)

Prof^a. Rita de Cássia S. S. Alvarenga

Prof. Geraldo Donizetti de Paula

Prof. José Luiz Rangel Paes
(Orientador)

*Aos meus pais,
Dedico.*

“[...] À Nação a que tudo devemos: os nossos melhores esforços, a nossa dedicação de todos os dias, todo o nosso trabalho e fortuna e a nossa própria vida...”

Exmº. Sr. Arthur da Silva Bernardes
Trecho do discurso de Inauguração da Escola
Superior de Agricultura e Veterinária (ESAV)
em Viçosa, 1926.

“Conferir ao aço a robustez da pedra, o calor da madeira, a maleabilidade do plástico ou a plasticidade moldável do concreto é não entender a sua gramática e sua semântica, não articular suas palavras, suas frases e sua mensagem e, portanto, não expressar de modo correto sua linguagem.”

Arq. Siegbert Zanettini

Professor Titular da Faculdade de Arquitetura & Urbanismo da Universidade de São Paulo

Agradecimentos

A Deus, por iluminar os meus caminhos.

A Santa Rita de Cássia – padroeira desta cidade – por eu ter tido a graça de nascer nos mesmos 22 de maio: minha eterna devoção e agradecimento.

A Universidade Federal de Viçosa, em especial ao Departamento de Engenharia Civil.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de estudos.

Ao Professor José Luiz Rangel Paes, orientador não só das coisas da ciência, mas, sobretudo, das coisas da vida: minha gratidão e minha eterna amizade.

Ao Professor Gustavo de Souza Veríssimo, pela dedicada orientação sempre segura, pela amizade e pelos ensinamentos.

Ao Professor Antônio Cleber Gonçalves Tibiriçá, pelas frases que jamais esquecerei, pelo exemplo de pessoa e pela gentileza com que lida com todos a sua volta.

Aos Professores Enivaldo Minette e Eduardo Marques, pela forma anfitriã como me acolheram e pelos passes que me deixaram “na cara do gol”.

Aos demais professores do Departamento de Engenharia Civil, pela amizade e pelos ensinamentos.

A Cristina Beatriz Schemes Costa pelo eficiente auxílio na realização deste trabalho.

Aos demais funcionários do Departamento de Engenharia Civil pela presteza e apoio constantes.

Aos colegas da Pós-Graduação, Tiago, Maila, Carlos Augusto, Eliane e Luiza, pela amizade, pela experiência do trabalho em equipe e pelas lindas frases de motivação.

As estagiárias do Programa REUNI-UFV, Débora e Mariana, pela presteza, dedicação e bom humor de todos os dias.

Ao Eng Roberto de Araújo Coelho, pelo estímulo intelectual, pelos valiosos conselhos e pelo apoio constante.

Aos colegas de trabalho – professores e funcionários – do Departamento de Arquitetura & Urbanismo, pelos sorrisos que recebo todas as manhãs.

Aos amigos de Viçosa e do curso de Arquitetura & Urbanismo, com os quais tive o prazer e a felicidade de conviver.

A minha mãe, Maria Lídia Freitas Araújo (*in memoriam*) – que está nos céus junto às violetas de que tanto gostava – por me mostrar que nem mesmo a morte é maior do que o amor.

Ao meu irmão, Paulo Henrique de Araújo (*in memoriam*), que mesmo ausente sempre se fez presente em meu coração.

Aos meus avós, Francisco, Carlindo, Margarida e Francisca (todos, *in memoriam*) pelas lembranças de coragem, pela alegria e por suas histórias de sucesso na educação dos filhos diante de todas as adversidades.

Ao meu pai, Divino de Araújo, pelo amor, pela amizade, pela hombridade, pelo exemplo de honestidade e por me ensinar a amar esta universidade.

As minhas irmãs Célia, Cláudia e Roberta, porque só nós sabemos a extensão exata do laço que nos une.

Aos meus cunhados Marco e Mauricio, pela amizade e pelos conselhos.

Aos meus sobrinhos queridos, Pedro, Ana, Gabriel, Vinícius, Letícia, André e Vitor, pela alegria que são em minha vida.

Aos meus demais familiares, pela união e solidariedade.

A minha madrasta Luíza, pelo carinho, pela amizade e pelas macarronadas de quinta-feira à noite.

A Maria Teresa Pascoal, pela presteza e dedicação.

A Marly Macedo, pela presteza e dedicação.

A Camilla Atsumi Zanuncio Sedyama, pelo amor e carinho, pela amizade e compreensão.

Enfim, o meu reconhecimento e a minha gratidão a todos aqueles que de alguma forma auxiliaram na realização deste trabalho.

Biografia

ANDRÉ LUÍS DE ARAÚJO, filho de Divino de Araújo e Maria Lídia Freitas Araújo, nasceu no dia 22 de maio de 1981 na cidade de Viçosa, no estado de Minas Gerais.

Cursou o ensino básico e fundamental na Escola Normal Nossa Senhora do Carmo, em Viçosa, com conclusão no ano de 1995. Cursou o ensino médio no Centro Educacional de Viçosa, Rede Pitágoras, em Viçosa, com conclusão no ano de 1998.

Em 1999, ingressou no Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal de Ouro Preto, transferindo-se para o Curso de Arquitetura & Urbanismo da Universidade Federal de Viçosa, no ano de 2001, onde obteve o grau superior de Arquiteto & Urbanista, no ano de 2006.

Em 2007, ingressou no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, em nível de Mestrado, submetendo-se à defesa em 13 de agosto de 2010.

Em agosto de 2009, foi aprovado em concurso público para o cargo de Professor Substituto das áreas de Representação Gráfica e Comportamento Ambiental do Departamento de Arquitetura & Urbanismo, desta instituição, onde leciona atualmente.

Sumário

Capítulo 1	Introdução	1
■ 1.1	Objetivos	5
1.1.1	Objetivo Geral	5
1.1.2	Objetivos Específicos	5
■ 1.2	Justificativa para o Desenvolvimento do Trabalho	6
■ 1.3	Estrutura da Dissertação	7
Capítulo 2	Fundamentação Téorica	8
■ 2.1	Patologia das Construções	9
■ 2.2	Metodologia de Avaliação do Desempenho das Construções	13
■ 2.3	Manifestações Patológicas na Construção Metálica	21
■ 2.4	Sistemas de Fechamento para Construção Metálica	23
2.4.1	Sistemas de Fechamento Vertical Pré-Fabricados	23
2.4.2	Sistemas de Fechamento em Alvenaria	25
Capítulo 3	Metodologia	34
■ 3.1	Avaliação das Manifestações Patológicas em Edifícios	35
■ 3.2	Desenvolvimento da Proposta Metodológica	38

Capítulo 4	Avaliação das Manifestações Patológicas em Edifícios de Estrutura de Aço	40
■ 4.1	Edifício do Centro de Ciências Biológicas II (CCB-II)	41
4.1.1	Identificação das Manifestações Patológicas no Edifício do CCB-II	43
■ 4.2	Edifício do Pavilhão de Aulas II (PVB)	49
4.2.1	Identificação das Manifestações Patológicas no Edifício do PVB	52
■ 4.3	Edifício da Comissão Permanente de Vestibular e Exames (COPEVE)	58
4.3.1	Identificação das Manifestações Patológicas no Edifício da COPEVE	61
■ 4.4	Edifício do Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas (CCE)	67
4.4.1	Identificação das Manifestações Patológicas no Edifício do CCE	70
■ 4.5	Síntese da Avaliação dos Edifícios	74
Capítulo 5	Projeto de Alvenaria de Fechamento: Proposta Metodológica e Aplicações	75
■ 5.1	Proposta Metodológica para Projetos de Alvenaria	76
5.1.1	Diretrizes para Definição do Sistema de Alvenaria	78
5.1.2	Verificação da Compatibilidade dos Projetos Executivos.....	79
5.3.1	Seqüência para Elaboração de um Projeto de Alvenaria.....	80
■ 5.2	Casos de Aplicação	90
5.2.1	Edifício dos Laboratórios de Engenharia (LBE)	90
5.2.2	Edifício das Licenciaturas (LCT)	100
5.2.3	Síntese da Aplicação da Metodologia para Projetos de Alvenaria	106
Capítulo 6	Conclusões e Recomendações para Trabalhos Futuros	107
■ 6.1	Conclusões	107
■ 6.2	Recomendações para Trabalhos Futuros	110
	Referências Bibliográficas	111
Anexo A	Detalhes do sistema de fechamento em alvenaria do Edifício dos Laboratórios de Engenharia	
Anexo B	Detalhes do sistema de fechamento em alvenaria do Edifício das Licenciaturas	

Lista de Quadros

Quadro 2.1	Agentes de deterioração dos edifícios.	16
Quadro 2.2	Possibilidades e limitações dos painéis de concreto pré-fabricado.	24
Quadro 2.3	Possibilidades e limitações dos painéis de GRC.	24
Quadro 2.4	Possibilidades e limitações dos painéis metálicos.	25
Quadro 2.5	Possibilidades e limitações dos painéis de gesso acartonado.	25
Quadro 3.1	Síntese da metodologia de avaliação dos edifícios.	36
Quadro 3.3	Etapas da vistoria.	38
Quadro 3.4	Identificação das informações de projeto relacionadas aos fechamentos.	39
Quadro 4.1	Síntese dos resultados obtidos na investigação do CCB-II.	49
Quadro 4.2	Síntese dos resultados obtidos na investigação do PVB.	58
Quadro 4.3	Síntese dos resultados obtidos na investigação da COPEVE.	67
Quadro 4.4	Síntese dos resultados obtidos na investigação do CCE.	73

Lista de Figuras

Figura 2.1	Lei de Sitter (SITTER apud HELENE, 1992).	12
Figura 2.2	Fluxograma de tratamento das manifestações patológicas. (Adaptado de LICHTENSTEIN (1986).	15
Figura 2.3	Classificação das alvenarias quanto às ligações: (a) 4 ligações rígidas; (b) 3 ligações rígidas e uma flexível; (c) 1 ligação rígida e 3 flexíveis (NASCIMENTO, 2002).	27
Figura 2.4	Esquema de alvenaria no mesmo plano da estrutura: (a) planta; (b) elevação; (c) perspectiva (Adaptado de COELHO, 2004).	28
Figura 2.5	Esquema de alvenaria em plano externo à estrutura: (a) planta; (b) elevação; (c) perspectiva (Adaptado de COELHO, 2004).	29
Figura 2.6	Sistema <i>Barrier Wall/Stone Veneer Reinforced Concrete Block</i> : (a) Esquema geral e; (b) Detalhe do arremate inferior (Fonte: http://www.masonrysystems.org).	31
Figura 2.7	Sistema <i>Single Wythe/ Reinforced Concrete Block</i> : (a) esquema geral; (b) detalhe do arremate inferior (Fonte: http://www.masonrysystems.org).	32
Figura 2.8	Vistas externas do Edifício da Prefeitura de Wilsonville, OR – EUA: (a) vista geral; (b) detalhe do arremate superior (Fonte: http://www.masonrysystems.org).	33
Figura 2.9	Sistema <i>Cavity Wall/Brick veneer/Reinforced Concrete Block</i> : (a) detalhe de ligação entre alvenarias; (b) movimentações permitidas nas gravatas (Fonte: http://www.masonrysystems.org).	33
Figura 3.1	Síntese da metodologia para o desenvolvimento deste trabalho	35
Figura 4.1	Planta tipo (esquemática do pavimento tipo) do CCB-II	42
Figura 4.2	Vistas do Edifício do CCB-II: (a) vista aérea (Fonte: http://www.google.com.br); (b) vista externa.	42

Figura 4.3	Vistas da execução do fechamento vertical externo.	43
Figura 4.4	Concentrações de fungos e mofos em paredes internas e presença de umidade próxima ao sistema elétrico do edifício.	45
Figura 4.5	Manifestações patológicas na fachada: (a) “estufamento” do revestimento cerâmico; (b) descolamento do revestimento cerâmico aplicado sobre os elementos que promovem a desvinculação do fechamento vertical.	46
Figura 4.6	Corrosão das interfaces entre o fechamento vertical e os elementos estruturais: (a) manifestação patológica nos locais de aplicação do selante de poliuretano; (b) aplicação do selante de poliuretano em detalhe.	47
Figura 4.7	Principais zonas de entrada de água no edifício através das paredes das fachadas.	47
Figura 4.8	Corrosão e escorrimento na parte interna de elementos metálicos.	48
Figura 4.9	Planta tipo (esquemática do pavimento térreo) do PVB.	50
Figura 4.10	Vistas do Edifício do PVB: (a) vista aérea (Fonte: http://www.google.com.br); (b) vista externa.	51
Figura 4.11	Vistas da execução do fechamento: (a) detalhe do arremate superior das paredes; (b) detalhe da ligação das quinas da alvenaria com a mesa e a alma dos pilares; (c) junta vertical formada por dois perfis “U” formados a frio ligados entre si.	52
Figura 4.12	(a) Pilar interno do Edifício do PVB; (b) detalhe ampliado mostrando o escorrimento na alma do pilar.	53
Figura 4.13	Vestígios da retenção de água na laje da cobertura.	54
Figura 4.14	Vista de parte da cobertura do Edifício do PVB. (a) Imagem lateral com destaque para a estrutura interceptando a alvenaria; (b) detalhes tubo de drenagem na platibanda.	54
Figura 4.15	Principais zonas de passagem da água para a superfície da laje.	55
Figura 4.16	Zona de corrosão entre a chapa de arremate da laje mista e a mesa superior da viga de aço.	56
Figura 4.17	Manifestações patológicas nas paredes da fachada: (a) aspecto geral da fachada; (b) detalhe da “radiografia da alvenaria”.	56
Figura 4.18	Manifestações patológicas nos contraventamentos. (a) Desprendimento de elementos de vedação e; (b) detalhes de improvisos com peças de madeira.	57
Figura 4.19	Flecha observada nas treliças.	57
Figura 4.20	Planta tipo (esquemática do pavimento térreo) do Edifício da COPEVE.	59
Figura 4.21	Vistas do Edifício da COPEVE: (a) vista aérea (Fonte: http://www.google.com.br); (b) vista externa.	60
Figura 4.22	Imagens da construção do Edifício da COPEVE: (a) vista externa; (b) vista interna.	60

Figura 4.23	Detalhes de execução da cobertura: (a) calços sob a treliça metálica; (b) vazamento na ligação de um coletor horizontal de águas pluviais.	62
Figura 4.24	Sistema de desvinculação entre a estrutura e o fechamento.	63
Figura 4.25	(a) Fissuração vertical sistemática nas interfaces entre estrutura metálica e fechamento externo; (b) vista interna do canto superior de uma parede do fechamento externo, com destaque para as interfaces.	63
Figura 4.26	Fissuras nas paredes internas do edifício. (a) Fissura na alvenaria do último pavimento; (b) fissura horizontal (destacada) sistemática nos fechamentos internos.	64
Figura 4.27	Fissuras nas paredes externas do edifício. (a) Fissuração sistemática nas proximidades da junta de movimentação horizontal na região de colocação das placas de fibrocimento; (b) descolamento do silicone das juntas de movimentação horizontais.	65
Figura 4.28	Detalhe do revestimento das vigas de aço com placas de fibrocimento.	65
Figura 4.29	Planta tipo (esquemática do pavimento tipo) do Edifício do CCE.	68
Figura 4.30	Vistas do Edifício do CCE: (a) vista aérea (Fonte: http://www.google.com.br); (b) vista externa.	69
Figura 4.31	Fixação dos “brises soleils” das fachadas na etapa de construção.	69
Figura 4.32	Registros de águas de chuva no interior do edifício.	70
Figura 4.33	Novo telhado sobre parte do edifício para evitar a entrada de água através da cobertura.	71
Figura 4.34	Principais zonas de retenção de água nas paredes das fachadas.	71
Figura 4.35	Zonas de corrosão externa e interna próximas às paredes das fachadas.	72
Figura 4.36	Presença de fungos, mofos e corrosão na base de um pilar.	72
Figura 4.37	Deterioração da escada lateral externa do edifício: (a) vista geral da estrutura sem proteção contra intempéries; (b) corrosão de elementos estruturais de aço.	73
Figura 5.1	Conjunto tijolo-argamassa: a) Exemplo de dimensões de um conjunto; b) perspectiva do conjunto tijolo-argamassa em uma unidade isolada e em mais unidades.	82
Figura 5.2	Fluxograma das atividades que compreendem um projeto de alvenaria.	88
Figura 5.3	Planta baixa esquemática do projeto de alvenaria do Edifício do LBE.	90
Figura 5.4	Representação das fiadas de uma parede no projeto de alvenaria	93
Figura 5.5	Elevação e seção transversal de uma parede externa.	94

Figura 5.6	Detalhe de uma junta posicionada no eixo de um pilar da fachada.	96
Figura 5.7	Detalhe da junta de mudança de sentido no encontro de duas paredes de canto.	96
Figura 5.8	Detalhe de instalação do dispositivo de conexão entre a alvenaria e a laje.	97
Figura 5.9	Detalhe dos fios de conexão (dimensões em milímetro).	97
Figura 5.10	Detalhes das gravatas (dimensões em milímetro).	98
Figura 5.11	Distribuição dos dispositivos de conexão ao longo de uma parede.	99
Figura 5.12	Detalhe do arremate superior da parede cortina.	100
Figura 5.13	Imagem eletrônica do Edifício do LBE.	100
Figura 5.14	Planta baixa do pavimento térreo que compõe o projeto de alvenaria do Edifício LCT.	102
Figura 5.15	Detalhe de ligação entre duas paredes de extremidade.	103
Figura 5.16	Juntas entre os perfis U e o revestimento. (a) Posição das juntas e; (b) junta em detalhe	104
Figura 5.17	Detalhe de vinculação entre a alvenaria e um pilar de aço.	105
Figura 5.18	Imagem eletrônica do Edifício das Licenciaturas.	105

Resumo

ARAÚJO, André Luís de, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, agosto de 2010.
Proposta metodológica para o projeto de sistemas de fechamento em alvenaria para edifícios institucionais em estrutura de aço. Orientador: José Luiz Rangel Paes. Co-Orientadores: Gustavo de Souza Veríssimo e Antônio Cléber Gonçalves Tibiriçá.

O desempenho de edifícios quanto à durabilidade está relacionado com a previsibilidade dos projetos executivos em planejar sistemas com vistas à condição de exposição ambiental a qual os mesmos estarão submetidos. O objetivo deste trabalho foi desenvolver uma proposta metodológica para o projeto de sistemas de fechamento em alvenaria para edifícios institucionais com estrutura de aço, que proporcione um bom desempenho quanto à durabilidade da estrutura e do fechamento. Para subsidiar esta proposta metodológica, avaliou-se o desempenho dos sistemas de fechamento de quatro edifícios institucionais construídos no Campus de Viçosa da Universidade Federal de Viçosa por meio da vistoria técnica de suas manifestações patológicas. Buscaram-se edifícios que apresentassem variações no tipo de fechamento, no tipo de ligações alvenaria-estrutura e no tratamento dado às fachadas. Avaliaram-se as informações de projeto destes edifícios e a eficácia dos detalhes arquitetônicos produzidos. Com base nestas informações, determinou-se a qualidade das práticas de projeto e produziu-se uma seqüência de procedimentos para o desenvolvimento de projetos de sistema de fechamento em alvenaria com vistas à prevenção do surgimento de manifestações patológicas. Para fins de teste demonstrou-se, por meio de dois casos de projetos de sistemas de fechamento, a aplicação desta proposta metodológica.

Abstract

ARAÚJO, André Luís de, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, August, 2010. **Methodological proposal for the design of masonry veneer systems in institutional buildings with steel structure.** Advisor: José Luiz Rangel Paes. Co-advisors: Gustavo de Souza Veríssimo and Antônio Cléber Gonçalves Tibiriçá.

The durability performance of multi storey buildings of steel structure is closely associated to the executive project planning in order to provide systems which are exposed to external conditions. The aim of this research was to present a methodological proposal for the design of masonry veneer systems for steel structure of institutional buildings which present high performance regarding durability. In order to execute this proposal, the performance of the veneer system of four institutional buildings at UFV campus was evaluated through building pathologies examination. Buildings which presented variations on the type of connections between masonry and structure, the type of masonry veneer and the type of façades finishes were surveyed. Then, the designed information was confronted with the construction method applied for the masonry veneer details. The confrontation was used to develop sequential procedures to assist the development of a masonry veneer design which aims to prevent pathologies in steel structure. Finally, two building projects were developed using the proposed methodology in a practical design process.

1

Introdução

Nos últimos anos, tem sido notória a aplicação de novas tecnologias na construção civil provenientes do aprimoramento industrial da produção. Em virtude do maior domínio das técnicas, dos processos e dos elementos utilizados, a arte de construir evoluiu no sentido da produção específica, tanto no âmbito dos materiais de construção de utilidade própria, quanto na especialização profissional. Entretanto, é nas interações entre a evolução tecnológica e a sociocultural que as antigas formas de manipulação cedem lugar a recentes metodologias de produção, de maneira que as propostas de inovação incluem consigo uma parcela de experimentação de domínio particular.

Estudos como o de Mascaró (1989) têm considerado a influência mútua entre os sistemas construtivos de um edifício como um fator incisivo no desempenho de toda edificação. A importância de se analisar a função de um determinado elemento dentro de uma cadeia produtiva sistêmica tem sido evidenciada pela discussão em congressos,

em seminários e nas publicações que abordam o produto da atividade da construção como o resultado de um conjunto de ações coordenadas, a fim de produzir sistemas interligados que visam promover a eficiência do ambiente construído.

A visão conjunta dos sistemas que compõem o ambiente construído tem permitido avaliar os vínculos de caráter objetivo, entre os componentes e os subsistemas, e de caráter subjetivo, que tratam da interdependência entre o objeto arquitetônico e seu entorno. Pode-se dizer que a relação do edifício com seu entorno imediato, isto é, a cidade, é um fator de grande influência para a implementação de qualquer concepção arquitetônica.

Do ponto de vista social, a forma como a edificação é assimilada pelo meio em que está inserida constitui-se, de maneira geral, como a percepção de uma determinada sociedade (profissional ou não) acerca de determinada técnica construtiva. Além disso, essa “visão social” identifica e constrói uma opinião sobre o método construtivo a partir do resultado apresentado pelo objeto construído.

Em recentes trabalhos, como o de Silva Neto & Ferreira (2006), têm sido abordado o funcionamento das edificações por meio da avaliação de desempenho do ambiente construído em sua condição de serviço. Por outro lado, a recente publicação da NBR 15575 – Edifícios habitacionais de até cinco pavimentos – Desempenho (ABNT, 2008) contribui efetivamente com o estabelecimento de critérios para a manutenção das condições de qualidade dos ambientes projetados.

Dentro do leque de opções projetuais, nos últimos anos, a construção metálica ganhou espaço nas discussões sobre viabilidade em empreendimentos construtivos no Brasil. De acordo com Bellei (1994), a procura de arquitetos e engenheiros pela construção metálica se dá pelas características geométricas dos elementos de uma construção industrializada, pelas características industriais construtivas, pelas exigências quanto ao prazo de execução, pela flexibilidade do espaço, pela racionalização de materiais e mão-de-obra, pelo custo final e/ou pela *reciclabilidade*.

Em se tratando de edifícios de andares múltiplos, pode-se considerar que a estrutura de aço no Brasil é uma tecnologia construtiva ainda recente. O grau de dificuldade da fabricação e montagem destas estruturas está intimamente relacionado à solução arquitetônica, que racionaliza sua cadeia produtiva. Tanto nas etapas de

planejamento e projeto, quanto nas etapas de fabricação e montagem, a construção metálica exige uma avaliação meticulosa (DIAS, 1993).

A produção siderúrgica de grande porte no Brasil se iniciou com a fundação da Usina Presidente Vargas, da CSN – Companhia Siderúrgica Nacional, em Volta Redonda, no ano de 1946. Em 1953, estimulada pela proposta da USX (*United States Steel*), fabricante e fornecedor norte-americano de estruturas de aço, criou-se a FEM (Fábrica de Estruturas Metálicas) e consolidou-se a consciência da necessidade da tecnologia brasileira da construção metálica. Segundo Dias (1997), os edifícios de andares múltiplos estruturados por perfis de aço tiveram suas primeiras experiências no Brasil na década de 50, sendo inaugurada a primeira obra composta por perfis laminados no ano de 1957 – o edifício “Garagem América”, na cidade de São Paulo – composto por pavimentos de garagem.

Atualmente, o Brasil se encontra entre os dez maiores produtores de aço bruto do mundo, além de possuir reservas de minério de ferro de excelente qualidade. O consumo de perfis estruturais ainda é reduzido se comparado a outros países que tem produção de mesma ordem. Entretanto, nos últimos dez anos, a construção civil se afirmou como prioridade para a indústria siderúrgica brasileira, responsável por cerca de 30% do consumo de produtos siderúrgicos no ano de 2007 (CBCA, 2008).

Dentro desta perspectiva, tem sido freqüente a necessidade de formação profissional qualificada, tanto no meio técnico, quanto em meio acadêmico. Por este fato, algumas instituições de ensino superior brasileiras têm implementado nas grades curriculares ações para o ensino específico da construção metálica.

Em relação ao exercício de projeto de edifícios em aço, espera-se que o treinamento profissional abranja não só o dimensionamento de elementos estruturais, como também os sistemas de fechamento e suas interfaces com a estrutura. O grau de presciência desejado deve permitir uma correspondência correta entre todos os projetos, de forma ordenada e compatibilizada (MACIEL; MELHADO, 1995).

No projeto de uma obra em que se pretende planejar sistemas que apresentem bom desempenho quanto à durabilidade, a previsão da condição de exposição na qual estará submetido o ambiente construído se torna necessária e fundamental. Em dois sistemas contíguos, como vedação e estrutura, por exemplo, para se garantir a

durabilidade do conjunto deve-se assegurar a estanqueidade, a possibilidade de dilatação e as amarrações, que perfazem a correta leitura do comportamento dos materiais utilizados (ASSED; ASSED, 1988).

Os termos *manifestação patológica* e *problema patológico* têm sido utilizados a fim de denominar a ocorrência da atuação de mecanismos de degradação nas construções. De acordo com Helene (1992), a forma tipológica na qual se evidenciam estas ocorrências, salvo raras exceções, é sintomática da natureza, origem e circunstância na qual atuam estes mecanismos. Além disso, permitem avaliar sua extensão e conseqüência.

No caso dos edifícios de andares múltiplos em aço, existe a necessidade de qualificar e quantificar as formas de ocorrência das manifestações patológicas, embora se encontrem, com certa freqüência, publicações técnicas com propostas de soluções para os problemas apresentados pelos sistemas estruturais. Em alguns estudos de caso têm sido demonstrado que o adequado detalhamento de projeto executivo representa um fator decisivo para a prevenção da ocorrência de futuros problemas nos edifícios. A multiplicação destes problemas e sua ligação com a gestão de projetos executivos também tem sido assunto de publicações sobre o desempenho de edificações. De acordo com Souza (1998) os critérios de gestão de projetos e de sistemas construtivos têm se apresentado da seguinte forma:

“[...] Não será difícil perceber que estes critérios vieram criar uma verdadeira revolução na arte de construir, posto que implicam colocar, em um mesmo plano de importância, atividades tão diversas como cálculo, detalhamento, estabelecimento dos métodos construtivos, seleção e controle de qualidade dos materiais, ensaios de conformidade e rotinas de manutenção, realçando a figura do gestor do empreendimento, que deve necessariamente compatibilizar estes conjuntos técnicos com a produção necessária para um espaço de tempo e um custo previamente estabelecidos. Desta forma, uma atividade antes relegada a segundo plano, e mesmo desconsiderada por calculistas e engenheiros de obra, como a do detalhamento, tem hoje a mesma importância que um novo *software* para análise estrutural, por exemplo. A razão é simples: ambas as atividades, isoladamente ou em conjunto, podem vir a ser determinantes para o fracasso da construção, entendendo-se como tal uma queda no desempenho da mesma para abaixo dos níveis mínimos de satisfação, ou a redução da sua vida útil estrutural, ou ainda a necessidade de recurso a um gasto extra para garantir o desempenho da obra dentro de níveis satisfatórios.” (SOUZA, 1998).

Em função das diversas evidências, pode-se dizer que o detalhamento de projeto se constitui em uma ferramenta preventiva à manifestação patológica nas estruturas e fechamentos. Quando se visa o desempenho estrutural de um ambiente construído é desejável que a interação entre os sistemas de seu conjunto sejam previstas, a fim de promover a devida proteção da estrutura com vistas a sua durabilidade e, sobretudo, o não comprometimento estrutural (THOMAZ, 2001).

Dentro deste contexto, acredita-se que o estudo de Patologia das Construções é parte integrante da análise do produto e da atividade da construção. Em análises de impacto ambiental ou de ciclo de vida, por exemplo, o processo de utilização dos produtos está inserido dentro de uma avaliação que vai desde a extração de matérias-primas na natureza até o seu descarte. Nos estudos de Melhado & Violani (1992) e Melhado (2005) foram demonstrados que a atuação de mecanismos de degradação acaba por reduzir o tempo de vida de uma edificação, gerando um custo social de sua manutenção.

O presente trabalho trata dos sistemas de fechamento em alvenaria para edifícios de andares múltiplos com estrutura de aço para fins institucionais com vistas à obtenção de soluções construtivas que apresentem bom desempenho quanto à durabilidade.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho é apresentar uma proposta metodológica para o projeto de sistemas de fechamento em alvenaria para edifícios em estrutura de aço com fins institucionais, que proporcionem um bom desempenho quanto à durabilidade da estrutura de aço e do fechamento.

1.1.2 Objetivos Específicos

Visando alcançar o objetivo geral descrito acima, se estabelecem alguns objetivos específicos:

- identificar e sistematizar a ocorrência de manifestações patológicas em alguns edifícios em estrutura de aço com fins institucionais;

- avaliar a relação entre os sistemas de fechamento adotados e o desempenho da estrutura e da edificação quanto à estanqueidade, corrosão e durabilidade;
- pesquisar por meio de bibliografia especializada e discussão com profissionais, algumas soluções de fechamento em alvenaria aplicáveis aos edifícios com estrutura de aço, que apresentem bom desempenho, principalmente com relação à proteção da estrutura;
- desenvolver uma proposta metodológica para o projeto e detalhamento de sistemas de fechamentos em alvenaria;
- desenvolver algumas aplicações desta proposta metodológica.

1.2 JUSTIFICATIVA PARA O DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO

O esforço social brasileiro no sentido da industrialização e racionalização dos processos de construção tem sido sentido em toda sociedade profissional. Nos estudos de viabilidade da construção metálica, os edifícios de andares múltiplos são considerados uma alternativa eficaz para os edifícios institucionais, principalmente, para os casos em que o tempo de construção é um fator de grande importância (BAIÃO, 1998).

A avaliação de desempenho sobre produtos da atividade humana reside principalmente no entendimento de seu comportamento diante daquilo a que se destina. No caso de edifícios, as formas de se obter respostas acerca do comportamento do ambiente construído representam uma contribuição às decisões de projeto dentro de uma gama de critérios que devem ser observados no momento do exercício projetual.

Acerca de sustentabilidade, as pesquisas que enfocam temas relacionados à garantia de desempenho de edificações têm relevância pelo fato de se relacionar diretamente com a vida útil do ambiente construído. Além disso, o desenvolvimento de soluções que visam prevenir a deterioração precoce tem impacto direto na garantia da qualidade da construção.

Em um plano mais específico, a motivação para desenvolvimento do presente trabalho advém da observação de diversas manifestações patológicas em edifícios com estrutura de aço para fins institucionais com pouco tempo de existência e a suposta

correlação direta destes problemas com a estrutura de aço, independentemente de uma avaliação mais aprofundada das causas e das origens dos problemas detectados.

1.3 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

No *Capítulo 2* apresenta-se a fundamentação teórica do trabalho, que abrange uma revisão bibliográfica sobre metodologias de avaliação do desempenho das construções e sistemas de fechamento para construções metálicas.

No *Capítulo 3* apresenta-se a metodologia para avaliação dos edifícios com estrutura de aço selecionados neste trabalho e algumas diretrizes para o desenvolvimento da proposta metodológica para o projeto de sistemas de fechamento em alvenaria de edifícios com estrutura de aço.

O *Capítulo 4* é dedicado a apresentação das manifestações patológicas em quatro edifícios de estrutura de aço com fins institucionais selecionados para este trabalho.

O *Capítulo 5* abrange a proposta metodológica para o projeto de sistemas de fechamento em alvenaria para edifícios institucionais com estrutura de aço e dois exemplos de aplicação em projeto de edifícios da Universidade Federal de Viçosa/Campus Viçosa.

No *Capítulo 6* apresentam-se as conclusões e algumas recomendações para trabalhos futuros.

2

Fundamentação Teórica

Atualmente, uma parte das pesquisas realizadas que envolve de alguma forma a ciência dos materiais têm promovido a reflexão sobre a sua cadeia produtiva. Esta discussão tem grande relevância quando o assunto são os métodos de produção no setor da construção civil. Segundo a *American Society of the Civil Engineers*, o setor da construção civil é o responsável direto pelo consumo de 15 a 50% dos recursos ambientais dependendo do nível de desenvolvimento dos países. No caso do Reino Unido, por exemplo, este consumo representa cerca de seis toneladas/ano por habitante (ASCE, 2009).

No contexto atual, tem-se observado algumas ações no Brasil para se atingir um patamar mínimo de certificação para as construções. Os sistemas de certificação – alguns conhecidos popularmente por selos verdes – têm procurado contemplar edificações que sejam eficientes no uso da energia, o que representa, dentro de seu ciclo

de vida, minimizar o dispêndio de energia para a realização das funções desempenhadas dentro dos ambientes construídos.

O empenho em padronizar e certificar as boas práticas da construção civil vai ao encontro dos conceitos que visam garantir qualidade das edificações. O planejamento produtivo, desde a extração de materiais na natureza até o seu futuro descarte, passa também pela formalização em se construir. As estratégias consideradas eficazes podem contribuir com a garantia da durabilidade das construções. Todo e qualquer estudo que versa sobre os conceitos de boas práticas na construção advindas da própria experiência – positiva ou negativa – contribui com a retro-alimentação do processo de criação de um consenso acerca do que é a prática considerada mais eficiente.

Dentro deste contexto, pode-se dizer que um dos objetivos dos estudos sobre patologia das construções é obter subsídios para buscar o adequado desempenho construtivo, dentro das possibilidades e restrições da própria prática construtiva.

Considera-se, portanto, que a presença de critérios de durabilidade em normas de desempenho se constitua – em um patamar mais avançado – como uma ferramenta para a certificação das construções. Nos mecanismos de certificação ambiental atuais ainda não existem quesitos específicos capazes de graduar as soluções de projeto pela ordem em que garantem a durabilidade do ambiente construído.

2.1 PATOLOGIA DAS CONSTRUÇÕES

O termo “patologia”¹ na engenharia se refere ao estudo das anomalias que propiciam a deterioração dos materiais, abordando desde as origens às conseqüências desta ocorrência, passando pelos métodos de profilaxia e recuperação dos problemas. Segundo Souza (1998), o termo patologia das estruturas, por exemplo, pode ser entendido como: “[...] *campo da Engenharia das Construções que se ocupa do estudo das origens, formas de manifestação, conseqüências e mecanismos de ocorrências das falhas e dos sistemas de degradação das estruturas.*” Portanto, a patologia é um campo de investigação fundamental não somente para diagnósticos, mas, sobretudo, para buscar o melhor desempenho e vida útil dos elementos da construção.

¹ De origem grega (*Pathos* = doença, *Logos* = estudo).

Para Helene (1988), o termo patologia, quando se refere à construção civil, pode ser entendido como a área relativa ao estudo dos sintomas, dos mecanismos, das causas e das origens dos defeitos das construções civis, ou seja, é o estudo das partes que compõem o diagnóstico do problema. Os problemas patológicos – salvo raras exceções – apresentam manifestações a partir das quais é possível deduzir sua natureza, bem como permitem avaliar a extensão e as conseqüências de sua ocorrência. Esses mecanismos só se manifestam após iniciado o processo de execução dos elementos previstos em projeto, embora suas origens possam estar relacionadas a outros fatores que não a execução propriamente dita.

Todo edifício tem determinadas características que os fazem reagir individualmente às condições de exposição a que estão submetidos. De acordo com Lichtenstein (1986), isso é o mesmo que dizer que o conjunto de agentes agressivos que atuam sobre cada edifício interage com este produzindo um leque de fenômenos físicos, químicos e biológicos. Alguns fenômenos que ocorrem no edifício podem provocar uma queda de desempenho, configurando-se, desta forma, o que se entende por *manifestação patológica*.

Deste modo, toda manifestação patológica, estando relacionada com uma queda de desempenho, se manifestará de alguma forma. As formas identificáveis de problemas patológicos, tanto pela utilização de equipamentos quanto pelos sentidos humanos, se relacionam ao conceito de *sintomatologia*. Define-se, portanto, como *sintoma* do problema patológico a manifestação que propicia a queda de desempenho. De maneira conclusiva, se entenderá por sintomatologia o quadro geral de sintomas presentes em determinado estágio do problema.

A análise das manifestações patológicas não se limita aos casos em que o desempenho for insatisfatório, ou em outras palavras, quando existir sintomatologia característica. Mesmo em uma construção que apresente um desempenho satisfatório, não se pode afirmar, categoricamente, que o comportamento dos materiais componentes é considerado adequado. Por exemplo, caso as ligações entre os diversos sistemas contíguos às estruturas não tenham sido tratados de acordo com suas variações físico-mecânicas, é possível caracterizar o edifício em um período do tipo *pré-patogênico*, ou seja, em uma condição em que o aparecimento das manifestações patológicas é latente e inevitável. É o período em que já existem interações entre os mecanismos agressivos do

meio e o edifício, entretanto as manifestações são imperceptíveis, tanto para usuários, quanto para profissionais.

O período chamado de patogênico é caracterizado pelo início das primeiras manifestações perceptíveis, os seja, aqueles primeiros sintomas que irão evoluir de acordo com o tipo de agressão, com as características do edifício e com diversos outros fatores.

De maneira similar a outras áreas da ciência, pode-se afirmar que nos edifícios é sempre desejável que o diagnóstico de qualquer problema de ordem patológico-constructiva seja realizado no momento de sua instalação. Contudo, comumente as manifestações patológicas são identificadas pelos usuários em algum estado mais avançado e – de forma ainda mais comum – só se vai intervir junto àquela manifestação quando esta já promoveu deteriorações maiores.

A prevenção de problemas patológicos ganha ainda mais importância quando se avaliam os custos relacionados aos reparos de situações avançadas de deterioração provenientes da atuação de mecanismos patológicos. De acordo com a *Lei de Sitter*, pode-se afirmar que a correção dos danos advindos da atuação de um mecanismo patológico será mais durável, mais fácil de executar e, consideravelmente, mais econômica quanto mais cedo for executada (HELENE, 1992).

A evolução da viabilidade das intervenções em mecanismos de degradação pode ser dividida em quatro períodos: projeto, execução propriamente dita, manutenção preventiva (efetuada antes dos cinco primeiros anos de existência do edifício) e a manutenção corretiva (efetuada após o surgimento da manifestação patológica). Cada um deles corresponde a um custo que segue uma progressão geométrica de razão igual a cinco (Figura 2.1).

A melhor oportunidade para detecção e resolução de um problema patológico é no estado inicial de suas manifestações, onde as alterações de desempenho têm caráter superficial e reversível. Ainda assim, a condição ideal reside nas soluções de projetos consideradas como adequadas, haja vista que este procedimento visa prevenir o surgimento de manifestações patológicas.

Uma concepção projetual presciente da condição de exposição ambiental subentende que a solução adotada esteja de acordo com os requisitos básicos de durabilidade das construções. Além disso, sendo a viabilidade de reparação de ordem inversamente proporcional ao período de atuação dos mecanismos agressivos, quanto maior for o tempo para o diagnóstico, maior serão os fatores limitantes a uma intervenção reparadora.

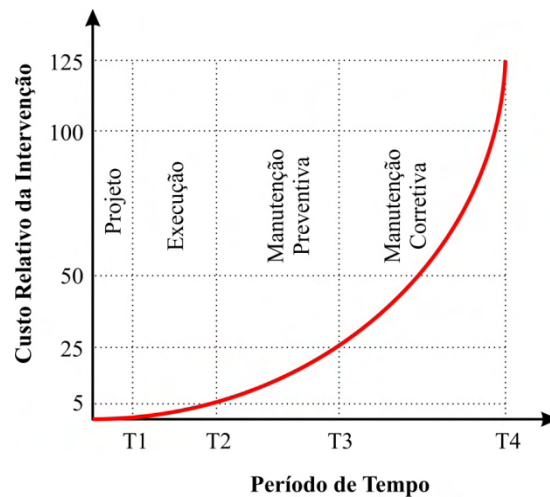


Figura 2.1: Lei de Sitter (SITTER apud HELENE, 1992)

Alguns levantamentos de manifestações patológicas em edifícios de andares múltiplos com estrutura de concreto armado mostram resultados quantitativos na identificação das causas dos problemas. Segundo Cánovas (1988), as origens das manifestações patológicas são cinco: projeto, execução, materiais, utilização e naturais. Considera-se, contudo, que a formação de uma manifestação patológica pode ser resultado de uma ou mais causas, ou seja, um somatório de falhas ao longo da construção do edifício que contribui com a atuação simultânea de vários mecanismos agressivos. Mesmo com grande disparidade no número de casos analisados, este autor demonstra que nas estruturas de concreto armado a origem das manifestações patológicas analisadas se concentra nas etapas de projeto e execução (Tabela 2.1).

De acordo com os resultados mostrados na Tabela 2.1, pode-se observar que o percentual de manifestações patológicas atribuídas ao projeto, no Brasil, era significativamente menor que nos demais países analisados. Este baixo percentual pode ser atribuído à própria falta de exigências de projetos executivos no Brasil na época de realização do trabalho desenvolvido por Cánovas (1988). Portanto, o alto índice de problemas associados à execução indicado na Tabela 2.1 tende a ser consequência da

constatação das manifestações patológicas somente no momento da execução, já que em muitos casos, não existiam projetos executivos disponíveis.

Tabela 2.1 – Origem das manifestações patológicas em alguns países.

PAÍS	Número de Casos	Projeto (%)	Materiais (%)	Execução (%)	Utilização (%)	Naturais (%)
Inglaterra	510	49	11	29	10	1
Alemanha	1570	40	15	29	9	7
Romênia	432	38	23	20	11	8
Bélgica	3000	49	12	24	8	7
Dinamarca	601	37	25	22	9	7
Iugoslávia	117	34	22	24	12	8
França	10000	37	5	51	7	-
Espanha	586	41	13	31	11	-
Brasil	527	18	7	52	13	-

Fonte: Adaptado de CÂNOVAS, 1988.

Desde a época do estudo deste autor já se detectavam deficiências relacionadas aos projetos executivos no Brasil. É fato que não havia projetos executivos suficientes, por isso, o número disfarça problemas de projeto atribuindo-os à execução.

Até o momento, não se tem registro de estudos desenvolvidos no Brasil sobre quantificação de manifestações patológicas nas construções metálicas. Entretanto, há de se ressaltar que, de maneira geral, o projeto de edificações em aço exige uma análise mais criteriosa devido à geometria e ao comportamento estrutural de seus elementos, de modo que existe grande probabilidade de que alguma parcela significativa de manifestações patológicas tenha causas implícitas nas ações projetuais, não sendo quantificadas no presente trabalho.

2.2 METODOLOGIA DE AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DAS CONSTRUÇÕES

Quando se analisa o desempenho de um produto exposto a uma determinada condição ambiental é importante considerar o equilíbrio dinâmico entre este e seu entorno. No caso específico das construções, a relação entre a atuação de mecanismos agressivos externos e o comportamento do edifício mediante esta atuação, resulta no desempenho apresentado pela construção em sua condição de utilização.

Cada edifício possui um grau de resistência à ação de cada mecanismo agressivo. Dependendo da intensidade de deterioração, pode-se considerar um grau de imunidade, entretanto, esta pode não ser verificada para intensidades maiores. Por outro

lado, algumas características relacionadas com a forma ou com os sistemas de ligação do edifício podem favorecer a ação de um determinado mecanismo agressivo. É possível dizer que estas características podem corresponder a uma predisposição da construção (ou de uma de suas partes) para apresentar determinada manifestação patológica.

De acordo com Lichtenstein (1986), após a identificação e delimitação do problema, necessita-se planejar uma vistoria. Esta é considerada como uma ação prática de levantamento de informações *in loco* para fins de diagnóstico do problema patológico. Em uma vistoria pode haver a necessidade de utilização de instrumentos e ferramentas, contudo, em todas as vistorias, é essencial a utilização dos cinco sentidos humanos. A utilização dos instrumentos nada mais é do que a possibilidade de um prolongamento da capacidade humana em uma vistoria, uma vez que permite precisar, com maior clareza, uma condição já observada.

Conforme se mostra no esquema da Figura 2.2, o levantamento de subsídios para diagnóstico segue uma seqüência de identificação e exclusão de hipóteses com o intuito de compreender do problema. Além da vistoria, têm-se as etapas de anamnese, de exames complementares e de pesquisa, sendo que a comprovação das causas das manifestações dispensa a continuidade da investigação de hipóteses em etapas posteriores.

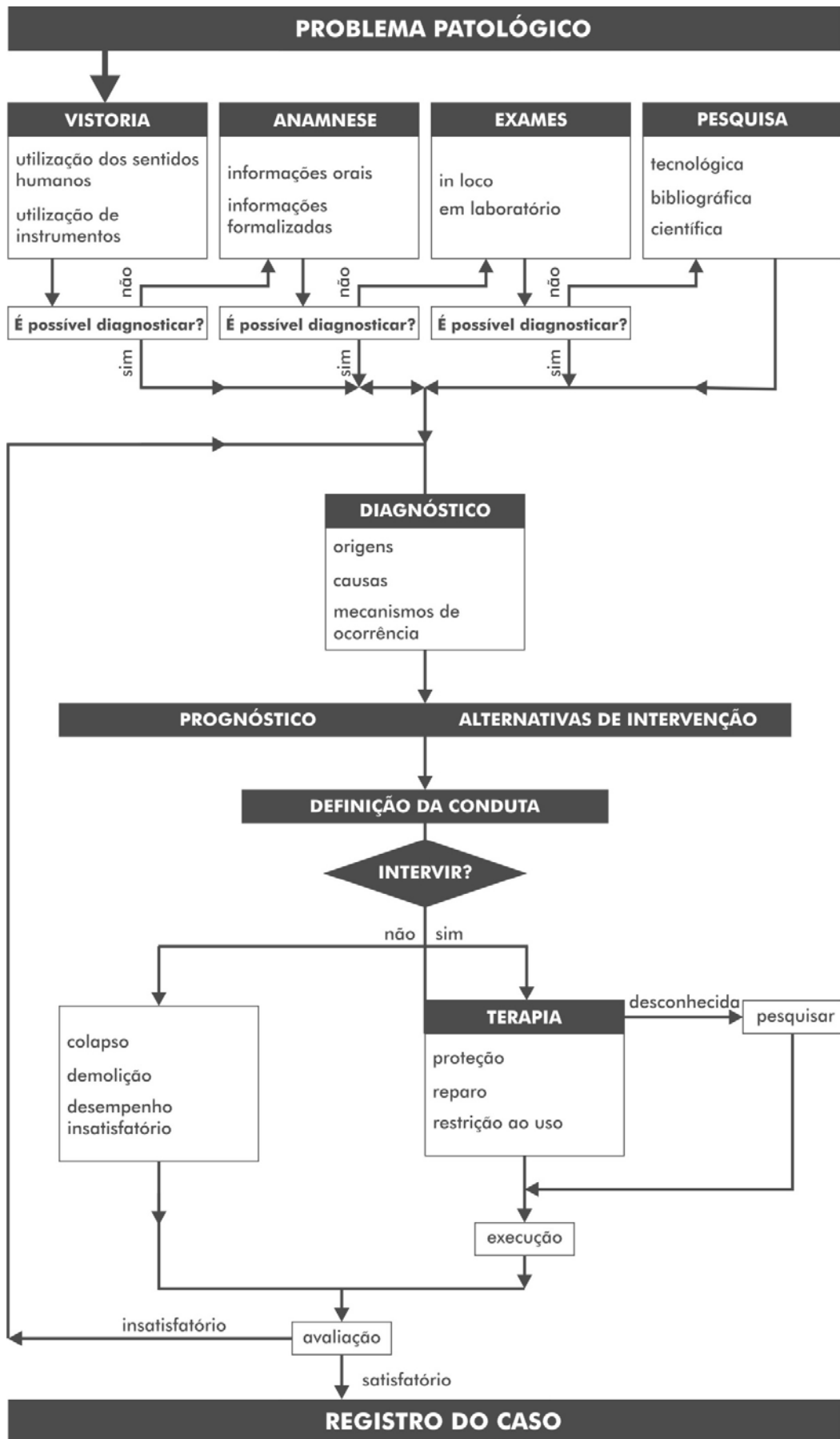


Figura 2.2: Fluxograma de tratamento das manifestações patológicas. (Adaptado de LICHTENSTEIN (1986).

De acordo com Lichtenstein (1986), identificam-se cinco formas nas quais os mecanismos agressivos se propagam, denominadas *agentes patológicos*, os quais podem ser mecânicos, eletro-magnéticos, térmicos, químicos e biológicos (Quadro 2.1). A atuação destes agentes pode se dar, tanto no interior, quanto no exterior de uma edificação. É possível perceber que a atuação de alguns destes mecanismos agressivos é de mais fácil previsibilidade em projeto, enquanto outros têm maior relação com a manutenção preventiva feita pelo usuário.

Quadro 2.1 – Agentes de deterioração dos edifícios.

AGENTES	INTERIOR À EDIFICAÇÃO		INTERIOR À EDIFICAÇÃO		Consequência da Ocupação
	Atmosfera	Solo	Impostos pela Ocupação		
Mecânicos	Gravidade	Cargas de neve, de água, de chuva	Pressão do solo, de água	Sobrecarga de utilização	Cargas permanentes
	Forças de deformações impostas	Pressão de gelo, dilatação térmica e higroscópica	Escorregamento, recalque	Esforços de manobra	Retrações, fluência, forças e deformações impostas
	Energia cinética	Vento, energia, choques exteriores	–	Choques interiores, abrasão	Impactos de corpo mole
	Vibrações de ruídos	Ruídos exteriores	Sismos, vibrações exteriores	Ruídos interiores, vibrações interiores	Ruídos e vibrações da edificação
Eletro-Magnéticos	Radiação	Radiação solar	–	Lâmpadas, radiação nuclear	Painel radiante
	Eletricidade	Raios	Correntes parasitárias	–	Correntes de distribuição
	Magnetismo	–	–	Campos magnéticos	Campos magnéticos
Térmicos		Reaquecimento, congelamento e choques térmicos	Reaquecimento, congelamento	Calor emitido, cigarro	Aquecimento, fogo
Químicos	Água e solventes	Umidade do ar, condensação, precipitação	Água de superfície, água subterrânea	Ações de lavagem com água, condensações, detergentes, álcool	Águas de distribuição, águas servidas, infiltrações
	Oxidantes	Oxigênio, ozônio, óxidos de nitrogênio	–	Hipoclorito de sódio, água oxigenada	Potenciais eletroquímicos positivos
	Redutores	–	Sulfetos	Agentes combustíveis, amônia	Agentes combustíveis, potenciais eletroquímicos negativos
	Ácidos	Ácido carbônico, excremento de pássaros, ácido sulfúrico	Ácido carbônico, ácidos húmicos	Vinagre, ácido cítrico, ácido carbônico	Ácido sulfúrico, ácido carbônico
	Bases	–	Cales	Soda cáustica, hidróxido de potássio, hidróxido de amônio	Soda cáustica, cimentos
	Sais	Névoa salina	Nitratos, fosfatos, cloretos, sulfatos	Cloreto de sódio	Cloreto de cálcio, sulfatos, gesso
	Matérias inertes	Poeira	Calcário, sílica	Gorduras, óleos, tinta, poeira	Gorduras, óleos, poeira, sujeira
Biológicos	Vegetais	Bactérias, grãos	Bactérias, fungos, cogumelos, raízes, folhas e caules de plantas	Bactérias, plantas domésticas	–
	Animais	Insetos, pássaros	Roedores, vermes	Animais domésticos	–

Fonte: Adaptado de LICHTENSTEIN (1986).

O objetivo das vistorias é verificar a existência da manifestação patológica e identificar a forma de atuação do mecanismo patológico, a fim de fornecer subsídios à intervenção reparadora nos casos em que esta é necessária. Na medida em que cada edifício tem suas características complexas e individuais e, em geral, estão sujeitos a atuação não de um, mas de um conjunto de agentes agressivos, as vistorias têm aspecto específico, de modo que os procedimentos não são de todo padronizados.

A partir de uma vistoria também é possível opinar sobre o risco identificado. Alguns autores sugerem uma classificação sobre a gravidade de risco composta por uma parcela de critérios objetivos, representada pela comparação entre os dados levantados, e uma parcela de critérios subjetivos, representada pelo sentimento pessoal do examinador diante do problema. De um modo geral, consideram-se três graus de evolução do problema e sua relação com a condição de desempenho desejado:

- Estável: para os casos em que as manifestações patológicas não representam risco iminente à estrutura predial e com poucos registros de avanço ao longo do tempo de estudo. Sua reparação requer pequenas intervenções na estrutura geral do edifício.
- Avançada: para os casos em que as manifestações patológicas não representam risco iminente à estrutura predial, contudo apresentam registros de avanço considerável ao longo do tempo de estudo. As intervenções de reforma capazes de sanar o problema trariam maiores transtornos à estrutura geral do edifício, muitas vezes com a adição de novos elementos estruturais.
- Comprometedora: para os casos em que as manifestações patológicas representam risco à estrutura predial em caso de não intervenção. Representa um estágio mais avançado das manifestações do tipo *avançada*, onde se requer grandes reformas com a substituição e adição de novos elementos estruturais, o que eleva o custo da intervenção em níveis superiores a 30% do valor do edifício. Além de pouca viabilidade, nestes casos se faz necessária a evacuação do edifício durante o período da intervenção.

Quando se pretende identificar a relação das decisões tomadas no projeto com o aparecimento de uma manifestação patológica, é importante que as vistorias possibilitem a investigação pontual do problema com vistas à sua influência no comportamento global dos sistemas do edifício. Dessa maneira, a análise de um problema que ocorre em uma parte do edifício deve ser encarada como um artifício analítico, para que se isole um determinado elemento sem perder de vista sua interação com o restante do sistema predial.

Juntamente com esta investigação, a caracterização dos materiais constituintes dos sistemas do edifício se torna fundamental para o entendimento da atuação de um mecanismo agressivo. O comportamento desses materiais e as formas de ligação entre os sistemas permitem a associação das informações de modo a vincular “formas de utilização” e “tipologia construtiva adotada” (MESEGUER, 1991).

No caso da análise de manifestações patológicas em sistemas de fechamento, considera-se importante avaliar três aspectos básicos:

- a pertinência de utilização do material de acordo com a região na qual o edifício está implantado, haja vista que os efeitos regionais específicos, como a elevada umidade relativa do ar ou a brisa marítima, podem interferir na durabilidade de um material de acordo com a sua susceptibilidade à estes efeitos;
- a tipologia dos fechamentos, isto é, os elementos de sua composição, a ligação entre estes elementos e a existência de revestimentos;
- o tipo de ligação do sistema de fechamento com o sistema estrutural.

Dada a evolução do problema, existem informações que são importantes para se constituir um registro histórico do edifício, ou seja, o quadro geral de seu desempenho ao longo do tempo. Basicamente, as informações que compõem este registro histórico se dão por meio do contato com pessoas envolvidas com a construção (profissionais ou usuários) e com a análise de documentos formalizados (projetos executivos, cadernos de encargos, etc.).

Com relação às informações coletadas junto a pessoas, tanto do corpo técnico, quanto dos usuários, existe a necessidade de sistematização de entrevistas a fim de se extrair as informações desejadas. Como não se pretende a tabulação dos dados a partir

de questionários, existem variações das perguntas. Raygaerts apud Lichtenstein (1986) propõe as seguintes indagações de modo a se obter informações importantes sobre o histórico dos edifícios:

- Quando foram constatados os sintomas pela primeira vez e de que forma?
- Eles já foram objeto de intervenções? Se sim, quais e com quais resultados?
- No decorrer da construção foram feitas modificações no projeto, na execução ou na escolha de materiais?
- Foram tomadas as medidas necessárias quanto à manutenção e limpeza?
- Quando o problema foi notado pela primeira vez e quando se resolveu intervir?
- Existe algum fato que possa estar ligado ao aparecimento do problema?
- Ocorrem episódios de exacerbação ou remissão dos sintomas?
- Como eram as condições climáticas quando o problema foi notado e quando se percebeu a necessidade de intervir?

De maneira geral, a avaliação destas informações orais é bastante problemática. Raramente, as informações reportadas coincidem com o surgimento do problema, visto que, em grande parte dos casos, a manifestação patológica só é notada em estágios mais avançados do problema. Por outro lado, as informações orais podem ser omitidas ou distorcidas por diversos interesses. Embora não se possa estabelecer parâmetros quantitativos precisos a partir destas informações, é importante coletá-las e analisá-las dentro do contexto de cada construção avaliada.

As informações obtidas por meio de documentos formalizados são mais precisas e constituem uma importante ferramenta no trabalho de diagnóstico. Dentre os documentos formalizados, o conteúdo principal está no projeto executivo. Dentro do conjunto de documentos que compõem o projeto executivo têm-se as seguintes fontes informativas:

- plantas, cortes, fachadas, perspectivas e maquetes;
- detalhamentos e especificações de materiais;
- cadernos de encargos;
- memoriais descritivos;
- manuais de execução.

Alguns documentos formalizados dizem respeito à etapa execução, como é o caso dos diários de obras, dos ensaios para recebimento de materiais, das notas fiscais de materiais e componentes, dos contratos para execução de serviços e do cronograma físico-financeiro previsto e executado.

A maioria das avaliações que se faz de documentos formalizados serve para verificar as discordâncias (quando estas existem) entre o projeto *como projetado* e o projeto *como construído*. Frequentemente, durante a execução ocorrem alterações do que foi projetado para o que foi construído e essas modificações nem sempre são registradas em documentos.

Depois do levantamento dos subsídios para o entendimento das manifestações patológicas, é fundamental que se faça a investigação em bibliografia técnica especializada, por meio de estudos de caso de problemas semelhantes, a fim de compor uma base de dados ainda maior para a interpretação do diagnóstico. O objetivo final é a determinação do problema (diagnóstico e prognóstico) e a construção de um quadro sintomatológico que servirá de base para o tratamento.

Este processo investigativo proporciona uma redução da incerteza inicial pelo progressivo levantamento de dados. Esta progressiva redução se dá juntamente com a redução de possíveis modelos (ou hipóteses), até que se chegue a uma correlação satisfatória entre o problema observado e o diagnóstico do mesmo. O levantamento dos subsídios é considerado suficiente quando se conclui que a investigação adicional tem pouca probabilidade de alterar o diagnóstico.

Mesmo que a conduta de diagnóstico seja precisa e adequada e que o examinador tenha grande perícia e experiência, é fato que ainda possa haver falhas em muitos casos, como por exemplo, quando as manifestações patológicas apresentem sintomas semelhantes, dificultando o diagnóstico. Em síntese, a literatura científica recomenda que após todo o levantamento dos subsídios, sejam observados os quatro seguintes procedimentos em seqüência:

- reunir todas as informações pertinentes ao caso em questão;
- separar as características por grupos;

- descrever os sintomas por meio de esquemas e diagramas, de maneira a mapear a ocorrência patológica;
- comparar as informações contidas nestes diagramas com a informação obtida na literatura científica.

Em síntese, pode-se dizer que juntamente aos procedimentos propostos pela literatura seguem-se as investigações individualizadas. Na formulação de uma conduta para o diagnóstico deve ser observada a aplicação dos procedimentos sob a ótica da especificidade de cada caso. Esta pode ser considerada a estratégia de maior relevância para o correto diagnóstico e posterior tratamento da manifestação patológica.

2.3 MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS NA CONSTRUÇÃO METÁLICA

Grande parte dos diagnósticos de casos de manifestações patológicas na construção metálica está relacionada com o fenômeno de entrada e retenção de água nos elementos metálicos das estruturas. Como consequência da atuação contínua destes fenômenos ao longo do tempo, verifica-se uma diminuição das seções transversais dos elementos estruturais devido ao mecanismo de corrosão.

Todos os metais e ligas comumente utilizados em estruturas estão susceptíveis à corrosão. Este processo eletroquímico depende basicamente de três fatores: a água, o oxigênio e a corrente elétrica, pela qual circulam os elétrons. A intensidade e a velocidade de atuação deste processo é função da composição química da liga e das condições de exposição ambiental a que estarão submetidos os elementos estruturais.

Sob o ponto de vista químico, os processos de corrosão são classificados através da aparência do metal corroído. O processo corrosivo de incidência mais comum nos aços-carbono são os de meios aquosos, cerca de 90% dos casos, os quais podem ser do tipo corrosão atmosférica, ou seja, aquelas advindas da influência da umidade relativa, e a corrosão uniforme, onde a perda de unidade de superfície se dá por um processo contínuo de oxidação do metal pela presença de água. Existem outros processos de oxidação de menor ocorrência, entretanto, não de menor importância.

No mercado de estruturas de aço para edifícios estão disponíveis aços especiais com características que aumentam a resistência à corrosão. Os aços conhecidos como patináveis apresentam certas propriedades que permitem desenvolver em sua superfície

uma película de óxidos aderentes e protetores, chamados de pátina. Este mecanismo diminui a velocidade de ataque de agentes corrosivos presentes no meio ambiente, principalmente durante os primeiros anos de exposição ao ar, onde a perda de massa metálica por unidade de superfície é bastante reduzida. No entanto, os aços patináveis apresentam um custo um pouco mais elevado, do que os aços estruturais usuais.

De qualquer modo, a geometria estrutural e a forma como os elementos vão estar expostos aos mecanismos agressivos são os principais fatores que determinam a durabilidade de uma estrutura. De acordo com Panonni (2004), algumas regras devem ser seguidas para o detalhamento das estruturas a fim de prevenir e controlar a corrosão:

- todas as precauções de controle da corrosão incluídas no projeto devem ser “inspecionáveis”, “repetíveis” e “reparáveis” para uma dada localização e ambiente;
- o projeto deve contemplar a redução do custo e a facilidade de manutenção, incluindo o desmonte e o remonte dos componentes estruturais;
- os componentes que, por alguma razão, estão sujeitos à corrosão acelerada não devem ser posicionados em pontos inacessíveis.

Em relação à geometria estrutural, o controle da corrosão pode ser obtido de modo eficiente. Configurações geométricas que propiciem o acúmulo de água e de materiais estranhos devem ser evitadas. Panonni (2009) descreve alguns princípios para projetos de estrutura de aço com vistas à prevenção das manifestações patológicas:

- a geometria de um componente não deve ser analisada de forma isolada do restante da estrutura (ou do sistema). Sua interdependência com outros sistemas da edificação deve ser considerada;
- a complexidade excessiva deve ser evitada; em muitos casos, esta impede a manutenção da estrutura;
- as decisões de projeto devem ser tomadas tão uniformes quanto possível;
- não se deve permitir, desnecessariamente, condições de grandes variações de seções e de gradientes de temperatura;
- sempre que possível, a estrutura deve estar disposta onde não possa ser afetada adversamente por condições climáticas locais, ou por agentes poluentes como gases, líquidos e sólidos.

Além dos fatores internos às estruturas prediais, o projeto deve considerar a existência de outros atributos adversos como o gotejamento de líquidos condensados e a emissão de gases oriundos de combustão, de vapores, de efeitos químicos e térmicos.

2.4 SISTEMAS DE FECHAMENTO PARA CONSTRUÇÃO METÁLICA

A alvenaria de blocos ou tijolos cerâmicos tem sido a alternativa de fechamento utilizada tradicionalmente nas construções em concreto armado brasileiras. Grande parte das obras utiliza esta técnica que, reconhecidamente, demanda pouco treinamento de mão-de-obra.

Ao contrário dessa realidade, nos Estados Unidos, na Europa e no Canadá, o uso de painéis pré-fabricados é amplamente difundido. Além de se tratar de uma alternativa de fechamento de grande velocidade de execução, a utilização destes painéis vai ao encontro da proposta de racionalização da construção, que é uma tendência nos países desenvolvidos.

De acordo com Silva & Silva (2003), para os edifícios com estrutura de aço, o emprego da alvenaria tradicional ainda não é a solução mais apropriada, principalmente na situação em que a velocidade da execução dos fechamentos verticais é um fator crítico para a viabilidade da construção do edifício. O sistema de fechamento vertical é apontado pelos construtores como um dos principais gargalos tecnológicos do setor da construção. Desta forma, os sistemas de fechamento que utilizam painéis pré-fabricados têm sido cada vez mais utilizados.

2.4.1 Sistemas de Fechamento Vertical Pré-Fabricados

O interesse por alternativas de fechamento vertical diferente das alvenarias convencionais aumentou, acentuadamente, a partir dos processos de certificação de qualidade, como os propostos pela série de normas ISO 9000. Por outro lado, a busca pela redução de perdas é comum no processo de racionalização dos sistemas de uma edificação.

Dentre os fechamentos verticais mais utilizados na construção metálica destacam-se os painéis de concreto, os painéis de GRC (*Glassfibre Reinforced Cement*), os painéis metálicos e os painéis de gesso acartonado.

Os painéis de concreto podem ser empregados como elemento estrutural ou como elemento de fechamento. Os componentes pré-fabricados podem ser planos ou podem receber nervuras a fim de aumentar suas dimensões sem o acréscimo de espessura ou armadura. No Quadro 2.2 são mostradas algumas possibilidades e limitações deste fechamento.

Quadro 2.2 – Possibilidades e limitações dos painéis de concreto pré-fabricado.

POSSIBILIDADES	LIMITAÇÕES
Padronização dos painéis	Peso elevado, o que dificulta o manuseio
Variedade de dimensões e acabamentos	Ausência de normalização
Necessidade de poucas intervenções de manutenção	Alto custo quando utilizados vários tipos de painéis devido ao custo de formas extras
Incorporação de revestimentos na própria fábrica	Pouco resistentes ao aparecimento de manchas

Fonte: Adaptado de SILVA; SILVA (2003).

Os painéis de GRC são painéis cimentícios reforçados com fibras de vidro. As fibras atuam de modo semelhante às barras de aço no concreto armado, aumentando a capacidade de absorver deformações, a resistência à tração, à flexão e impactos. No Quadro 2.3 são mostradas algumas possibilidades e limitações deste fechamento.

Quadro 2.3 – Possibilidades e limitações dos painéis de GRC.

POSSIBILIDADES	LIMITAÇÕES
Versatilidade de geometria, de dimensões, de cores e de texturas superficiais	Sensibilidade das fibras aos meios alcalinos
Pequena espessura e leveza dos painéis possibilitando o ganho de área e o alívio de carga	Suscetibilidade ao empenamento devido à diferença de temperatura e de umidade entre as faces
Fibras não susceptíveis à corrosão	Sensibilidade às deformações devido à perda de água
Fácil adaptação a incorporação de instalações e camadas de isolamento	Vulnerabilidade estética da superfície a pequenas irregularidades

Fonte: Adaptado de SILVA; SILVA (2003).

Os painéis metálicos são comumente utilizados em edifícios industriais e comerciais principalmente na forma de painel tipo sanduíche, isto é, lâminas metálicas (normalmente aço ou alumínio), com camadas de isolamento térmico e revestimento interno. As superfícies metálicas são protegidas por uma cobertura de PVC ou pinturas a base de fluorpolímeros. No Quadro 2.4 são mostradas algumas possibilidades e limitações deste fechamento.

Quadro 2.4 – Possibilidades e limitações dos painéis metálicos.

POSSIBILIDADES	LIMITAÇÕES
Versatilidade de geometria, de dimensões e de cores	Suscetibilidade à variações térmicas
Pequena espessura e leveza dos painéis possibilitando o ganho de área e o alívio de carga	Necessidade de tratamento minucioso das juntas devido à pressão de vento
Fixação rápida e eficaz	Necessidade de tratamento das superfícies externas
Podem ser utilizados como fachadas do tipo <i>parede-cortina</i>	Eventualmente, existe a necessidade de utilização de cores claras na superfície para reduzir o aquecimento devido à radiação solar

Fonte: Adaptado de SILVA; SILVA (2003).

Os painéis de gesso acartonado são divisórias compostas de chapas leves em gesso montado sobre cartão e estruturadas por montantes metálicos ou por montantes de madeira. São materiais que não se comportam adequadamente em meios submetidos à ação de umidade. No Quadro 2.5 são mostradas algumas possibilidades e limitações deste fechamento.

Quadro 2.5 – Possibilidades e limitações dos painéis de gesso acartonado.

POSSIBILIDADES	LIMITAÇÕES
Facilidade de execução e acesso simplificado para manutenção	Ausência de alguns acessórios para instalações de água
Pequena espessura e leveza dos painéis possibilitando o ganho de área e o alívio de carga	Montagem condicionada ao término da execução dos serviços úmidos
Possibilidade de superfícies curvas mediante umedecimento para conformação do cartão	Não é recomendado o uso de revestimentos cerâmicos sobre os painéis
Permitem a aplicação direta do acabamento	Sensibilidade à umidade

Adaptado de SILVA; SILVA (2003).

2.4.2 Sistemas de Fechamento Vertical em Alvenaria

De acordo com Milman (1971), a principal função de uma alvenaria de vedação é estabelecer a separação entre ambientes e, principalmente, separar o ambiente externo do interno, controlando uma série de ações e movimentos quase sempre heterogêneos. Pode-se dizer que algumas das propriedades das alvenarias de vedação são:

- resistência à umidade e aos movimentos térmicos;
- resistência à pressão de vento;

- isolamento térmico e acústico;
- resistência à infiltrações de água pluvial;
- controle da migração de vapor d'água e regulação da condensação;
- base ou substrato para revestimentos em geral;
- segurança para usuários e ocupantes;
- divisória de ambientes.

Nascimento (2002) utiliza o termo “alvenaria de vedação” para classificar as paredes que funcionam como divisórias e que não representam vínculos estruturais com as estruturas periféricas.

A classificação das alvenarias é distinta. Com relação à utilização e função, pode-se dizer que existem fundamentalmente *alvenarias auto-portantes*, isto é, aquelas destinadas a absorver as ações das lajes e seu peso próprio; e *alvenarias de vedação*, isto é, aquelas destinadas à separação de ambientes interiores e exteriores, sendo denominadas de fechamentos de áreas sob estruturas. Contudo, para que não ocorra vínculo entre estrutura e alvenaria, é necessário que a ligação entre elas permita a desvinculação.

Em relação ao comportamento estrutural devem-se observar os seguintes parâmetros para o projeto de fechamentos em alvenaria:

- deformação estrutural;
- deformação devido à carga permanente;
- deformações futuras;
- variação de umidade e de temperatura na estrutura;
- verificação do módulo de elasticidade real;
- análise global das deformações.

As alvenarias apresentam particularidades de ligações com as estruturas reticuladas (pré-moldadas, aço, concreto armado, etc.). Os tipos de ligação alvenaria-estrutura variam segundo os graus de rigidez ou de flexibilidade das ligações (Figura 2.3).

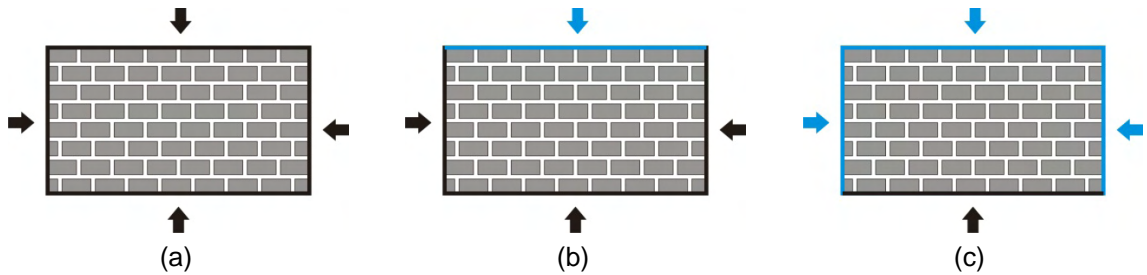


Figura 2.3: Classificação das alvenarias quanto às ligações.
 (a) 4 ligações rígidas; (b) 3 ligações rígidas e uma flexível; (c) 1 ligação rígida e 3 flexíveis
 (Adaptado de NASCIMENTO, 2002).

As alvenarias também podem ser classificadas quanto à função, quanto ao tipo de exposição e quanto ao elemento de vedação. Em relação a estes últimos destacam-se os seguintes tipos de blocos e tijolos comumente utilizados:

- bloco cerâmico vazado – ABNT NBR 15270-1 (2005);
- blocos de concreto – ABNT NBR 6136 (2007);
- blocos de gesso;
- tijolos cerâmicos maciços – ABNT NBR 7170 (1983);
- blocos de concreto celular autoclavado – ABNT NBR 13440 (1995).

a) Sistemas de alvenaria convencional

Dentre os sistemas de fechamento em alvenaria utilizados nos edifícios com estrutura de aço é possível encontrar várias alternativas de ligação das interfaces alvenaria-estrutura. Os fechamentos que permitem algumas movimentações diferenciais são preferencialmente utilizados por estar mais em conformidade com o comportamento dos elementos estruturais. De acordo com Coelho (2003), o termo “alvenaria desvinculada” designa paredes fixadas à estrutura por meio de dispositivos que permitem estas pequenas movimentações diferenciais segundo seu plano. Estas são comumente empregadas em obras comerciais e industriais com grandes vãos (acima de 6 metros).

Em algumas interfaces alvenaria-estrutura utilizam-se duas cantoneiras metálicas paralelas ou um perfil “U” formado a frio, gerando um sistema de encaixe da alvenaria que impede movimentos transversais no plano. Na junção entre a parede e o sistema de fixação executam-se juntas de movimento, incorporadas ao acabamento final. Na Figura 2.4 mostra-se um sistema de alvenaria desvinculada externa/interna com estrutura aparente alinhada pelo eixo do pilar.

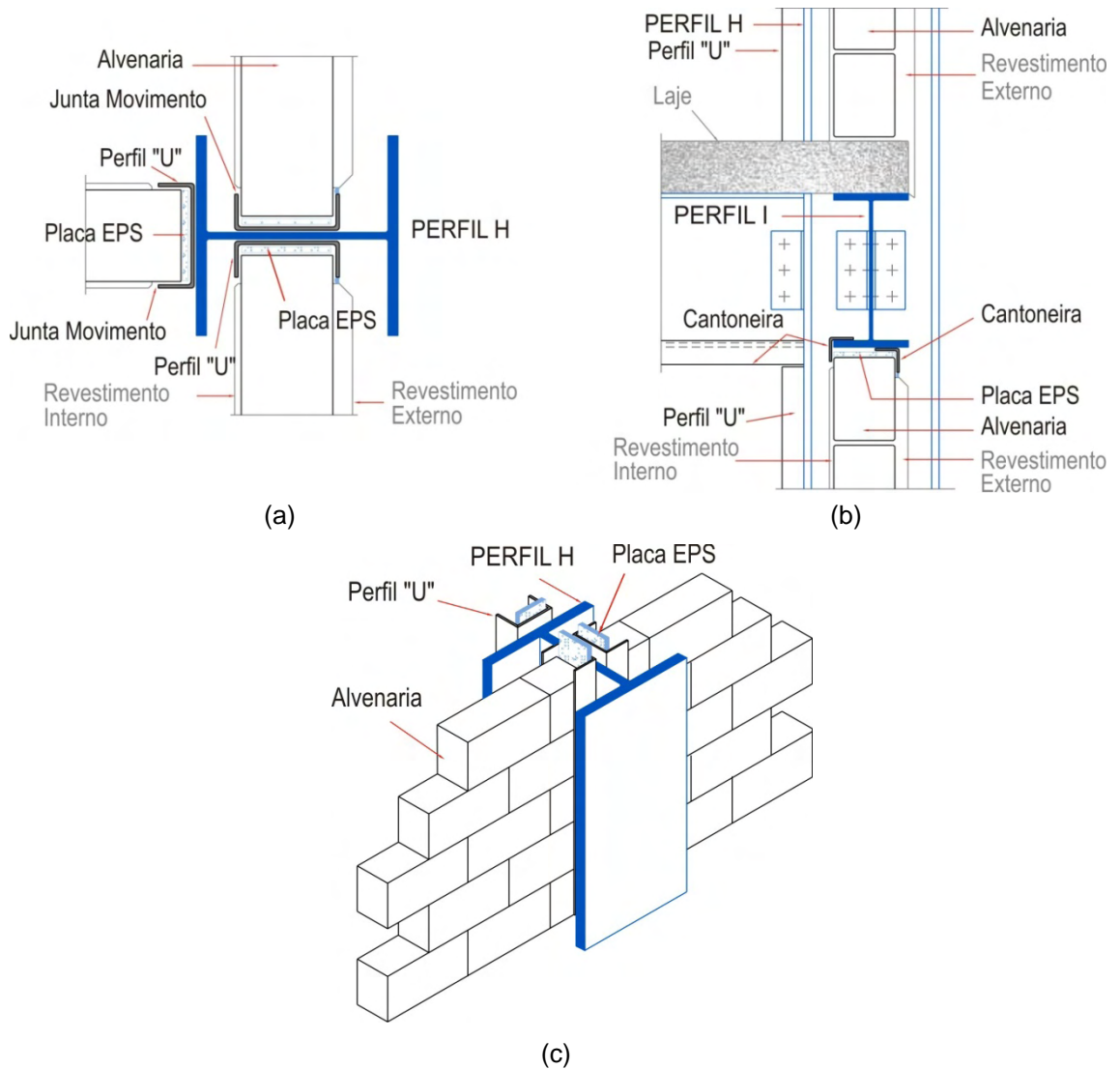


Figura 2.4: Esquema de fechamento em alvenaria no mesmo plano da estrutura. (a) Planta; (b) elevação; (c) perspectiva (Adaptado de COELHO, 2004).

Existe também a possibilidade do fechamento em alvenaria não estar no mesmo plano vertical da estrutura. Nestes casos, normalmente se opta por posicionar o pano de alvenaria externo à estrutura, de maneira que o fechamento proporcione a proteção dos elementos estruturais contra intempéries. Na Figura 2.5 mostra-se um sistema de alvenaria desvinculada externa onde os elementos estruturais não ficam aparentes, ou seja, recebem algum tipo de revestimento.

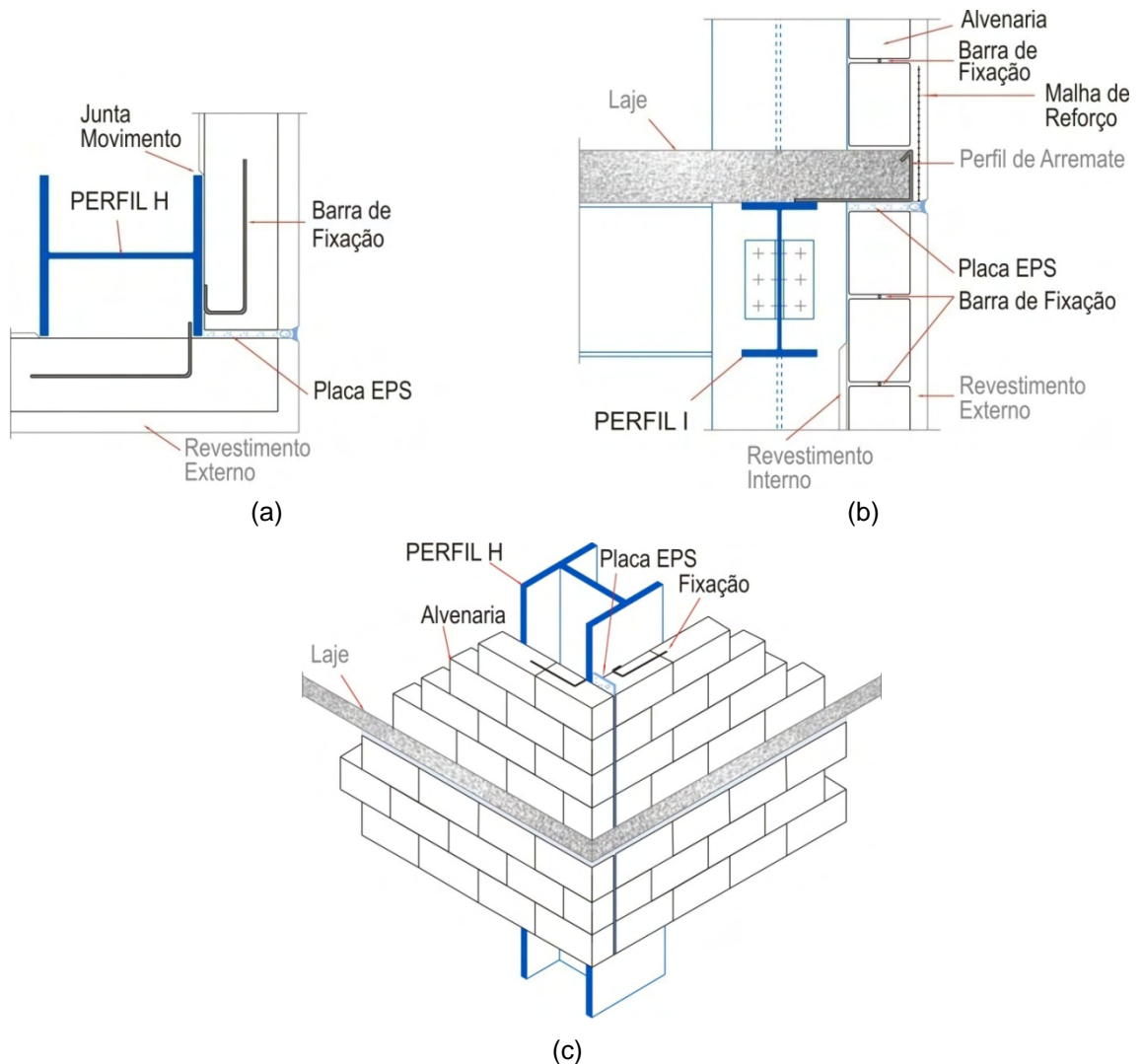


Figura 2.5: Esquema de fechamento em alvenaria externo à estrutura. (a) Planta; (b) elevação; (c) perspectiva (Adaptado de COELHO, 2004).

É parte do processo de dimensionamento e detalhamento considerar as particularidades de cada obra e atender às prescrições normativas vigentes. As vedações, principalmente as externas, devem ser projetadas para resistir aos esforços horizontais oriundos da ação do vento e das ações relevantes.

b) Sistemas de Fechamento Vertical *Masonry-Veneer*

Diferentemente do Brasil, as características dos fechamentos em alvenaria das construções norte americanas e européias têm grande relação com a manutenção de calor interno das edificações, haja vista que as condições climáticas são distintas. Tanto em edifícios residenciais quanto industriais e institucionais, é comum a utilização de mais de uma camada de alvenaria com o intuito de aumentar a inércia térmica da parede. Nos trabalhos de Laska (1993) e Plumridge & Meulenkamp (1993), são

mostradas várias composições de alvenaria de vários estilos arquitetônicos que utilizam estes princípios.

Nos Estados Unidos é comum a existência de escritórios de arquitetura e engenharia especializados em projetos de alvenaria. Existe um senso comum de que estes projetos são fundamentais à garantia de qualidade dos fechamentos. Com a especialização dos projetistas em critérios rígidos de dimensionamento – como para as solicitações provenientes de abalos sísmicos; e de detalhamento – como para proteção das estruturas de aço em situações de incêndio, torna-se essencial a existência dos projetos específicos de alvenaria (BEALL, 1997).

Em trabalhos como o de Matthys (1993), são demonstrados os detalhes de execução dos sistemas de fechamento em alvenaria mais comuns nos Estados Unidos. Dentre os diversos sistemas de alvenaria em uso atualmente destaca-se o sistema *Masonry-Veneer*. Trata-se de um sistema de fechamento em alvenaria aparente, ligada a uma superfície interior denominada “*veneer*” (*pele ou lâmina superficial*²), que pode ser executada com chapas de madeira ou com outro pano de alvenaria. Com base nos diversos sistemas *Masonry-Veneer*, destaca-se três tipos que utilizam como superfície interior os panos de alvenaria em blocos de concreto:

- *Barrier Wall/Stone Veneer Reinforced Concrete Block*;
- *Single Wythe/ Reinforced Concrete Block*;
- *Cavity Wall/Brick Veneer/Reinforced Concrete Block*.

Barrier Wall/Stone Veneer Reinforced Concrete Block é um sistema de fechamento que possui um pano externo de alvenaria em pedra e, internamente, possui um pano de alvenaria em blocos de concreto. Não existem vazios entre as camadas de paredes. O pano interno é estruturado por elementos verticais executados por meio do preenchimento das células dos blocos com micro-concreto. Horizontalmente, o pano interno recebe o travamento por meio de vigas horizontais espaçadas ao longo da alvenaria. Ambos os elementos, horizontais e verticais, têm uma função semelhante à desempenhada pelas cintas e pelos pilaretes, ou seja, controlar a esbeltez do pano de alvenaria.

² Tradução do Autor.

Os dois panos de alvenaria, interno e externo, são ligados por meio de elementos metálicos (comumente perfis formados a frio) inseridos dentro da argamassa de ligação entre os blocos entre as pedras. No projeto destes elementos de ligação se tem a preocupação em permitir a movimentação independente entre os panos de parede, isto é, sua desvinculação.

Na Figura 2.6 mostra-se um esquema desse sistema no qual é possível observar os travamentos horizontais e verticais do pano de alvenaria interna. Neste caso, a ligação entre os dois panos de alvenaria é executada com elementos de aço formados a frio denominados “gravatas” (*ties*³). Estas gravatas são fixadas aos dois panos de alvenaria em suas respectivas camadas de argamassa. É possível perceber que as treliças de suporte da laje mista se apóiam no pano de alvenaria interno. Nas camadas inferiores da parede são utilizadas mantas impermeabilizantes, inclusive no pano de alvenaria interno.

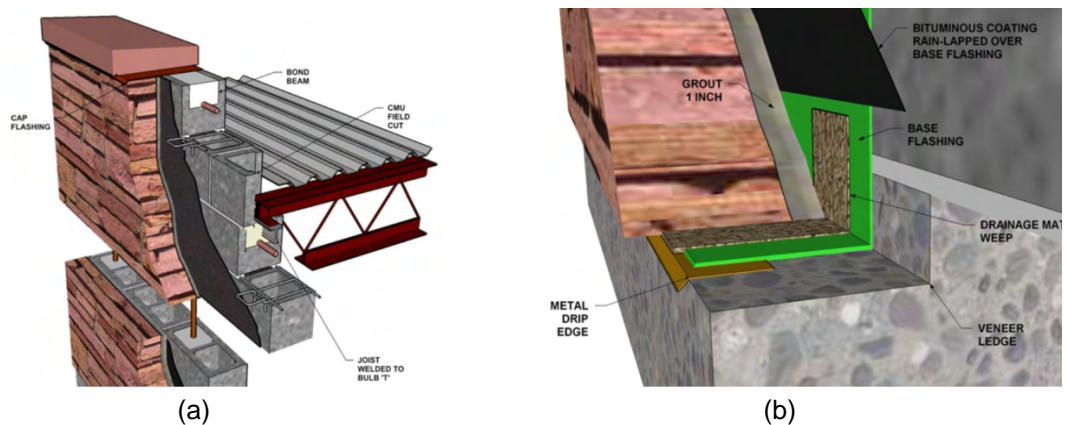


Figura 2.6: Sistema *Barrier Wall/Stone Veneer Reinforced Concrete Block*.

a) Esquema geral; (b) Detalhe do arremate inferior (Fonte: <http://www.masonrysystems.org>).

Single Wythe/ Reinforced Concrete Block é um sistema de parede simples, ou seja, com apenas um pano de alvenaria sendo este executado em blocos de concreto. A característica deste sistema de fechamento é a utilização da parede contínua, isto é, um pano de parede de piso a teto sem ser interrompido por lajes intermediárias. Da mesma forma que no sistema anterior, existem elementos verticais para o controle da esbeltez executados com o preenchimento das células dos blocos de concreto com micro-concreto. Horizontalmente, o pano da alvenaria é estruturado por treliça metálica industrializada ao longo de toda a extensão da parede a cada número definido de fiadas (comumente a cada quatro). Na Figura 2.7 mostra-se um esquema deste sistema em que,

³ Tradução do autor.

assim como no sistema anterior, as treliças de suporte da laje mista se apóiam no pano da alvenaria. Nas camadas inferiores são utilizadas mantas impermeabilizantes.

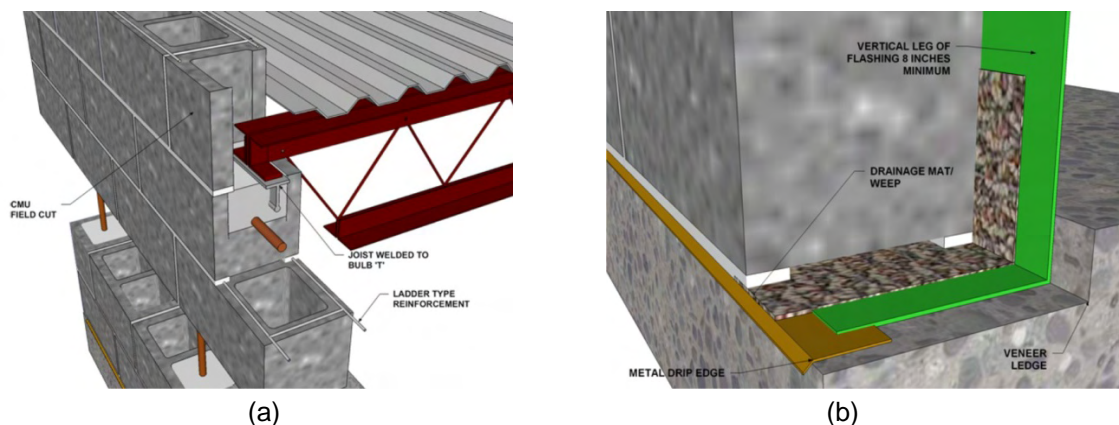


Figura 2.7: Sistema *Single Wythe/ Reinforced Concrete Block*.

(a) Esquema geral; (b) detalhe do arremate inferior (Fonte: <http://www.masonrysystems.org>).

Cavity Wall/Brick Veneer/Reinforced Concrete Block é um sistema onde são utilizados dois panos de alvenaria: um externo em alvenaria de tijolos cerâmicos aparente e o um interno em blocos de concreto. O sistema foi utilizado no projeto do edifício sede da prefeitura da cidade de Wilsonville, no estado do Oregon – EUA, concluído em 2006. Trata-se de um edifício com cerca de 2.800m² de área construída em estrutura de aço e laje mista em concreto com fôrma de aço incorporada tipo *Steel Deck*. É um edifício inspirado nas tradicionais bibliotecas norte-americanas, entretanto procurou-se reproduzir uma leitura contemporânea da arquitetura neoclássica presente em grande parte dos edifícios institucionais deste país.

O desafio de produzir uma arquitetura clássica e solene mesmo utilizando o sistema estrutural de aço orientou a busca por uma opção que “escondesse” a estrutura, isto é, com um pano de alvenaria aparente em que os elementos estruturais estão posicionados internamente. Na Figura 2.8 apresentam-se imagens externas deste edifício com destaque para sua alvenaria.

Nesse edifício foram utilizados tijolos de três furos, aparentes na fachada. O *veneer* foi executado com parede de blocos de concreto preenchidos com *grout*. Entre os dois panos de alvenaria foi instalada uma espuma rígida para o isolamento térmico. A ligação entre as superfícies é feita a partir de gravatas metálicas (*ties*).



Figura 2.8: Vistas externas do Edifício da Prefeitura de Wilsonville, OR – EUA.
a) Vista geral; (b) detalhe do arremate superior (Fonte: <http://www.masonrystems.org>).

Normalmente, a ligação das gravatas nos panos de alvenaria é executada de duas formas. Em uma delas, fixa-se um trilho de aço ao *veneer* de forma a promover um encaixe para ancoragem. Neste encaixe, são fixados elementos das gravatas (*ties*) que permitem que esta deslize sobre o trilho verticalmente e também sejam ajustadas segundo a altura desejada.

Outra forma de ligação das gravatas nos panos de alvenaria é a instalação de um suporte fixo na camada de argamassa do pano de alvenaria interno. A ligação das gravatas com no pano de alvenaria externo também é executada em sua camada de argamassa e os dois elementos se ligam pela inserção da gravata no suporte fixo. Assim é permitida a movimentação limitada do pano de alvenaria externo em dois sentidos conforme mostrado na Figura 2.9.

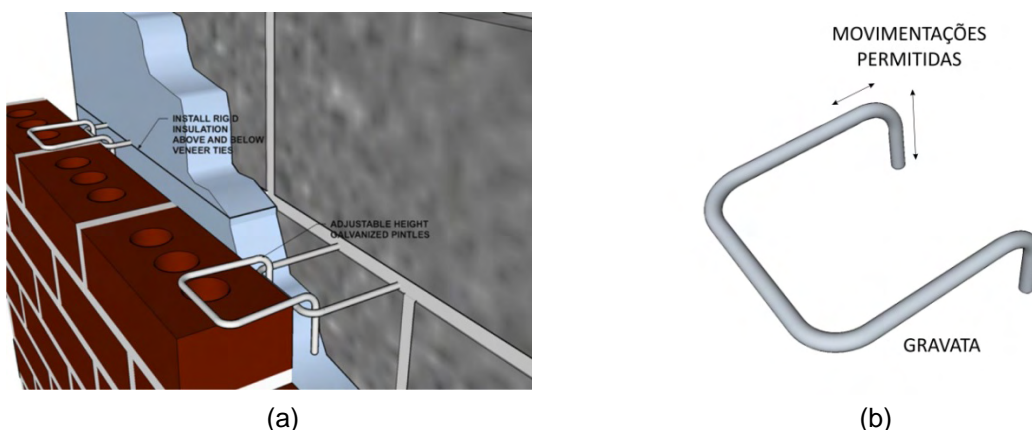


Figura 2.9: Sistema *Cavity Wall/Brick veneer/Reinforced Concrete Block*.
(a) Detalhe de ligação entre alvenarias (Fonte: <http://www.masonrystems.org>);
(b) movimentações permitidas nas gravatas

Nota-se que neste sistema de fechamento forma-se um pano de alvenaria do tipo parede-cortina, isto é, onde a alvenaria não é interrompida pela laje.

3

Metodologia

Tendo em vista o objetivo principal de apresentar uma proposta metodológica para o projeto de sistemas de fechamento em alvenaria para edifícios em estrutura de aço com fins institucionais, neste capítulo apresenta-se a metodologia de desenvolvimento deste trabalho.

Em uma primeira etapa avalia-se a relação entre as manifestações patológicas identificadas em alguns edifícios e a solução de projeto de fechamento adotada nos mesmos. Para isto adotam-se os seguintes procedimentos:

- levantamento de manifestações patológicas na estrutura de aço em alguns edifícios selecionados para estudo de caso;
- elaboração de diagnósticos;
- avaliação de alternativas de projeto para prevenir o surgimento de problemas patológicos detectados.

Em uma segunda etapa desenvolve-se a proposta metodológica em si, com base em dois procedimentos:

- elaboração de uma seqüencia de diretrizes para o projeto executivo de sistemas de fechamento em alvenaria;
- desenvolvimento de dois casos de aplicação da metodologia proposta em edifícios em estrutura de aço com fins institucionais.

Na Figura 3.1 apresenta-se um fluxograma no qual sintetiza-se a metodologia apresentada para o desenvolvimento do presente trabalho.



Figura 3.1 – Síntese da metodologia para o desenvolvimento deste trabalho.

3.1 AVALIAÇÃO DAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM EDIFÍCIOS

O procedimento para a realização dos levantamentos *in loco* pressupõe uma metodologia que visa padronizar a coleta de dados. Cada levantamento de sintomas tem uma adaptação individualizada para o caso em questão. Além disso, quando se analisa a durabilidade de um subsistema do ambiente construído, entende-se a sua interdependência com os demais subsistemas. Tem-se, portanto, apenas uma separação analítica como forma de avaliar a condição de desempenho do elemento e estender esta avaliação a influência no desempenho global do edifício.

Para o desenvolvimento das avaliações de desempenho deste trabalho optou-se pela seleção de quatro edifícios em estrutura de aço com fins institucionais construídos no Campus de Viçosa da Universidade Federal de Viçosa.

Com o objetivo específico de estudar a relação entre os sistemas de fechamento e as manifestações patológicas detectadas em construções metálicas, buscou-se edifícios que apresentassem diferenças nos tipos de fechamento, nos tipos de ligação alvenaria-estrutura e nos tratamentos superficiais dados à estrutura periférica das fachadas. Em síntese, os edifícios escolhidos apresentam as seguintes características:

- tratam-se de edifícios de uso institucional;
- a estrutura é formada por perfis de aço, usualmente com pilares e vigas formados por perfil de seção I soldados;
- possuem laje mista com forma de aço incorporada;
- possuem tipologias de fechamentos diferentes entre si;
- apresentam manifestações patológicas em fechamentos ou em sistemas contíguos a estes;
- recentemente construídos.

Assim, foram selecionados os seguintes edifícios para avaliação:

- Edifício do Centro de Ciências Biológicas II (CCB-II);
- Edifício do Pavilhão de Aulas II (PVB);
- Edifício da Comissão Permanente de Vestibular e Exames (COPEVE);
- Edifício do Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas (CCE).

Em seguida, iniciou-se o levantamento das manifestações patológicas nos edifícios selecionados conforme descrito no Quadro 3.1.

Quadro 3.1 – Síntese da metodologia de avaliação dos edifícios.

ETAPA	AÇÃO
Inspeção geral	Avaliação geral das manifestações patológicas do edifício
Vistoria técnica	Qualificação pontual das manifestações patológicas relacionadas a alguma deficiência no sistema de fechamentos
Pesquisa bibliográfica	Embasamento teórico para elaboração do diagnóstico sobre as manifestações patológicas identificadas

As informações coletadas *in loco* tratam dos edifícios em seu estágio de utilização. Tendo como foco a sintomatologia pontual dos fechamentos, separam-se os ambientes em partes, a fim de organizar as manifestações patológicas também por seus

locais de ocorrência. Foram definidos três tipos de áreas a serem analisados: 1) áreas secas; 2) áreas úmidas e 3) áreas de circulação. Em alguns casos específicos, esta divisão pôde conter subdivisões como a distinção entre as áreas de circulação, tais como: “áreas de circulação vertical” e “áreas de circulação horizontal”, sempre quando esta separação se fez conveniente.

A determinação da extensão do exame tem como condicionante básico o grau de propagação dos sintomas no edifício. De maneira geral, os sintomas de uma manifestação patológica que tendem a se espalhar em uma dada construção levantam sempre a necessidade de um exame com o maior número de hipóteses possíveis. Portanto, assume-se a extensão do exame a partir da inspeção. O planejamento das inspeções foi feito a partir da análise individual dos projetos executivos de cada edificação. De posse das informações coletadas nos projetos, consideram-se os seguintes critérios para a inspeção:

- inicia-se pela inspeção interna e o exame sempre começa no piso superior;
- todos os ambientes são inspecionados;
- o sentido de caminamento é previamente estabelecido;
- repete-se o mesmo procedimento até o pavimento térreo;
- somente depois de terminada a inspeção interna, inicia-se a inspeção externa;
- toma-se cada elevação do edifício separadamente;
- o sentido de caminamento é o mesmo adotado na inspeção interna
- quando necessário, faz-se inspeções nas imediações do edifício.

A partir das inspeções é definido o número de hipóteses possíveis como causas para a manifestação patológica. A partir disso, planejam-se as vistorias técnicas que têm o intuito de identificar localmente a ação de um mecanismo patológico. Portanto, a vistoria técnica serve como um registro das causas, das origens e dos mecanismos de ocorrência das manifestações patológicas, que compõe a condição geral de desempenho do ambiente construído.

Com o intuito de identificar as manifestações patológicas específicas nos fechamentos dos edifícios, planejou-se a vistoria técnica buscando caracterizar os materiais componentes dos sistemas de fechamento e as ligações deste sistema com o

sistema estrutural de aço. A partir daí registrou-se as manifestações patológicas relacionadas à corrosão dos elementos metálicos e o grau de estanqueidade proporcionado pelo sistema de fechamento. No Quadro 3.3 são apresentadas as etapas estabelecidas para as vistorias técnicas.

Quadro 3.2 – Etapas da vistoria.

ETAPA	AÇÃO
Levantamento dos materiais utilizados	Levantam-se as propriedades dos materiais utilizados nos sistemas de fechamento, tais como, comportamento térmico, higroscópico e mecânico
Análise das ligações alvenaria-estrutura	Caracterizam-se as ligações alvenaria-estrutura, verificando os componentes e o grau de vinculação entre os dois sistemas
Registro das manifestações patológicas	Identificam-se as manifestações patológicas a partir de exames visuais, medições e registros fotográficos
Avaliação projetual	Verifica-se a compatibilidade entre a informação coletada e a informação apresentada em projeto

A partir das vistorias, as manifestações patológicas foram qualificadas para efeitos de comparação com condições delimitadas por normas técnicas e com outras situações em outros edifícios.

Para completar a elaboração dos diagnósticos fez-se uma pesquisa por meio de bibliografia especializada, a fim de se obter maiores subsídios para o entendimento do problema. O diagnóstico ideal deve possibilitar que diferentes observadores sempre concluam pela a mesma classificação. Procurou-se a redução da incerteza inicial pelo progressivo levantamento de informações e eliminação de hipóteses até se chegar a uma correlação satisfatória entre o problema observado e a forma de ocorrência deste problema.

3.2 DESENVOLVIMENTO DA PROPOSTA METODOLÓGICA

A avaliação das manifestações patológicas serviu de subsídio para a construção de uma base de dados sobre a atividade de projeto e execução dos sistemas de fechamento em alvenaria de edifício com estrutura de aço. A partir desta base de dados desenvolveram-se procedimentos para o projeto de sistemas de fechamento em alvenaria com vistas à garantia de qualidade dos ambientes construídos. Avaliaram-se as informações de projeto dos edifícios mencionados no item 3.1, em relação à execução dos sistemas de fechamento, na medida em que contribuem com a garantia de qualidade

deste sistema. Estas práticas de projeto foram separadas conforme se mostra no Quadro 3.4.

Quadro 3.4 – Identificação das informações de projeto relacionadas aos fechamentos.

INFORMAÇÃO	SIGNIFICADO
“práticas positivas”	Informações que contribuem a adequada execução e ao desempenho do edifício
“práticas negativas”	Informações que não contribuem a adequada execução e que, de alguma forma, contribuem ao surgimento das manifestações patológicas
“necessidades”	Carências dos procedimentos de detalhamento dos fechamentos em projeto

A partir da separação destas informações, buscou-se construir um quadro geral que confronta as práticas de projeto e a maneira como estas práticas informam o método construtivo específico, isto é, se garantem ou não, qualidade aos ambientes construídos.

Com base nisso desenvolveu-se, a partir de normas para a elaboração de projetos de arquitetura e engenharia, uma proposta metodológica que se constitui de uma seqüência de procedimentos para o projeto de sistemas de fechamento em alvenaria de edifícios com estrutura de aço. O fundamento básico destas diretrizes projetuais foi a prevenção dos problemas identificados, quer estejam ligados aos projetos, quer estejam ligados à execução dos edifícios avaliados.

Para fins de avaliação da funcionalidade desta proposta metodológica, desenvolveram-se dois casos de projeto de sistemas de fechamento em alvenaria para edifícios a serem construídos no Campus Viçosa da Universidade Federal de Viçosa. São eles:

- Projeto do Edifício dos Laboratórios de Engenharia;
- Projeto do Edifício das Licenciaturas.

A opção por estes dois edifícios se deu em função destes apresentarem as mesmas características dos edifícios avaliados no item 3.1. Além disso, trata-se de dois casos de sistemas de fechamento em alvenaria diferentes entre si. Desta forma, buscou-se também avaliar a abrangência dessa proposta metodológica.

4

Avaliação de Manifestações Patológicas em Edifícios com Estrutura de Aço

Comumente, os primeiros sinais que conduzem a uma avaliação do desempenho quanto à durabilidade de um determinado edifício são as queixas de seus usuários. A partir de indícios de manifestações patológicas se planeja a inspeção no local com vistas à constatação dos problemas. As primeiras informações buscadas são, basicamente, a análise ambiental e a gravidade dos sintomas por meio dos sentidos humanos. Depois de identificada a real condição destes aspectos se planeja a vistoria técnica do local de maneira adaptada e individual.

A definição da existência ou não de um problema patológico é feita por meio de comparação, de modo geral, qualitativa, entre o desempenho exigível do edifício ou de

parte deste e a situação encontrada. A maioria dos sintomas aponta imediatamente a existência da atuação de algum processo de deterioração.

Neste Capítulo apresenta-se a avaliação de manifestações patológicas nos edifícios selecionados descritos no Capítulo 3, tendo como foco a relação entre os sistemas de fechamento e os problemas detectados. Por esse motivo se dá especial atenção aos elementos que compõem o sistema de fechamento, as estruturas periféricas e as interfaces entre o fechamento e a estrutura de aço.

4.1 EDIFÍCIO DO CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS II (CCB-II)

A construção do Edifício do CCB-II, situado no Campus Viçosa da Universidade Federal de Viçosa, se deu em virtude de atender às necessidades das atividades de pesquisa e ensino prático para os cursos superiores relacionados à área de ciências biológicas. O programa inicial previa a construção de um edifício de cinco pavimentos. Entretanto, tendo em vista a crescente demanda universitária, o Edifício do CCB-II teve sua programação ampliada para seis pavimentos, de maneira a atender outras necessidades.

O Edifício do CCB-II possui planta predominantemente retangular, composto por salas de aula, laboratórios de biologia e bioquímica e outras instalações necessárias ao funcionamento de departamentos acadêmicos, como gabinetes de professores, secretarias, almoxarifados, sanitários e depósitos diversos. Sua circulação horizontal é feita por meio de um corredor central ligando longitudinalmente os ambientes, criando duas alas paralelas. Verticalmente, a circulação é feita internamente por escada com “bomba central” de três lances por pavimento. Além disso, possui dois elevadores e duas escadas laterais consideradas de emergência (Figura 4.1).

A estrutura do edifício é formada por lajes, vigas e pilares compostos por perfis de aço soldados de seção I e é estabilizada por pórticos planos contraventados dispostos nas duas direções principais. A maioria das ligações entre pilares e vigas é parafusada. Possui lajes mistas com forma de aço incorporada tipo “steel deck” e vigas mistas que utilizam conectores de cisalhamento tipo pino com cabeça. Os contraventamentos em forma de delta foram dispostos no mesmo plano da estrutura periférica e estão presentes nas duas direções principais do edifício.

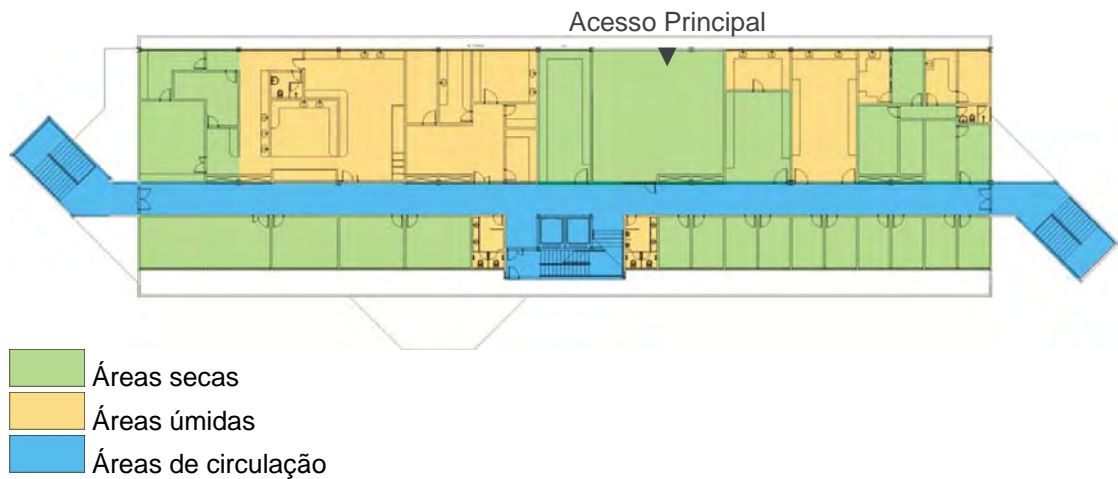


Figura 4.1 – Planta tipo (esquemática do pavimento tipo) do CCB-II

Sobre a última laje tem-se um telhado embutido de duas águas com calhas laterais, feito de chapa metálica parafusada à estrutura portante de treliça metálica. As fôrmas das lajes mistas são aparentes em tom natural em algumas áreas e pintadas de branco em outras; nos sanitários, são cobertas com forro de PVC. Toda a estrutura em aço não revestido do edifício foi protegida com pintura. Na Figura 4.2 apresenta-se uma vista aérea do Edifício do CCB-II, além de uma vista externa.

Nas duas maiores fachadas, de acesso e dos fundos, os elementos estruturais periféricos (viga de bordo, pilares e contraventamentos) se situam em um plano exterior ao do plano dos fechamentos, ou seja, o fechamento está em posição interna à estrutura. Nas demais fachadas o fechamento se situa no mesmo plano da estrutura, neste caso, os elementos estruturais de aço interceptam o plano do fechamento e por isso foram utilizados perfis “U” formados a frio soldados aos perfis estruturais para fins de encaixes das paredes. Por dentro destes perfis “U” formados a frio foram fixadas placas de EPS, a fim de promover a desvinculação entre a estrutura e a parede.



(a)



(b)

Figura 4.2 – Vistas externas do Edifício do CCB-II.

(a) Vista aérea (Fonte: <http://www.google.com.br>); (b) vista externa.

O fechamento deste edifício é composto por painéis de concreto celular autoclavado revestidos com peças cerâmicas de cor gelo. As aberturas das fachadas possuem esquadrias de alumínio e vidro simples. No último pavimento tem-se uma varanda que se projeta horizontalmente além dos fechamentos dos demais pavimentos.

Os painéis de fechamento foram dispostos de duas formas (Figura 4.3): painéis assentados com a maior dimensão na horizontal – nas fachadas onde a estrutura periférica é exterior ao fechamento; painéis assentados com a maior dimensão na vertical – nas fachadas onde a estrutura periférica se situa no mesmo plano do fechamento. Estes painéis são desvinculados da estrutura de aço por meio de detalhes construtivos que permitem a movimentação entre as paredes ligadas. Apesar de se ter notícia sobre a existência do projeto executivo do fechamento, o mesmo não foi localizado.



Figura 4.3 – Vistas da execução do fechamento vertical externo.

Internamente, o Edifício do CCB-II apresenta paredes divisórias em gesso acartonado nas áreas secas. Nas áreas úmidas, as paredes hidráulicas são de tijolos cerâmicos furados.

4.1.1 Identificação das Manifestações Patológicas no Edifício do CCB-II

Inicialmente, fez-se um primeiro contato com os usuários do edifício, os quais tinham como principal queixa a presença de umidade de algumas paredes internas. Com base na metodologia proposta, iniciou-se a inspeção interna a partir do último pavimento, com o principal objetivo de verificar as condições do sistema de escoamento de águas pluviais.

Durante a inspeção, avaliaram-se as características gerais dos elementos da cobertura tais como o dimensionamento das calhas, dos tubos de queda, além da estanqueidade do conjunto. Verificou-se em que condições se dá o escoamento de água no sistema de cobertura. Neste sistema, a calha metálica conduz as águas pluviais até os extremos do edifício onde é levada ao solo por meio de tubos de queda em PVC. Pode-se dizer que as condições de serviço e conservação são consideradas adequadas. Desta forma, nos dias chuvosos observou-se que o telhado cumpre seu papel de sistema de escoamento de água. Embora tenham sido observadas algumas inadequações no posicionamento dos tubos de queda, não se verificou nenhum ponto de entrada de água na edificação por meio da cobertura.

Não foram detectados vazamentos nos tubos inspecionados, assim como não foi observada a presença de umidade nos fechamentos verticais externos. Portanto, no último pavimento (o mais próximo ao sistema de cobertura) não se registrou qualquer indício de umidade nas superfícies externas das paredes, de modo que, tanto a cobertura (que cobre o último pavimento), quanto a projeção horizontal do último pavimento sobre os demais (que funciona como beiral), desempenham um papel de proteção horizontal contra a ação das intempéries nas superfícies verticais.

Nos setores destinados à circulação vertical não existe projeção horizontal de nenhum elemento na fachada e a cobertura é formada por um telhado embutido de duas águas. Nestes setores foram identificadas diversas paredes com a presença de umidade, mesmo em épocas com baixos índices pluviométricos. As manifestações patológicas verificadas nestes locais são, predominantemente, da presença de fungos e mofos nas paredes internas. Tendo em vista que estes tipos de microorganismos necessitam constantemente de um ambiente quente e úmido para proliferação, procurou-se identificar entre as áreas do edifício, aquelas que possuem menores taxas de aberturas (relação entre a soma das áreas de esquadrias e a área do ambiente) e de ventilação, além da estanqueidade dos fechamentos e umidade destes ambientes.

Em função das evidências encontradas na inspeção, durante a vistoria técnica deu-se ênfase à avaliação das condições de exposição ambiental as quais os fechamentos verticais estão submetidos e o tratamento dado às superfícies externas dos mesmos com o objetivo de garantir a estanqueidade do sistema. As áreas de circulação vertical situadas nas laterais do edifício foram os locais onde foram verificadas as

maiores concentrações de fungos e mofos na parte interna das paredes das fachadas. Neste setor do edifício, a concentração de microorganismos é tal que inviabiliza a permanência de pessoas por um período prolongado. Nestas áreas notou-se um elevado índice de umidade e a ausência de ventilação, o que torna ainda mais evidente os efeitos percebidos pelos usuários. Na Figura 4.4 é mostrada uma manifestação patológica desta natureza encontrada em paredes internas distintas neste setor do edifício.



Figura 4.4 – Concentração de fungos e mofos em uma parede interna e a presença de umidade próxima ao sistema elétrico do edifício.

Conforme se pode observar na Figura 4.4, a presença de umidade próxima às instalações elétricas tende a comprometer a vida útil deste sistema, além de gerar riscos de curtos circuitos e incêndios. Também é possível observar a presença de umidade nos elementos estruturais do edifício. Nas vigas de aço verificam-se quantidades significativas de água retida na parte externa das mesas inferiores que, por se tratarem de elementos horizontais, não permitem o seu completo escoamento, sendo eliminada praticamente através da evaporação ao longo do tempo.

A partir da vistoria técnica observou-se que as manifestações patológicas mais importantes detectadas no edifício são causadas pela entrada de água através dos fechamentos verticais. Em função disto, foram identificadas as principais zonas de entrada de água através dos fechamentos verticais mais deteriorados, a fim de mapear a forma como a água pluvial penetra no interior do edifício.

Observa-se que a entrada de água no edifício se dá principalmente pela incidência de chuva nas paredes das fachadas, de maneira que a água passa ao interior

do edifício através das interfaces entre o fechamento vertical e a estrutura metálica. Conforme pode ser visto na Figura 4.5, o revestimento cerâmico da fachada foi aplicado sobre os painéis de fechamento vertical e estendido até a região sobre os perfis “U” formados a frio que promovem a desvinculação destes painéis com a estrutura. Em função da diferença de coeficiente de dilatação entre estes materiais, se produzem “estufamentos” e descolamentos do revestimento cerâmico. Com o “estufamento” do revestimento cerâmico a água fica retida nos espaços formados entre os painéis e o revestimento promovendo a propagação do descolamento e a infiltração de água para o interior do edifício.



Figura 4.5 – Manifestações patológicas na fachada: (a) “estufamento” do revestimento cerâmico; (b) descolamento do revestimento cerâmico aplicado sobre os elementos que promovem a desvinculação do fechamento vertical.

Com o agravamento do problema, a medida adotada pelos próprios usuários do edifício a fim de minimizar a entrada de água foi a aplicação de um selante de poliuretano nas juntas entre os perfis “U” formados a frio e as vigas, e entre os perfis “U” formados a frio e o revestimento cerâmico. O selante de poliuretano apresenta boa resistência às intempéries e ao envelhecimento, boa resistência química em relação a ataques ácidos, álcalis, gorduras e óleos, além de apresentar termoplasticidade (não amolecer com a temperatura).

Entretanto, a aplicação de selante nas interfaces supracitadas não se mostrou eficaz na medida em que, após certo tempo de aplicação, a entrada de água através das fachadas não foi totalmente solucionada. Apesar das deficiências observadas, notou-se que a aplicação do selante de poliuretano proporcionou alguma redução da quantidade de água no fechamento. Além de selar as juntas e frestas, foram corrigidas imperfeições provenientes de cortes das peças de aço *in loco*.

A aplicação do selante de poliuretano para o tratamento das juntas em um projeto de alvenaria comumente é acompanhada de detalhes que visam a obtenção de um bom desempenho quanto à estanqueidade. Normalmente, estes detalhes prevêm que o selante tenha aderência em duas faces e que não seja ligado ao substrato da junta.

Na Figura 4.6 mostra-se uma região da fachada onde foi aplicado o selante de poliuretano.



Figura 4.6 – Manifestações patológicas nos locais de aplicação do selante de poliuretano. (a) Corrosão e umidade nas chapas de arremate da laje mista; (b) detalhe de uma aplicação do selante de poliuretano.

Na Figura 4.7 indicam-se as principais zonas de entrada de água no edifício através das paredes das fachadas, nas interfaces entre o fechamento vertical e a estrutura de aço.

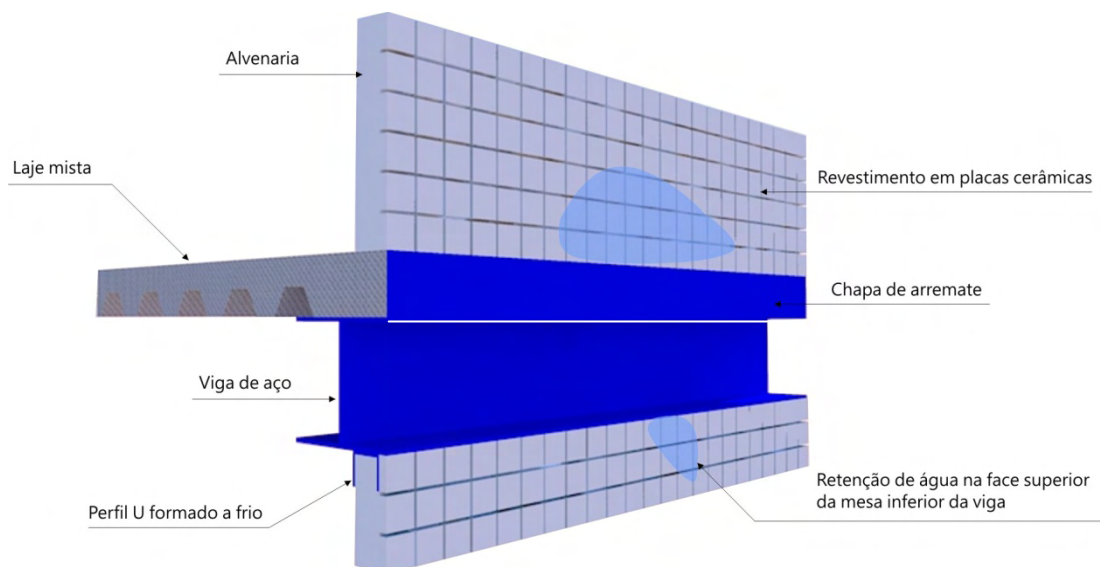


Figura 4.7 – Principais zonas de entrada de água no edifício através dos fechamentos.

Em decorrência da entrada de água no edifício através das paredes das fachadas foram detectadas diversas zonas de corrosão na estrutura de aço. Em função das

manchas nos elementos de aço, pode observar o caminho percorrido pela água desde a sua incidência na fachada até o seu empoçamento. A borda inferior dos arremates da laje mista e a face superior das mesas inferiores das vigas de aço são as regiões que apresentam maior grau de corrosão. Mesmo nas peças metálicas que receberam a aplicação de selante de poliuretano, observa-se elevada corrosão que produz escorrimento nestes elementos. (Figura 4.8)



Figura 4.8 – Corrosão e escorrimento na parte interna de elementos metálicos.

Considera-se que a presença de fungos e mofo são um agravante do problema, na medida em que praticamente impede o uso dos ambientes onde os mesmos surgem. Observando-se que estas manifestações se encontram em locais de circulação pouco utilizados, sua manutenção é usualmente negligenciada. Ainda assim, a manutenção periódica destes ambientes é mais importante pelo aspecto estrutural, tendo em vista que a corrosão presente nos elementos de aço implica na redução da seção transversal dos perfis estruturais.

No Quadro 4.1 apresenta-se uma síntese das características dos ambientes do Edifício do CCB-II e as manifestações patológicas identificadas. Certas características, como a quantidade e posição das aberturas nos ambientes, têm implicações devido às taxas de ventilação interna. Principalmente nos setores em que se encontram quantidades excessivas de fungos e mofo nas paredes também se verificam áreas reduzidas de esquadrias.

Quadro 4.1 – Síntese dos resultados obtidos na vistoria do Edifício do CCB-II.

AMBIENTE TIPO	CARACTERÍSTICAS	MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS
Áreas secas	<ul style="list-style-type: none"> – Relação Aj/At, próxima a 1/6 – Sem presença de elementos externos de proteção solar – Equipados com condicionadores de ar e, portanto, aberturas mantidas fechadas 	<ul style="list-style-type: none"> – Fissuras de pequena abertura vertical na face interna das paredes das fachadas
Áreas úmidas	<ul style="list-style-type: none"> – Relação Aj/At, próxima a 1/6 – Sem presença de elementos de proteção solar. – Possuem ventilação cruzada no caso da porta ser mantida aberta 	<ul style="list-style-type: none"> – Fissuras de pequena abertura vertical na face interna das paredes das fachadas – Presença de umidade – Presença de leve corrosão dos elementos metálicos
Áreas de circulação	<ul style="list-style-type: none"> – Isentos de janelas. – Relação Aj/At, próximas a 1/9 (apenas nas escadas; corredores sem ventilação) 	<ul style="list-style-type: none"> – Fissuras de grande abertura vertical na face interna das paredes das fachadas – Acentuada presença de umidade. – Grande presença de fungos e mofo – Corrosão acentuada dos elementos estruturais de aço. – Elementos e arremates inacabados

Nota: a relação “Aj/At” se refere a razão entre a área total de janelas do ambiente e a área total do piso do mesmo ambiente.

Com base na vistoria realizada observa-se que, de um modo geral, a estrutura do edifício apresenta bom desempenho construtivo e estrutural. No entanto, as áreas de circulação vertical situadas nas laterais do edifício são as que apresentam as mais evidentes manifestações patológicas na estrutura de aço, que têm origem em deficiências construtivas do fechamento vertical, sinalizando com uma importante diminuição da expectativa de vida útil desta região do edifício.

4.2 EDIFÍCIO DO PAVILHÃO DE AULAS II (PVB)

A construção do Edifício do Pavilhão de Aulas II (PVB), situado no Campus Viçosa da UFV, se deu em virtude de atender às necessidades das atividades de ensino para todos os cursos superiores desta instituição. O edifício abriga basicamente salas de aula, auditórios e infra-estrutura básica para o seu funcionamento como sanitários, lanchonete, laboratórios de computação e salas de apoio.

O Edifício do PVB é composto por três pavimentos com dois átrios centrais descobertos. As salas de aula se situam ao redor dos dois átrios centrais e entre eles são

concentrados os ambientes de apoio como sanitários, almoxarifados e depósitos diversos. Além disso, o edifício possui dois auditórios próximos ao hall de entrada (Figura 4.9).



Figura 4.9 – Planta tipo (esquemática do pavimento térreo) do PVB.

De acordo com relatos de profissionais envolvidos na construção deste edifício, a opção pela construção metálica foi orientada a partir de dois aspectos preponderantes para a implantação: o prazo de execução e as características do solo de fundação. A opção pela estrutura de aço implicou na diminuição do número de pilares e na diminuição das cargas sobre a fundação.

A estrutura do edifício é formada por lajes mistas e vigas e pilares compostos por perfis de aço soldado de seção I e é estabilizada por pórticos planos contraventados dispostos nas duas direções principais. Possui lajes mistas com fôrma de aço incorporada tipo “steel deck” e vigas mistas que utilizam conectores de cisalhamento tipo pino com cabeça. Os contraventamentos em forma de delta foram dispostos no mesmo plano da estrutura e estão presentes nas duas direções principais do edifício. Toda a estrutura de aço não revestido do edifício foi protegida com pintura.

O fechamento vertical externo é composto por blocos de concreto celular autoclavado, enquanto internamente foram utilizados blocos de concreto celular autoclavado em algumas paredes e divisórias de gesso acartonado com tratamento acústico em outras. As paredes hidráulicas dos banheiros foram executadas em alvenaria de blocos cerâmicos.

A cobertura do edifício é composta por um telhado embutido em uma zona e por um telhado aparente em outra. Na cobertura do hall e do pátio de entrada, o telhado aparente é de telha metálica calandrada em formato curvo. Já as demais áreas possuem telhado embutido de uma água disposto sobre uma laje inclinada. Na Figura 4.10 apresenta-se uma vista aérea do Edifício do PVB, além de uma vista externa.

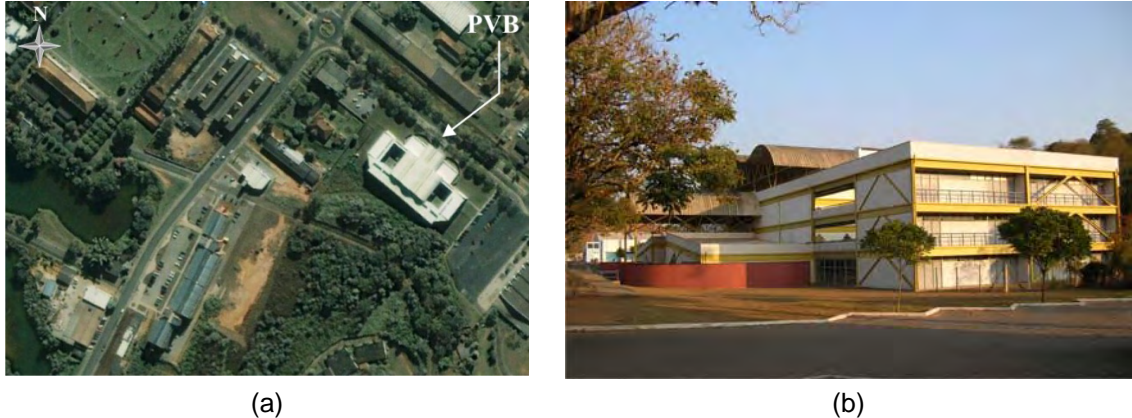


Figura 4.10 – Vistas externas do Edifício do PVB.
(a) Vista aérea (Fonte: <http://www.google.com.br>); (b) vista externa.

O fechamento vertical dos ambientes das áreas secas e de permanência é composto por parede em alvenaria e portas metálicas que dão acesso aos pátios, no pavimento térreo, e às varandas, nos pisos superiores. A utilização de portas em lugar de janelas tem o intuito de fazê-las funcionar como brises, isto é, nos períodos em que as fachadas são insoladas previu-se a abertura parcial das portas com vistas a promover o bloqueio da radiação direta para os ambientes internos.

Os fechamentos verticais internos, compostos por blocos de concreto celular autoclavado, são desvinculados da estrutura de aço com o auxílio de alguns detalhes construtivos que permitem a movimentação entre as paredes ligadas. Apesar de ter sido desenvolvido um projeto de alvenaria para este edifício, no qual constavam detalhes executados, o mesmo não foi localizado.

Nas laterais das paredes, na interface entre a alvenaria e a estrutura de aço são utilizadas duas soluções típicas: 1) quando a alvenaria se encontra perpendicularmente com a mesa do pilar a ligação é feita com a colocação de um perfil “U” formado a frio e uma placa de poliestireno expandido (EPS); 2) quando a alvenaria se encontra com a alma do pilar a ligação é a mesma descrita anteriormente, só que executada fora do eixo do pilar, isto é, em contato com uma das mesas (Figura 4.11).



Figura 4.11 – Vistas da execução dos fechamentos do Edifício do PVB.
 (a) Detalhe do arremate superior das paredes; (b) estabilização do pano de alvenaria por meio de dois perfis “U” formados a frio justapostos.

Neste edifício, o vão livre das vigas é de tal magnitude que levaria a panos de grande comprimento. Para evitar esta situação, o pano de alvenaria foi quebrado com a colocação de dois perfis “U” formados a frio justapostos, desvinculados da alvenaria com a colocação de placas de poliestireno expandido (EPS). Estes perfis “U” formados a frio foram conectados à estrutura por meio de um elemento metálico que permite seu movimento vertical (Figura 4.11b).

4.2.1 Identificação das Manifestações Patológicas no Edifício do PVB

As entrevistas com usuários do edifício revelaram que a principal queixa se referia à entrada de água pluvial no interior do edifício. Com base na metodologia proposta, iniciou-se a inspeção interna do edifício a partir do último pavimento, com o principal objetivo de verificar as condições do sistema de escoamento de águas pluviais.

Foram detectadas manchas de água nas paredes, nas vigas e nas platibandas, o que evidencia a presença de água nestes elementos em determinados momentos. Estas manchas normalmente se apresentam na forma de listras verticais, embora o elemento estivesse completamente seco no momento da inspeção. Observou-se também que muitos dos elementos que apresentaram esta manifestação patológica são internos, ou seja, a presença de água não é exclusividade dos elementos das fachadas.

Observou-se que as manchas de escorrimento nas mesas e nas almas dos pilares têm um tom esbranquiçado, proveniente de tintas e massa corrida. Isso evidencia o fato de que, juntamente com a água que escorre nestes pontos da edificação, resíduos de revestimentos são lixiviados das paredes. Isto reforça a hipótese da água inicialmente

atingir e/ou ficar retida em um local que contenha estes tipos de revestimentos para posteriormente escorrer a outros elementos. Na Figura 4.12 mostra-se um pilar interno do Edifício do PVB com a presença de manchas de escorrimento em sua alma.

Para se fazer a vistoria da cobertura do edifício constatou-se inicialmente certa dificuldade de acesso, já que este é feito por meio de uma escada no último pavimento sem anteparos de proteção, o que acaba por dificultar o acesso e conseqüentemente torna mais escassa a sua manutenção.



Figura 4.12 – (a) Pilar interno do Edifício do PVB; (b) detalhe ampliado mostrando o escorrimento na alma do pilar.

Durante a vistoria foi verificado que era bom o estado de conservação dos elementos estruturais que compõem o telhado e as condições gerais das calhas e dos tubos de queda.

Existem indícios de que, em função das grandes áreas de telhado, as calhas não proporcionem o correto escoamento da água para chuvas de grande intensidade. No setor onde a cobertura é aparente, observam-se manchas de água e a presença de limo na laje situada sobre a mesma (Figura 4.13). Além dos vestígios da retenção de água na laje, foram verificadas nas calhas água acumulada mesmo nos períodos de estiagem.



Figura 4.13 – Vestígios da retenção de água na laje abaixo da cobertura.

A água pluvial que incide sobre as lajes que não foram devidamente impermeabilizadas, é a principal fonte de entrada de água no edifício. Além disso, alguns furos feitos na platibanda para fixação da estrutura de cobertura permitem que a água que atinge a fachada passe para a superfície superior da laje (Figura 4.14a). A solução adotada pelos próprios usuários do edifício a fim de minimizar a ocorrência destas manifestações patológicas foi a instalação improvisada de tubos de PVC na platibanda para drenagem da água lançada sobre a laje. (Figura 4.14b)



(a)



(b)

Figura 4.14 – Vista de parte da cobertura do Edifício do PVB.
(a) Imagem lateral com destaque para a estrutura interceptando a alvenaria; (b) detalhe do tubo de drenagem adaptado na platibanda.

A água pluvial que passa para a superfície da laje leva longos períodos até ser evaporada naturalmente, por se alojar em frestas e pontos de difícil evaporação. Já a parcela desta água que atinge diretamente a viga de aço fica em parte retida sobre a face

superior da mesa inferior, enquanto outra parte escorre pela viga até atingir pilares e, conseqüentemente, a laje do piso inferior.

No esquema mostrado na Figura 4.15 são identificadas as zonas de entrada de água no edifício através das paredes das fachadas. Nota-se que a passagem da água para a superfície superior da laje se dá tanto pela falta de proteção da cobertura para chuvas oblíquas ao plano da fachada, quanto pela falta de vedação dos orifícios executados na platibanda para fixação dos elementos de cobertura.

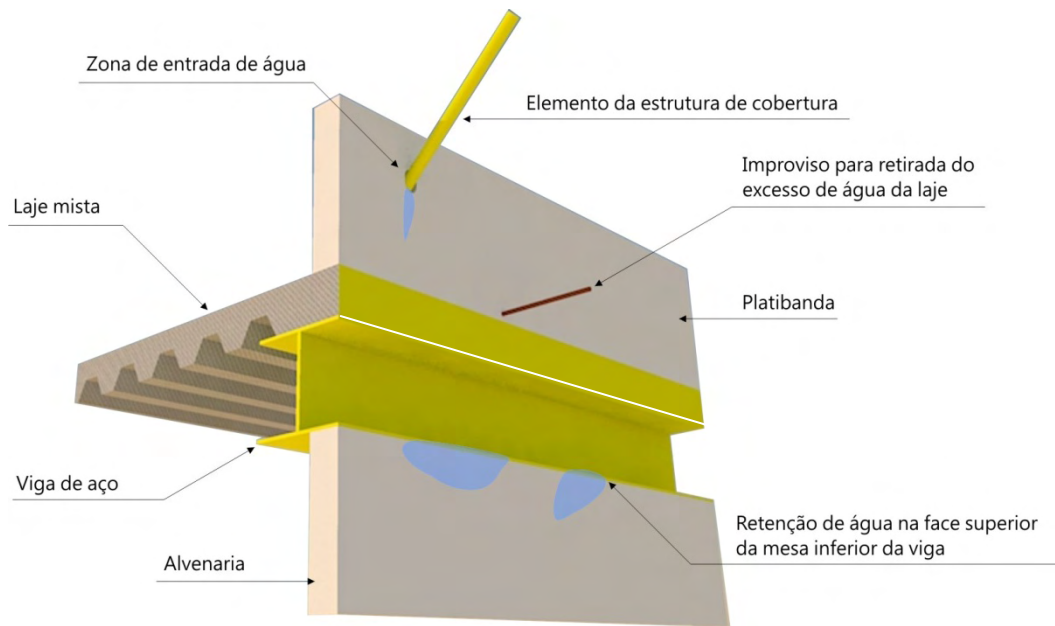


Figura 4.15 – Principais zonas de passagem da água para a superfície da laje.

Em decorrência da entrada de água no edifício através das fachadas, foram detectadas diversas zonas de corrosão (Figura 4.16). A água que penetra no edifício também provoca danos aos fechamentos internos, por conta da suscetibilidade dos painéis de gesso acartonado à água. Com a exposição à água surgem fissuras nestes painéis. As fissuras introduzidas neste processo se tornaram permanentes nos períodos secos.



Figura 4.16 – Zona de corrosão entre a chapa de arremate da laje mista e a mesa superior da viga de aço.

As paredes externas deste edifício apresentam marcas visíveis a olho nu das linhas horizontais e verticais da argamassa de assentamento dos blocos de concreto celular autoclavado, o que é conhecido como “radiografia da alvenaria”. Normalmente, este fenômeno é causado pela absorção da água da argamassa de revestimento pelo bloco, o que pode ser atribuído a uma deficiência do bloco, à falta de espessura adequada da argamassa de revestimento ou ao processo de execução (Figura 4.17).

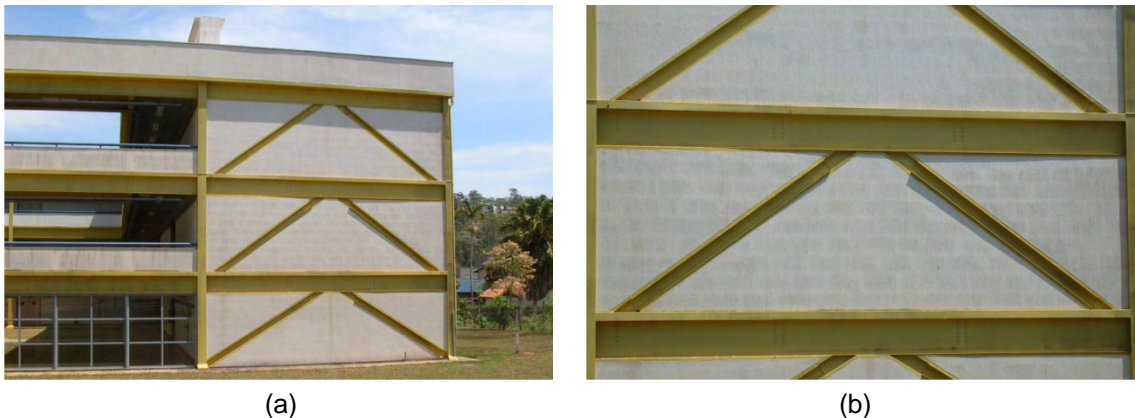


Figura 4.17 – Manifestações patológicas nas paredes da fachada: (a) aspecto geral da fachada; (b) detalhe da “radiografia” da alvenaria.

Notou-se que alguns detalhes das interfaces entre a alvenaria e a estrutura de aço não permitiram alcançar um bom desempenho quanto à estanqueidade.

A título de exemplo, os contraventamentos dispostos nas fachadas, situados no mesmo plano da alvenaria, são formados por perfis de seção I inclinados, em forma de delta. Nestes locais, as alvenarias são desvinculadas dos elementos do

contraventamento, mas devido à dificuldade de precisão de corte, a estabilidade e o acabamento apresentam deficiências. Na Figura 4.18 mostram-se detalhes de ligações de extremidade dos elementos de contraventamento, onde pode-se observar a fresta produzida pelo desprendimento de um elemento de ligação e a presença de calços de madeira deixados durante a montagem da estrutura.



Figura 4.18 – Manifestações patológicas nos contraventamentos.
(a) Desprendimento de elementos de vedação; (b) detalhes de improvisos com madeira.

Outro aspecto importante observado durante a vistoria se refere à magnitude dos deslocamentos das vigas treliçadas voltadas para os átrios centrais do edifício (Figura 4.19). Apesar destes deslocamentos não terem sido medidos e de não terem sido detectadas fissuras nas paredes dispostas sobre estas vigas, causam uma má aparência a esta zona da estrutura.



Figura 4.19 – Flecha observada nas treliças.

No Quadro 4.2 apresenta-se uma síntese das características dos ambientes do Edifício do PVB e as manifestações patológicas identificadas.

Quadro 4.2 – Síntese dos resultados obtidos na vistoria do Edifício do PVB.

AMBIENTE TIPO	CARACTERÍSTICAS	MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS
Áreas secas	<ul style="list-style-type: none"> – Grandes aberturas e varandas – Ausência de elementos de proteção contra intempéries 	<ul style="list-style-type: none"> – Fissuras verticais e horizontais de pequena abertura nos fechamentos verticais
Áreas úmidas	<ul style="list-style-type: none"> – Relação Aj/At, próxima a 1/7 	<ul style="list-style-type: none"> – Fissuras verticais e horizontais de pequena abertura nos fechamentos verticais – Presença de umidade – Presença de leve corrosão dos elementos estruturais de aço
Área de circulação	<ul style="list-style-type: none"> – Áreas com grande ventilação devido a ausência de paredes – Ausência de elementos de proteção contra intempéries 	<ul style="list-style-type: none"> – Acentuada presença de umidade – corrosão acentuada dos elementos estruturais de aço – Elementos e arremates inacabados

Nota: a relação “Aj/At” se refere a razão entre a área total de janelas do ambiente e a área total do piso do mesmo ambiente.

Com base na vistoria realizada, observa-se que, de um modo geral, a estrutura do edifício apresenta bom desempenho construtivo e estrutural. No entanto, fica evidenciado que as manifestações patológicas mais importantes na estrutura de aço são provocadas a partir da entrada de água através da cobertura e das paredes das fachadas. A falta de intervenção nestes problemas pode contribuir para a diminuição da vida útil de diversas regiões do edifício.

4.3 EDIFÍCIO DA COMISSÃO PERMANENTE DE VESTIBULAR E EXAMES (COPEVE)

O edifício da Comissão Permanente de Vestibular e Exames (COPEVE) da UFV é um edifício construído com o intuito de abrigar as atividades de elaboração e correção de provas e exames aplicados por esta instituição. Por características funcionais, é um edifício que requer um alto grau de sigilo e segurança.

Este edifício é composto essencialmente por salas de escritório, salas de elaboração e correção de provas, depósitos para grandes quantidades de papéis, além de sanitários, depósitos e garagem.

O projeto arquitetônico localizado durante o levantamento das informações sobre o edifício consiste de um projeto básico, sem detalhamento executivo, que previa a construção de três pavimentos, a colocação de *brises soleil* nas fachadas e de estrutura metálica aparente. No entanto, no primeiro contato com o edifício observou-se a ausência dos dispositivos de proteção solar, a estrutura de aço revestida externamente e a construção do terceiro pavimento apenas na zona central do edifício. Isso evidencia um quadro de grandes alterações das informações previstas no projeto inicial para o que foi executado, sendo que estas mudanças não constam de documentos formalizados sobre a obra.

O Edifício da COPEVE possui duas alas e um corpo central composto por circulação vertical e sala de recepção. Na Figura 4.20 mostra-se uma planta baixa esquemática do pavimento térreo do edifício, que possui garagem interna e serviços administrativos. No corpo central, distribuem-se sanitários, circulação vertical (escadas e elevador) e recepção.

A estrutura do edifício é formada por lajes mistas e vigas e pilares compostos por perfis de aço soldado de seção I, constituindo um reticulado espacial com diafragmas rígidos e ligações flexíveis entre os elementos estruturais. O projeto original previa a colocação de contraventamentos nas duas direções principais da estrutura para garantir a estabilização horizontal da mesma. Parte das ligações entre pilares e vigas é parafusada e parte é soldada. Possui laje mista com fôrma de aço incorporada tipo “steel deck” e vigas mistas que utilizam conectores de cisalhamento tipo pino com cabeça.



Figura 4.20 – Planta tipo (esquemática do pavimento térreo) do Edifício da COPEVE.

Dadas às modificações introduzidas na execução, os elementos de contraventamento previstos no projeto original foram retirados com o objetivo de evitar as interferências destes com o fechamento vertical. Em função disso, decidiu-se por revestir parcialmente os pilares de aço com concreto, com o intuito de provocar um efeito de estabilização equivalente ao sistema de contraventamento.

Na Figura 4.21 apresenta-se uma vista aérea do terreno de implantação do Edifício da COPEVE, além de uma vista externa do edifício.



Figura 4.21 – Vistas do Edifício da COPEVE.
(a) vista aérea (Fonte: <http://www.google.com.br>); (b) vista externa.

O fechamento externo do edifício foi executado com painéis horizontais de concreto celular autoclavado revestidos com argamassa e pintura. Para fins de adequação dos panos de alvenaria aos requisitos de estabilidade foram construídos pilaretes de concreto armado (Figura 4.22). As vigas de aço foram revestidas externamente com placas de fibrocimento, o que ocultou a estrutura nas fachadas.



Figura 4.22 – Imagens da construção do Edifício da COPEVE.
(a) Vista externa; (b) vista interna.

As ligações entre o fechamento vertical e a estrutura de aço foram executadas de acordo com um detalhe típico fornecido pela empresa fabricante dos painéis, o que não foi localizado junto aos documentos de projeto disponíveis.

A cobertura é composta por telhado de duas águas embutido em platibandas. Foram utilizadas telhas de aço galvanizado fixadas sobre treliças metálicas, com calhas nas laterais.

4.3.1 Identificação das Manifestações Patológicas no Edifício da COPEVE

Os estudos sobre o Edifício da COPEVE foram iniciados no ano de 2006 pelo grupo de pesquisas em estruturas metálicas e mistas do DEC/UFV, ao qual o autor do presente trabalho está vinculado. Parte da investigação sobre este edifício pode ser vista em Albrecht, *et al.* (2008). Ao longo do ano de 2008 foi realizada uma nova vistoria externa e interna.

Com base nas informações de usuários do edifício foi constatado que as principais queixas se referiam à entrada de água pluvial no interior do edifício e à presença de umidade em algumas paredes. Com base na metodologia proposta, iniciou-se a inspeção pela cobertura a fim de verificar as condições do sistema de escoamento de águas pluviais.

A partir da verificação das condições dos elementos da cobertura, como calhas e tubos de queda, foram constatados vazamentos provenientes de falhas de execução que permitem que as águas das chuvas passem para a superfície da laje de cobertura, que não conta com nenhum tipo de impermeabilização. Parte desses vazamentos foi causada pela deposição de restos de argamassa sobre as telhas de aço.

Foram detectados processos de corrosão nos calços das treliças metálicas dos telhados embutidos, o que confirma a entrada de águas pluviais através da cobertura (Figura 4.23a). Verificou-se que esta água que incide sobre a laje de cobertura penetra nos ambientes internos através de frestas da estrutura de aço e se propaga aleatoriamente através das interfaces entre alvenaria e estrutura, aparecendo em diversos outros ambientes do edifício.

A alternativa adotada para a fixação dos coletores horizontais de água pluvial está em desacordo com as boas práticas de projeto e execução. Estes elementos não

possuem apoios intermediários que assegurem uma declividade uniforme, já que na sua execução foram utilizados apoios improvisados como tijolos, arames e pedaços de madeira. Na Figura 4.23b apresenta-se um detalhe de ligação do coletor horizontal de águas pluviais, executada com o aquecimento das partes.



Figura 4.23 – Detalhes de execução da cobertura.
(a) calços sob a treliça metálica; (b) vazamento em um coletor horizontal de águas pluviais.

Verificou-se que foram colocados calços apenas na treliça metálica que se situa na linha de centro da laje de cobertura. Tendo em vista que o objetivo da colocação destes dispositivos, de aproximadamente 90 milímetros de altura, foi o nivelamento do banzo inferior da treliça, tem-se uma indicação da grande magnitude dos deslocamentos verticais da laje de cobertura.

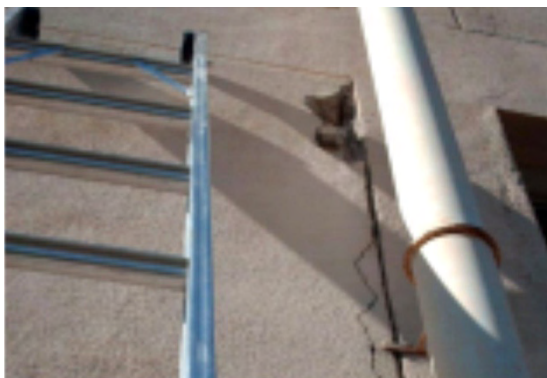
Durante a inspeção do edifício foi constatada uma grande quantidade de fissuras nas paredes internas e externas.

Os painéis horizontais de concreto celular autoclavado foram fixados à estrutura por meio de um sistema que tem por finalidade permitir pequenas movimentações diferenciais em seu plano (Figura 4.24), promovendo a desvinculação do fechamento. O sistema utilizado se caracteriza como uma alvenaria desvinculada. De acordo com as inspeções realizadas, não houve constância na execução de todas as interfaces entre estrutura metálica e fechamento externo. Tanto nos locais onde foi executada a desvinculação entre estrutura e fechamento, quanto nos locais onde essa solução não foi utilizada, o fechamento externo apresenta fissuras de diferentes configurações.



Figura 4.24 – Sistema de desvinculação entre a estrutura e o fechamento.

Observou-se, portanto, a ausência de uma uniformidade na execução das ligações entre a alvenaria e a estrutura de aço. Em alguns casos, foram executadas ligações desvinculadas e em diversos locais fez uso de ligações vinculadas. Como consequência desta variação de soluções observaram-se distintas configurações de fissuras nas interfaces entre estrutura e fechamento externo. Foram detectadas fissuras predominantemente verticais, sendo parte com traçado linear e bem definido, e outras com escamas (Figura 4.25a). Na parte interna do edifício, nos locais correspondentes às fissuras identificadas externamente, verificou-se uma constante entrada de águas pluviais, deposição de mofo, eflorescências nos revestimentos e corrosão da estrutura de aço (Figura 4.25b).



(a)



(b)

Figura 4.25 – (a) Fissuração vertical sistemática nas interfaces entre estrutura-fechamento; (b) vista interna do canto superior de uma parede do fechamento externo

A alvenaria de blocos de concreto que circunda a caixa d'água do edifício, situada no último pavimento, apresenta fissuras inclinadas dos dois lados da parede.

Durante as vistorias realizadas ao longo do ano de 2006 constatou-se que as mesmas haviam sido recentemente “grampeadas” de um dos lados. Em vistorias recentes verificou-se que estas fissuras haviam se propagado, apesar da tentativa de tentar contê-las. Internamente, existe um quadro de fissuração sistemática na horizontal, com cerca de 2,40 metros, o que coincide com a emenda das placas de gesso acartonado (Figura 4.26).

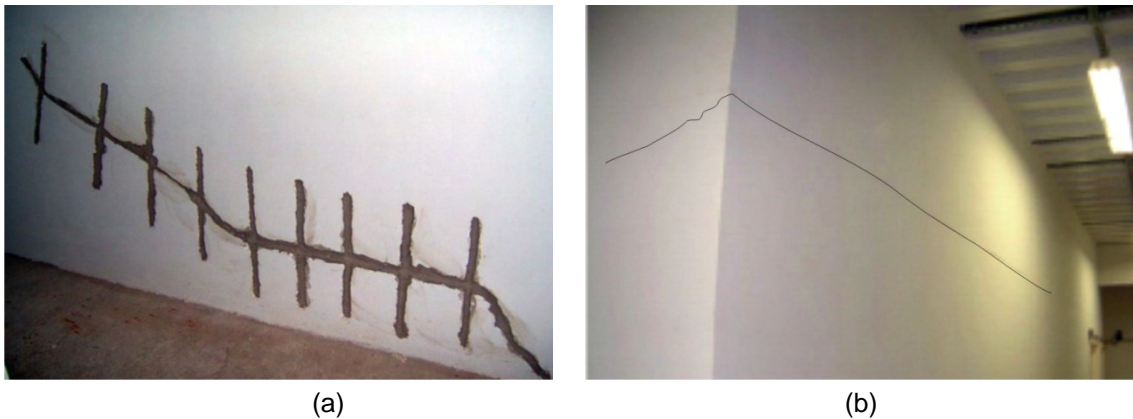


Figura 4.26 – Fissuras nas paredes internas do edifício.

(a) Fissura na alvenaria do último pavimento; (b) fissura horizontal (destacada) sistemática nos fechamentos internos.

Na vistoria dos fechamentos externos verificou-se que as placas de fibrocimento utilizadas como revestimento das vigas de aço foram fixadas à estrutura por meio de elementos metálicos e sobre as mesmas foi aplicada uma camada de argamassa de revestimento. No encontro entre a placa e o revestimento de argamassa do fechamento externo foi executada uma junta de movimentação horizontal tratada com silicone.

Nas proximidades das juntas horizontais observou-se a existência de uma fissuração horizontal sistemática. Como as placas de fibrocimento possuem comprimento limitado, no encontro vertical entre estas placas também foram identificadas várias fissuras. Conforme também verificado, o silicone utilizado no tratamento das juntas de movimentação perdeu aderência com o substrato e pôde ser facilmente retirado dos locais de aplicação (Figura 4.27).



Figura 4.27 – Fissuras nas paredes externas do edifício.
 (a) Fissuração sistemática nas proximidades da junta de movimentação horizontal na região de colocação das placas de fibrocimento; (b) descolamento do silicone das juntas de movimentação horizontais.

Na região destas juntas observou-se uma grande presença de umidade o que causou o descascamento da camada de pintura do revestimento, além do acúmulo de fungos e mofos. A partir da remoção de uma parte pequena das placas de fibrocimento para verificação do estado de deterioração da viga de aço foi constatada a existência de zonas de corrosão nas mesas e na alma dos perfis. Além das zonas de corrosão, verificou-se a existência de água empoçada nestes elementos com odor desagradável, o que indica a constante presença de umidade. No esquema mostrado na Figura 4.28 indicam-se os pontos de entrada de água na fachada do edifício e a formação de um micro clima favorável à deterioração das vigas de aço, visto que após a infiltração da água existe grande dificuldade de escoamento e evaporação.

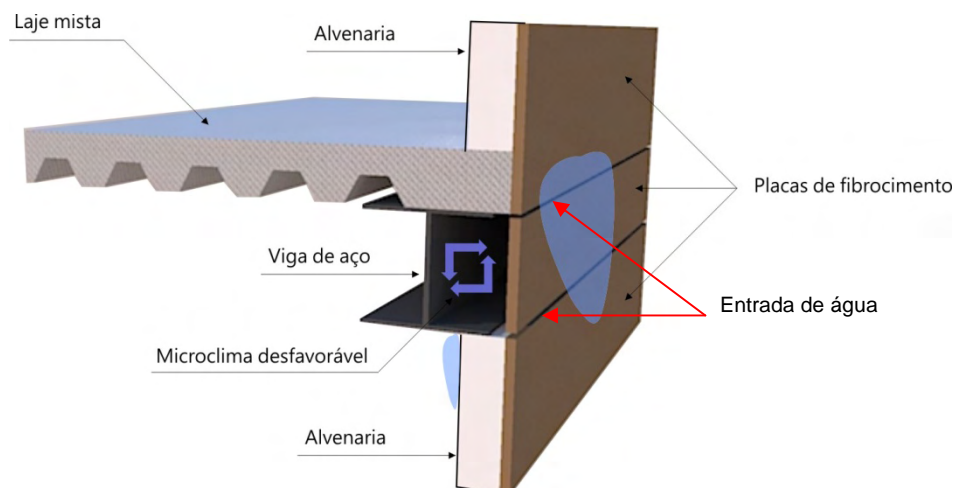


Figura 4.28 – Detalhe do revestimento das vigas de aço com placas de fibrocimento.

Parte da água que incide nas paredes externas passa ao interior do edifício e outra parte fica retida na região entre as placas de fibrocimento e a estrutura de aço, criando condições favoráveis à instalação e propagação da corrosão. Além disso, as

placas impossibilitam que os usuários do edifício identifiquem o problema, dificultando sua manutenção.

Os deslocamentos verticais excessivos em uma estrutura devem ser verificados para a sua condição de serviço, visto que podem ser prejudiciais ao desempenho de outros elementos a ela ligados, como fechamentos, pisos e esquadrias. Durante a vistoria realizada foram detectados deslocamentos horizontais de grande magnitude na laje do terceiro pavimento, que suporta os telhados embutidos. Segundo informações dos usuários, em dias de chuva a água que penetra no edifício através da cobertura fica empoeçada na laje de piso do depósito, localizado no terceiro pavimento.

Existem evidências de que parte das fissuras que se apresentam nos fechamentos verticais do edifício tem como causa a retirada dos contraventamentos previstos no projeto original. A utilização de pilares de aço parcialmente revestidos com concreto no local não promoveu o enrigecimento horizontal à estrutura, equivalente ao que seria proporcionado pelo contraventamento, permitindo assim, a ocorrência de solicitações horizontais nocivas aos fechamentos verticais. Este efeito é sentido em todo o edifício, sendo ainda mais contundente no terceiro pavimento.

Albrecht *et al.* (2008) apresentam uma avaliação dessa estrutura quanto aos deslocamentos horizontais, em condições de serviço. Modelagens computacionais permitiram a avaliação da estrutura com e sem elementos de contraventamento. De acordo com os resultados deste estudo, os deslocamentos horizontais máximos da estrutura executada superam os valores limites prescritos pela NBR 8800 (ABNT, 1986), para os casos de vento considerados, o que não ocorreria para a estrutura do projeto original, que possuía os contraventamentos.

Durante a vistoria verificou-se também a existência de furos em vigas e chapas de ligação, indicando a previsão inicial de execução de ligações parafusadas em toda a estrutura. No entanto, em alguns locais, verificou-se a utilização de solda com o abandono das furações feitas em fábrica. Em algumas ligações observa-se que o elemento estrutural foi emendado no local da obra. Os furos entre a chapa de ligação e a viga metálica estão desalinhados e a furação foi abandonada devido à adoção de ligação soldada no local.

No Quadro 4.3 apresenta-se uma síntese das características dos ambientes do Edifício da COPEVE e as manifestações patológicas identificadas.

Quadro 4.3 – Síntese dos resultados obtidos na vistoria do Edifício da COPEVE.

AMBIENTE TIPO	CARACTERÍSTICAS	MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS
Áreas secas	<ul style="list-style-type: none"> – Acúmulo de grandes cargas concentradas nas lajes devido a depósitos de papel – Grandes aberturas sem dispositivo de proteção solar 	<ul style="list-style-type: none"> – Fissuras verticais e horizontais nos fechamentos verticais – Presença de umidade – Corrosão dos elementos da estrutura de aço – Deslocamentos excessivos
Áreas úmidas	<ul style="list-style-type: none"> – Relação Aj/At, próximas a 1/6 – Sem presença de elementos de proteção solar – Possuem ventilação cruzada no caso da porta ser mantida aberta 	<ul style="list-style-type: none"> – Fissuras verticais e horizontais nos fechamentos verticais – Presença de umidade – Corrosão dos elementos da estrutura de aço – Descolamento de revestimentos
Área de Circulação	<ul style="list-style-type: none"> – Isentos de janelas 	<ul style="list-style-type: none"> – Fissuras verticais e horizontais – Presença de umidade – Elementos e arremates inacabados

Nota: a relação “Aj/At” se refere a razão entre a área total de janelas do ambiente e a área total do piso do mesmo ambiente.

Com base nas vistorias realizadas, observa-se que, de um modo geral, foram detectadas importantes deficiências na estrutura de aço do edifício. Grande parte dos problemas nos fechamentos verticais surge em função da grande deslocabilidade horizontal e vertical da estrutura de aço. A falta de tratamento adequado para as ligações entre a alvenaria e a estrutura de aço permite a entrada de água no edifício através das paredes das fachadas. Além disso, a falta de uma manutenção adequada faz com que problemas simples, como a entrada de água através da cobertura, ganhem maiores proporções, interferindo, de maneira importante, no uso do edifício e levando a um conjunto de problemas patológicos.

4.4 EDIFÍCIO DO CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS (CCE)

O Edifício do Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas (CCE) da UFV é um edifício construído com o intuito de abrigar a estrutura departamental de alguns cursos ligados à área de Ciências Exatas e Tecnológicas.

O edifício abriga basicamente instalações necessárias ao funcionamento de departamentos acadêmicos, como gabinetes de professores, secretarias, salas de reuniões e depósitos diversos. Além disso, dispõe de salas de aula e laboratórios de pesquisa. O projeto arquitetônico foi praticamente adaptado a partir de outros edifícios em estrutura de concreto armado já construídos na UFV.

O edifício do CCE possui planta predominantemente retangular, com circulação horizontal feita por meio de um corredor central, ligando longitudinalmente os ambientes, criando assim, duas alas paralelas. Verticalmente, a circulação é feita por escada interna de dois lances paralelos por pavimento. Além disso, possui elevador para a acessibilidade de portadores de necessidades especiais e duas escadas laterais externas de emergência (Figura 4.29).

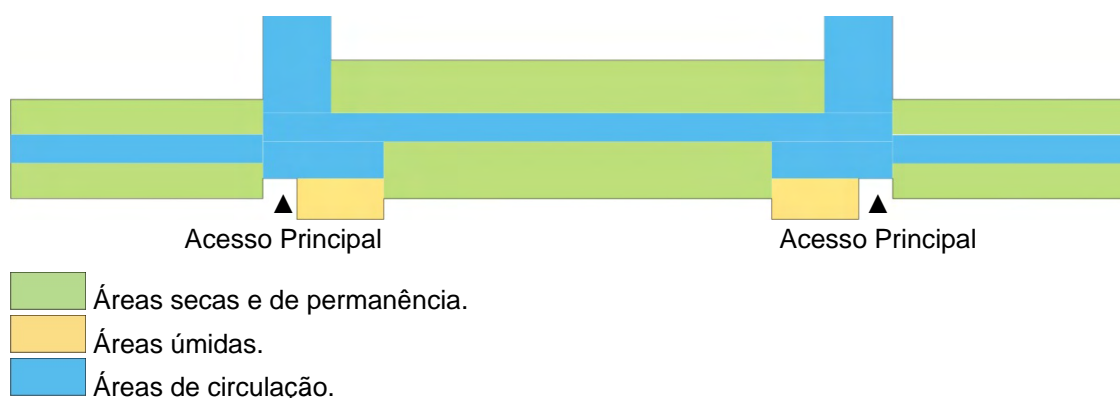


Figura 4.29 – Planta tipo (esquemática do pavimento tipo) do Edifício do CCE.

A estrutura do edifício é formada por lajes mistas e vigas e pilares compostos por perfis de aço soldados de seção I e é estabilizada por pórticos planos contraventados dispostos nas duas direções principais. Possui lajes mistas com fôrma de aço incorporada do tipo “steel deck” e vigas mistas que utilizam conectores de cisalhamento tipo pino com cabeça. Os contraventamentos em forma de delta foram dispostos no mesmo plano da estrutura, contudo em um plano externo à alvenaria. Os contraventamentos estão presentes nas fachadas frontal, fundos e das laterais. Toda a estrutura de aço não revestida do edifício foi protegida com pintura.

Na Figura 4.30 apresenta-se uma vista aérea do Edifício do CCE além de uma vista externa.



Figura 4.30 – Vistas externas do Edifício do CCE.
(a) Vista aérea (Fonte: <http://www.google.com.br>); (b) vista externa.

O fechamento externo do edifício é composto por alvenaria aparente de tijolos cerâmicos laminados com furos verticais. O mesmo sistema é usado nos halls e conjunto de escadas internas do edifício. As demais paredes internas do edifício são compostas por tijolos tipo lajota com furos horizontais, revestidos por argamassa e pintura. As fachadas possuem dispositivos de proteção solar tipo *brise soleil* em concreto armado, de formato retangular vazados e estes elementos são fixados às vigas de bordo que se projetam além da fachada.

A cobertura é composta, em parte, por telhados de duas águas embutidos em platibandas. Foram utilizadas telhas de aço galvanizado fixadas sobre treliças metálicas, com calhas nas laterais. A outra parte é composta por lajes, sendo que um setor dessa é impermeabilizado com manta asfáltica e o outro não possui camadas destinadas à impermeabilização.

Na Figura 4.31 são mostradas imagens da construção do CCE na etapa de montagem da estrutura.

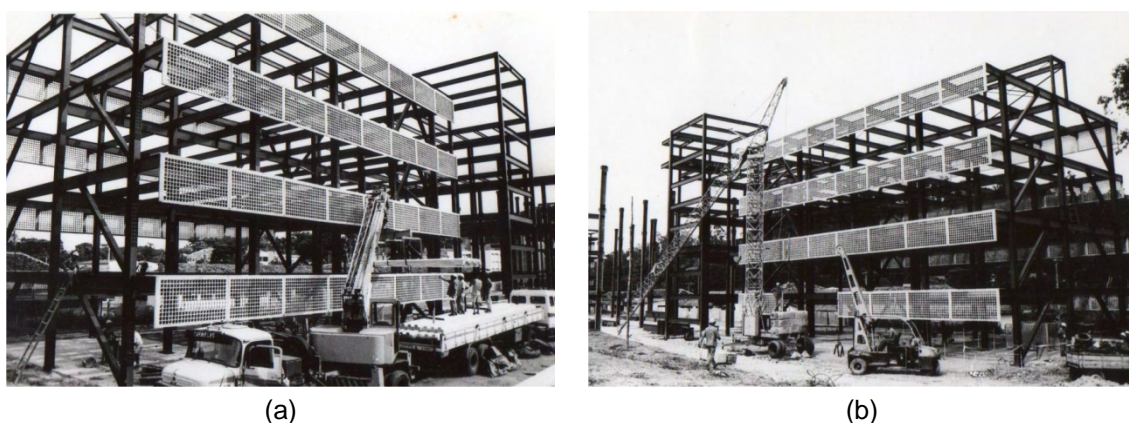


Figura 4.31 – Fixação dos *brises soleils* das fachadas na etapa de construção.

4.4.1 Identificação das Manifestações Patológicas no Edifício do CCE

Com base na metodologia proposta iniciou-se a inspeção do edifício, levando-se em conta que a queixa mais freqüente dos usuários era a entrada de água no interior do mesmo.

A partir da inspeção técnica observou-se que as manifestações patológicas mais importantes detectadas no edifício são causadas pela entrada de água através da cobertura e dos fechamentos verticais.

Desde que foi executada, a laje sobre a região dos halls de entrada e caixas de escadas internas não possuía nenhum tipo de telhado e também não contava com nenhum tipo de impermeabilização. As águas pluviais que incidiam sobre esta laje penetravam nos ambientes internos do edifício através de frestas e das juntas de dilatação da estrutura de aço e se propagavam aleatoriamente (Figura 4.32).



Figura 4.32 – Registros de águas de chuva no interior do edifício.

No ano de 2008 foi realizada a primeira intervenção no edifício com o objetivo de sanar a entrada de água no mesmo através da cobertura. A solução adotada foi a construção de um novo telhado em forma de arco, com treliça e telhas metálicas, sobre a região dos halls de entrada e caixas de escadas internas (Figura 4.33).



Figura 4.33 – Recente telhado instalado sobre parte do edifício para evitar a entrada de água através da cobertura.

Nas fachadas do edifício, a laje de cada pavimento avança um pouco além da extremidade da parede. A água pluvial que incide sobre a fachada fica parcialmente retida nesta pequena borda, assim como aparece uma zona de respingo próximo ao pé da parede, que provoca a sua deterioração. No esquema mostrado na Figura 4.34 pode-se observar a zona de respingo na alvenaria externa e as zonas de retenção de água pluvial.

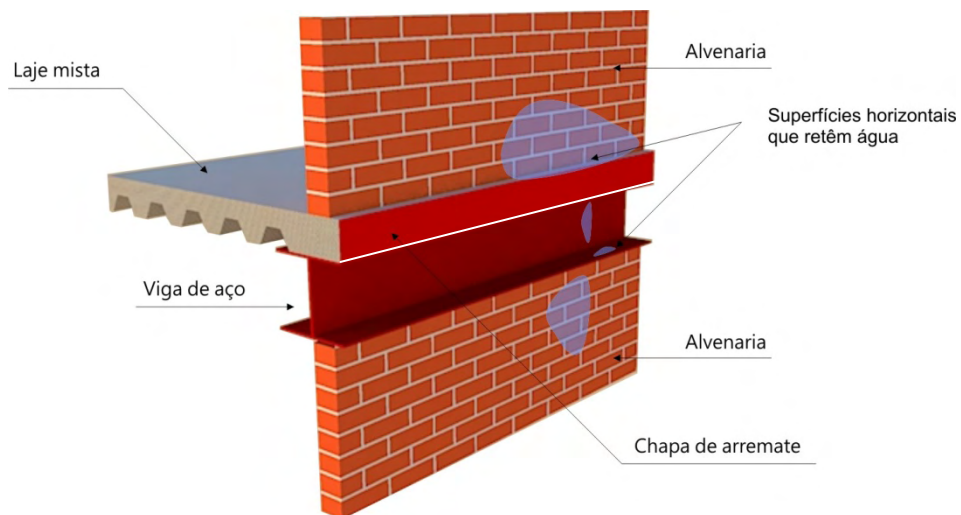


Figura 4.34 – Principais zonas de retenção de água nas paredes das fachadas.

A água pluvial que atinge as fachadas também fica retida na superfície externa das vigas e pilares de aço, provocando a concentração de fungos e mofo nos mesmos. Em decorrência da retenção da água pluvial nos elementos estruturais e da contínua presença de umidade, foram detectadas diversas zonas de corrosão na estrutura de aço.

Parte da água que incide sobre as paredes externas penetra no interior do edifício pelas frestas entre a chapa de arremate lateral da laje mista de cada pavimento e a mesa superior da viga de aço, criando zonas de corrosão na parte externa e interna desta região (Figura 4.35).



Figura 4.35 – Zonas de corrosão externa e interna próximas às paredes das fachadas.

Também foram observadas zonas de corrosão na região das bases dos pilares de aço. A água pluvial fica retida próximo ao pé do pilar ou sobre enrijecedores colocados no perfil de aço, onde não existem furos que permitam o escoamento desta água (Figura 4.36). Ao longo do tempo desenvolvem-se fungos e mofos, o que contribui para a retenção da umidade e cria condições propícias para o desenvolvimento da corrosão.



Figura 4.36 – Presença de fungos, mofos e corrosão na base de um pilar.

Nas entradas de acesso ao edifício notou-se que as fachadas estão diretamente expostas às águas de chuva, o que provocou a deterioração das zonas inferiores das esquadrias metálicas do edifício.

Durante a vistoria também foram observados outros pontos de corrosão em elementos externos do edifício que não possuem proteção contra intempéries. A estrutura de sustentação das escadas laterais externas, por exemplo, apresenta um avançado estado de corrosão (Figura 4.37).



Figura 4.37 – Deterioração da escada lateral externa do edifício.
(a) Corrosão devido à exposição ambiental dos degraus e do patamar; (b) corrosão da viga de aço e da chapa de arremate.

No Quadro 4.4 apresenta-se uma síntese das características dos ambientes do Edifício do CCE e as manifestações patológicas identificadas.

Quadro 4.4 – Síntese dos resultados obtidos na vistoria do Edifício do CCE.

AMBIENTE TIPO	CARACTERÍSTICAS	MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS
Áreas secas	<ul style="list-style-type: none"> – Corrosão de elementos metálicos de vedação em contato com o solo. – Ausência de elementos de proteção à intempéries. 	<ul style="list-style-type: none"> – Corrosão das interfaces entre chapas de arremate e a mesa superior da viga de aço.
Áreas úmidas	<ul style="list-style-type: none"> – Corrosão de elementos metálicos de vedação em contato com o solo. – Ausência de elementos de proteção à intempéries. 	<ul style="list-style-type: none"> – Corrosão das interfaces entre chapas de arremate e a mesa superior da viga de aço. – Presença de umidade.
Área de Circulação	<ul style="list-style-type: none"> – Elementos estruturais de aço expostos à intempéries. 	<ul style="list-style-type: none"> – Corrosão de elementos metálicos expostos à intempéries. – Presença de umidade.

Nota: a relação “Aj/At” se refere a razão entre a área total de janelas do ambiente e a área total do piso do mesmo ambiente.

Com base na vistoria realizada, observa-se que, de um modo geral, a estrutura do edifício apresenta um bom desempenho construtivo e estrutural. No entanto, as manifestações patológicas mais importantes identificadas na estrutura de aço são

provocadas a partir da entrada de água através da cobertura e da interface entre a laje e a mesa superior da viga de aço em cada pavimento. A falta de intervenção nestes problemas pode contribuir para a diminuição da vida útil de diversas regiões do edifício.

4.5 SÍNTESE DAS AVALIAÇÕES NOS EDIFÍCIOS

Na avaliação dos edifícios selecionados notou-se que a maioria das manifestações patológicas são causadas a partir da entrada de água através da cobertura e do fechamento vertical.

As manifestações típicas identificadas se propagam por meio de dois mecanismos:

- corrosão;
- deterioração dos fechamentos.

Estas manifestações não foram causadas por falta de desempenho da estrutura de aço em si.

As situações analisadas mostram que para se utilizar adequadamente uma estrutura de aço é indispensável tratar o sistema de fechamento como parte de uma cadeia de procedimentos que compõe o projeto executivo de edifícios. Nas situações onde se dispõe de um projeto executivo com detalhes para execução dos fechamentos observa-se que existem menores impactos das movimentações estruturais nestes sistemas. Os detalhes que promovem desvinculação entre a estrutura e o fechamento podem ser considerados mais adequados.

Alguns outros problemas patológicos detectados relativos à estabilidade estrutural têm causas intrínsecas no projeto estrutural. Nestas situações, o projeto estrutural é o responsável por promover a estabilidade do sistema estrutural e de garantir que os deslocamentos de elementos estruturais estejam dentro de limites estabelecidos por normas técnicas. Isto previne que o sistema de fechamento seja afetado por solicitações para as quais não foi dimensionado.

Normalmente, os problemas detectados são atribuídos à estrutura de aço, como tecnologia construtiva. Em síntese, esses problemas contribuem decisivamente para uma má percepção da construção metálica.

5

Projeto de Alvenaria de Fechamento: Proposta Metodológica e Aplicações

No contexto da construção industrializada, a execução de alvenarias de fechamento tem sido considerada um entrave à racionalidade dos procedimentos construtivos. Em muitos casos, a ausência de metodologias para o projeto de alvenaria conduz a soluções arbitrárias que apresentam baixo desempenho construtivo quanto à durabilidade.

Neste capítulo apresenta-se uma proposta de metodologia para projetos de alvenaria de fechamento tipicamente utilizada em edifícios em estrutura de aço, com o objetivo de garantir um bom desempenho deste sistema, tendo em vista as deficiências encontradas nos estudos de caso apresentados no Capítulo 4. Apresentam-se dois casos de aplicação da metodologia proposta em projetos de edifícios em estrutura de aço com fins institucionais.

5.1 PROPOSTA DE METODOLOGIA PARA PROJETOS DE ALVENARIA

A alvenaria de fechamento nos edifícios em estrutura de aço normalmente não requer um projeto estrutural e é responsável pela proteção do edifício contra agentes externos (chuva, vento, etc.) e pela compartimentação de ambientes internos.

Com base nos estudos de caso apresentados no Capítulo 4, sobre edifícios em estrutura de aço com fins institucionais, e na observação de diversas outras obras de tipologias semelhantes, constata-se que, embora as alvenarias de fechamento não sejam dimensionadas, são freqüentemente solicitadas por forças ou deslocamentos introduzidos nas interfaces com a estrutura de aço.

Nas construções metálicas de edifícios de andares múltiplos, certas características do sistema de alvenaria são fundamentais para a obtenção de um bom desempenho construtivo quanto à durabilidade.

As deficiências comumente encontradas nas alvenarias de fechamento em construções metálicas estão associadas a certas práticas negativas. Dentre as práticas negativas que afetam o desempenho dos sistemas de alvenaria, algumas são de ordem fundamental, isto é, estão relacionadas diretamente com princípios básicos do projeto de alvenaria, e outras de ordem específica, ou seja, relacionadas às especificidades de cada projeto.

Como práticas negativas para as alvenarias podem-se citar:

- em sua execução não são utilizados projetos, desta forma as soluções construtivas são executadas sem planejamento;
- são executadas por mão-de-obra pouco qualificada, sem a garantia de qualidade;
- não existe a previsão de inserção de sistemas contíguos na alvenaria;
- existe desperdício de materiais;
- falta controle na execução;
- dimensionamento estrutural inadequado;
- ausência de vergas e contravergas no entorno das aberturas;

- pouco controle de qualidade dos materiais utilizados;
- falta de consenso sobre as ligações entre os sistemas estrutural e de fechamento, principalmente nas ligações pilar-parede, viga-parede e contraventamento-parede.

Estas são, portanto, práticas que devem ser evitadas na execução das alvenarias de fechamento em edifícios em estrutura de aço. Com a tendência de utilização de estruturas cada vez mais deformáveis, a execução de uma alvenaria com base em práticas negativas provavelmente levará ao surgimento de manifestações patológicas.

Numa via oposta, pode-se entender a racionalização construtiva como a aplicação mais eficiente dos recursos em todas as atividades desenvolvidas na construção. Em se tratando de alvenarias, o campo onde se observa grande parte destes conceitos é o da execução das alvenarias estruturais. As diretrizes de projeto para edifícios com paredes auto-portantes são rígidas e muito criteriosas, haja vista que a alvenaria desempenha função estrutural. O que se busca neste trabalho é um entendimento semelhante para a prática das alvenarias não estruturais de fechamento.

As boas práticas de um projeto de alvenaria consideram fundamentalmente a condição de exposição ambiental dos componentes do fechamento e as interferências entre o sistema de alvenaria e os outros sistemas (arquitetura, estrutura e instalações em geral). Como práticas positivas para as alvenarias podem-se citar:

- realiza-se um planejamento prévio por meio de projeto de alvenaria;
- utilizam-se blocos certificados, preferencialmente com furos na vertical para facilitar a passagem de instalações;
- são executadas por mão-de-obra treinada para o devido fim;
- busca-se a máxima redução do desperdício de materiais;
- cuida-se da limpeza e organização do canteiro de obras;
- busca-se uma redução máxima do *re-trabalho*, ou seja, procura-se evitar improvisos.

Estas práticas positivas podem ser vistas como princípios fundamentais para a execução de uma alvenaria de fechamento. Antes de qualquer concepção projetual da

alvenaria é necessário garantir que estes princípios serão respeitados com o entendimento de que a sua negligência levará a uma proposta deficiente. Tendo em vista estes princípios, definem-se três etapas para o projeto de uma alvenaria de fechamento:

- 1) definição do sistema de fechamento em alvenaria;
- 2) compatibilização dos projetos executivos;
- 3) elaboração do projeto e detalhamento propriamente dito.

5.1.1 Diretrizes para definição do sistema de fechamento em alvenaria

A primeira etapa a ser considerada no projeto de alvenaria é a concepção do fechamento. Portanto são necessários tratar dos seguintes itens:

A) Definição da tipologia

Este é o critério inicial fundamental, pois todas as considerações do projeto serão baseadas nesta opção. Neste momento é necessário definir conceitualmente o aspecto que se pretende dar à alvenaria, como por exemplo, se será aparente, se será revestida, se obedecerá a um sistema padronizado, etc.

B) Definição dos componentes

Deve-se escolher o bloco a ser utilizado dando preferência às “famílias” de blocos, isto é, aos conjuntos de blocos que possuem tipologias diferentes capazes de adequar a alvenaria a diversas situações como, por exemplo, os blocos de canto e os blocos compensadores, ambos com o intuito de se evitar cortes no local da obra.

C) Definição dos critérios de estabilidade

A partir das dimensões dos vãos e dos materiais da alvenaria devem ser definidos requisitos quanto à estabilidade do fechamento. Os seguintes critérios devem ser observados:

- a altura efetiva da alvenaria entre os elementos estruturais superiores e inferiores;

- o deslocamento máximo admissível para o caso de bordo livre;
- a espessura do bloco/elemento da alvenaria;
- a esbeltez limite para a alvenaria.

D) Definição das dimensões máximas dos panos

São restrições quanto às dimensões máximas dos painéis contínuos. Devem ser definidas em função de efeitos térmicos, da rigidez das ligações e da estabilidade da alvenaria.

E) Avaliação dos efeitos térmicos

Principalmente para as alvenarias de comprimento elevado, deverão ser previstas juntas de controle para garantir a integridade das alvenarias. Para o posicionamento das juntas de controle consideram-se os seguintes aspectos:

- deslocamentos da estrutura;
- materiais constituintes da alvenaria;
- módulo de elasticidade da alvenaria;
- amplitude térmica da região;
- vinculação da alvenaria;
- dimensões dos painéis da alvenaria.

5.1.2 Verificação da compatibilidade dos projetos executivos

A necessidade de compatibilização de projetos tem sido demonstrada atualmente em várias publicações, sendo parte delas ligadas à área de Engenharia de Produção. A compatibilidade pode ser definida como atributo do projeto, cujos componentes dos sistemas ocupam espaços que não conflitam entre si e, além disso, os dados compartilhados têm consistência e confiabilidade até o final do processo de projeto e obra.

A atividade projetual engloba o exercício profissional de diversas disciplinas que se utilizam da descrição gráfica e escrita para definir as características dos mais diversos tipos de serviços em uma obra. Logo, compatibilização de projetos é a atividade que

torna estas informações compatíveis, proporcionando soluções integradas entre as diversas disciplinas que tornam um empreendimento real.

A compatibilização de projetos compreende a atividade de sobrepor os vários projetos e identificar as interferências, bem como programar reuniões entre os diversos projetistas e a coordenação, com o objetivo de resolver interferências que venham a ser detectadas.

No contexto do fechamento para edifícios em estrutura de aço, a compatibilização de projetos tem o papel fundamental de evitar improvisos nas soluções adotadas, o que normalmente tem levado a incertezas ou a um mau desempenho construtivo.

Portanto, antes de se iniciar um projeto de alvenaria é indispensável que os projetos básicos estejam concluídos e com informações compatibilizadas, principalmente entre os projetos de arquitetura e de estrutura. Com bastante frequência, encontram-se medidas de ambientes e elementos discordantes entre esses projetos, de forma que o projeto executivo de alvenaria tem de se apoiar em referências concretas, dado ao detalhamento que o mesmo requer e à sua proximidade com a execução.

5.1.3 Seqüência de elaboração de um projeto de alvenaria

A seguir apresenta-se uma seqüência de elaboração de um projeto de alvenaria de fechamento.

A) Elaboração da Planta Chave

Denomina-se planta chave a planta baixa da edificação contendo apenas informações básicas necessárias ao posicionamento da alvenaria. Devem-se tomar elementos da planta baixa de arquitetura como paredes pré-dimensionadas, divisórias internas, pilares, vigas e projeções horizontais de elementos como passarelas e beirais além de se demarcar os eixos estruturais. Neste procedimento, se torna imprescindível verificar a compatibilidade entre os projetos de arquitetura e estrutural tendo em vista a necessidade da dimensão correta de elementos estruturais.

A partir destes elementos extraídos dos projetos de arquitetura e estrutural, devem-se enumerar as paredes. Preferencialmente, deve-se fazer esta numeração em

sentido horário dando prioridade às paredes externas, embora seja possível a adoção de outras formas de numeração. Com o intuito de caracterizar a numeração referente às paredes, pode-se utilizar o prefixo “PAR” em letra maiúscula antes do numeral que também deve ser escrito utilizando-se caracteres arábicos. Assim obtêm-se denominações de paredes do tipo “PAR01”, “PAR02”, etc., em seqüência crescente no sentido horário da planta.

Após a numeração das paredes, deve-se definir as posições para as juntas dos panos das alvenarias. Neste momento, é importante ter como base as diretrizes balizadoras de definição do sistema de alvenaria e as características específicas do projeto, como posição e dimensão dos pilares. Com estes critérios, define-se a posição, dimensões e quantidade de juntas e, conseqüentemente, tem-se a dimensão final de todos os panos de alvenaria.

Com base nas definições sobre as juntas, deve-se adicionar à nomenclatura adotada para as paredes uma notação para os intervalos de parede entre juntas. Desta maneira, sugere-se a adoção de letras latinas maiúsculas iniciadas pela letra “A”, seguindo a mesma seqüência crescente no sentido horário. Assim, tem-se como exemplo para a parede “PAR01” os intervalos “PAR01A”, “PAR01B”, “PAR01C”, representando as porções das paredes entre juntas.

Na planta chave é necessário definir a primeira e segunda fiadas da alvenaria. Primeiramente, devem-se verificar as dimensões padrões dos blocos ou tijolos e estabelecer o sentido de assentamento. Depois disso, deve-se acrescentar a espessura das juntas de controle e argamassa. É importante ressaltar que a dimensão final do conjunto bloco-argamassa a ser adotada corresponde, verticalmente, à altura do bloco mais a dimensão vertical de uma faixa de argamassa acima ou abaixo deste. No sentido horizontal deve-se tomar o comprimento do bloco mais a espessura da junta vertical de argamassa. Na Figura 5.1 é mostrado um esquema exemplificando a dimensão usual do conjunto tijolo-argamassa considerando a camada de argamassa abaixo e na lateral direita do bloco.

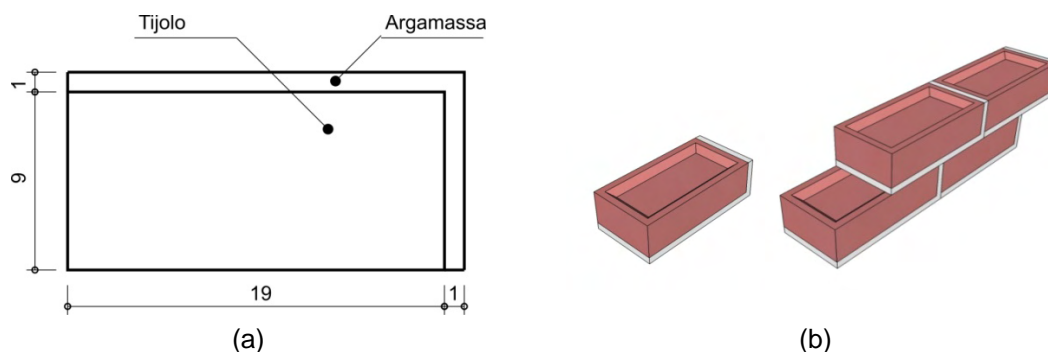


Figura 5.1 – Conjunto tijolo-argamassa.

a) Exemplo de dimensões de um conjunto; b) perspectivas do conjunto tijolo-argamassa em uma unidade isolada e em mais unidades.

Após definida a dimensão do conjunto, deve-se posicionar a primeira fiada com observância à quantidade e dimensão das juntas de controle pré-estabelecidas. Nas regiões próximas às juntas de controle podem-se admitir variações dimensionais para ajuste dos blocos e redução de quebras dos mesmos. Estabelecem-se a primeira e segunda fiadas. As fiadas posteriores são semelhantes a estas duas, de maneira que as fiadas ímpares são idênticas a primeira fiada e as pares, idênticas a segunda fiada. Este exercício necessita de um senso crítico do projetista, em busca das melhores posições para o conjunto.

B) Elevações frontais das paredes

Definida a planta chave fazem-se as elevações das paredes. As elevações são vistas ortogonais frontais das paredes. Para as paredes de fechamento preferencialmente são adotadas vistas externas, ou seja, com o observador posicionado externamente à edificação. É necessário demarcar na planta chave o sentido desta vista (comumente com uma seta apontada para a parede), com o intuito de não provocar uma má interpretação no momento da execução.

Deve-se tomar a dimensão das janelas e portas recorrendo-se ao projeto executivo de arquitetura, onde comumente é encontrado um quadro contendo as dimensões de portas e janelas. Ainda no projeto executivo de arquitetura tomam-se as dimensões verticais do edifício como pé-direito, altura das lajes, dos telhados e das platibandas.

Uma vez definidas as características geométricas, deve-se representar o pano de parede a partir de informações sobre sua largura, altura, pé-direito, posições das lajes e posições das aberturas, de acordo com o projeto executivo. Para cada abertura deve-se

definir a posição de vergas e contra-vergas e de que forma estas serão produzidas. A partir daí representa-se a primeira e segunda fiadas em vista, conforme estabelecido na planta chave. Segue-se o mesmo procedimento com as demais fiadas ímpares e pares.

Após definir a posição das fiadas em vista, tem-se uma idéia geral da parede e das posições dos blocos ou tijolos nas regiões das aberturas. Existe uma flexibilidade no projeto de alvenaria com relação à posição das aberturas. Assim, caso a borda inferior das janelas, por exemplo, coincida com o meio do tijolo, é possível que a sua posição seja alterada a fim de evitar um sucessivo número de quebras de tijolos. Este ajuste da posição das aberturas é necessário e deve ser feito sem o comprometimento de qualquer decisão projetual. De maneira geral, é conveniente que as aberturas coincidam com a modulação proposta com base na dimensão dos componentes.

C) Definição das juntas de controle

Tendo em vista os princípios a partir dos quais foram determinadas as juntas na etapa de definição do sistema de alvenaria, parte-se para o seu detalhamento.

Primeiramente é importante definir a função das juntas com base nas características dos panos de alvenaria formados. De maneira geral, o tratamento dado às juntas visa promover a desvinculação entre os panos de alvenaria, com o propósito de permitir os seus deslocamentos independentes. Portanto, com freqüência se recorrem à injeção de compostos flexíveis como o selante de poliuretano.

A padronização das soluções adotadas auxilia tanto na racionalização da execução de seus detalhes *in loco* quanto na compreensão do modo de tratamento das situações. Recomenda-se um máximo de três tipos de tratamento para as juntas de controle, tendo em vista a sua condição de exposição.

No caso das construções metálicas, é conveniente adotar juntas nas regiões dos eixos estruturais dos pilares. Dada a deslocabilidade prevista no projeto das estruturas de aço, as juntas nestes locais auxiliam na distribuição desses movimentos de maneira que, embora esta posição não seja obrigatória, é bastante desejável.

É conveniente a utilização de detalhes típicos para as juntas, isto é, a padronização da solução de tratamento. Isto se deve ao fato de que uma quantidade de detalhes diferentes aumenta a possibilidade de equívocos na obra. Assim, o que deve-se

buscar é uma relação entre as dimensões e materiais utilizados no tratamento das juntas, sem comprometer a sua trabalhabilidade.

No detalhamento das juntas deve-se utilizar desenhos em planta, vistas e cortes. As escalas mais indicadas para estes desenhos são 1:1, 1:2, 1:5, 1:10 e 1:20. Em detalhes específicos podem ser utilizadas escalas maiores, sem que se comprometa a compreensão destes. A marcação dos detalhes típicos é feita nas plantas chave e elevações frontais, por meio de um círculo que demarque a posição do detalhe. Pode-se utilizar uma notação abreviada, seguida de numeração, para identificar o detalhe como, por exemplo, “DET01”, “DET02”, etc. sendo necessário que todas as pranchas do projeto de alvenaria contenham os mesmos detalhes típicos, inclusive na mesma escala.

D) Definição das interfaces alvenaria-estrutura de aço

Como apresentado anteriormente, as ligações entre alvenaria e estrutura de aço devem ser definidas em função da quantidade e grau de vinculação entre estes dois sistemas. Devido à esbeltez dos elementos estruturais e aos seus deslocamentos horizontais, as ligações desvinculadas são tidas como preferenciais pelo fato de permitirem os deslocamentos independentes da estrutura em relação à alvenaria.

Desta forma, dos vários materiais disponíveis no mercado os mais indicados para a execução de ligações desvinculadas são os flexíveis, como os selantes e resinas. Contudo, a simples inserção destes materiais nas interfaces não garante uma ligação desvinculada. É necessário verificar a aderência do material de ligação com o aço e com a alvenaria. Além disso, é comum se utilizar de elementos de aço formados a frio para a produção de arremates mais precisos. É o caso, por exemplo, do encaixe de cantoneiras e perfis “U” formados a frio nas alvenarias, soldados à estrutura.

Da mesma forma que nas juntas de controle, é conveniente repetir as soluções nas diversas interfaces entre alvenaria e estrutura. É possível prever locais para utilização de ligações vinculadas, embora as ligações desvinculadas normalmente se mostrem mais eficientes. Na padronização das soluções é necessário prever a adaptação de um mesmo detalhe a diferentes situações, como por exemplo, no caso das posições diferentes das seções transversais dos pilares da fachada e o arremate para os pilares de canto.

As soluções das interfaces devem aparecer com uma notação de chamada para detalhes. Também devem-se utilizar escalas maiores para a melhor compreensão do desenho, estes devem aparecer em todas as pranchas do projeto de alvenaria.

E) Detalhamento da base

Somente depois de resolvidas todas as interfaces entre alvenaria e estrutura é que se deve fazer o detalhamento da base do edifício. Isso porque as dimensões finais dos elementos do pano da alvenaria terão influência no tratamento que se dá à base.

Primeiramente, devem-se avaliar quais elementos estão em contato com a base do edifício. De maneira geral, tem-se a primeira fiada de tijolos, mas os elementos como portas e janelas necessitam de um tratamento adequado, tendo em vista a necessidade de estanqueidade do sistema.

Dentre as condições de exposição às quais se submetem os elementos da base do edifício, dá-se destaque aos efeitos de umidade devido à proximidade com o solo. Pode-se dizer que a umidade na base pode estar relacionada com elementos construtivos, cuja forma permite o armazenamento de água, como águas pluviais, capilaridade e condensação e, por fim, a vazamentos no sistema hidráulico.

Para se prevenir os efeitos de umidade na base das alvenarias, normalmente se utilizam materiais impermeabilizantes nas fiadas inferiores da alvenaria. A utilização destes materiais deve ser feita a partir da especificação na planta chave e nas elevações frontais, podendo-se utilizar cortes e perspectivas anexas para ilustrar sua aplicação.

Caso as bases dos pilares estruturais estejam expostas externamente e em contato direto com o piso, pode-se recorrer a aplicações de materiais impermeabilizantes e à execução de uma base de concreto para o pilar. No caso da base, é aconselhável que esta tenha um caimento, como por exemplo, em uma seção trapezoidal. O intuito deste acabamento é proporcionar uma região de não armazenamento de água. Estes acabamentos devem ser acompanhados de detalhes em planta, em vista e até em perspectiva em escala adequada ao seu entendimento, tanto nas plantas chave, quanto nas elevações.

F) Detalhamento do cume

Pode-se entender por cume da alvenaria os elementos que compõem o arremate superior da mesma. De modo geral, quando a edificação possui uma cobertura aparente, o arremate superior da alvenaria tem uma exigência de acabamento menor, tendo em vista que a condição de exposição desta região é reduzida, pelo fato desta estar protegida pelo telhado. Assim, os cumes de alvenaria que merecem maior atenção por parte do projetista são os que aparecem em telhados embutidos, onde a região superior da alvenaria, denominada por platibanda, está exposta a intempéries.

Usualmente é conveniente se utilizar de elementos de arremate superior para a alvenaria, como por exemplo, elementos produzidos em concreto armado. É importante que a geometria destes elementos não promova o armazenamento de água pluvial. Neste sentido, as formas geométricas adotadas para estes elementos são aquelas que possibilitam caimento, como os vértices de sólidos de seções triangulares. Quando se opta pela utilização de elementos de aço para a produção dos arremates da platibanda, pode-se produzir elementos de perfis dobrados, de forma que estes cumpram as funções desejadas.

Na escolha do arremate superior é necessário observar as características da platibanda proposta, como a esbeltez, onde em alguns casos se faz necessária a utilização de vigas de bordo, ou como as movimentações mecânicas, onde é necessária a adoção de juntas. Comumente, se prolongam as juntas da própria alvenaria para os arremates superiores. O tratamento destas nestes locais deve ser definido por meio de detalhes específicos.

O detalhamento dos arremates superiores da alvenaria deve ser definido nas elevações, contudo é conveniente que estes estejam presentes também nas demais pranchas do projeto de alvenaria. Utilizam-se das escalas indicadas para a compreensão do elemento e de desenhos do tipo cortes, vistas e perspectivas, sempre demonstrando o sistema como um todo.

G) Detalhes especiais

Caso a alvenaria possua detalhes especiais, estes também devem ser representados nas pranchas do projeto. Elementos de ligação entre alvenaria e estrutura

devem ser devidamente dimensionados e detalhados, tendo sua influência no comportamento da estrutura.

Um exemplo de detalhe especial é a ligação entre a alvenaria de fechamento e as lajes. No dimensionamento dessas ligações, deve-se atentar para a influência do comportamento mecânico dos dois elementos, bem como quais movimentos serão permitidos pela ligação. Ainda assim, ressalta-se que as ligações por meio de elementos que promovam a desvinculação entre alvenaria e estrutura normalmente são mais eficientes, tendo como base os deslocamentos horizontais dos dois sistemas.

Os elementos especiais devem ser detalhados da mesma forma que os outros elementos. Procura-se utilizar escalas adequadas à sua compreensão e é conveniente que estes estejam disponíveis em todas as pranchas do projeto de alvenaria. Caso seja necessário, podem ser feitas especificações em relação aos materiais e às formas de execução dos elementos, por meio de tabelas ou quadros laterais contendo as informações.

Na Figura 5.2 apresenta-se uma seqüência de procedimentos que organiza as atividades de um projeto de alvenaria segundo a proposta metodológica. Os projetos executivos devem conter informações precisas e compatibilizadas para que se iniciem os procedimentos descritos. Também é necessário levantar todos os requisitos de projeto que irão ter implicações diretas nos sistemas de fechamento, como por exemplo, quando existe a necessidade de se aumentar a eficiência térmica do sistema de fechamento por meio da inclusão de camadas de isolamento.

Salienta-se que a produção dos desenhos executivos do projeto de alvenaria deve seguir, preferencialmente, a mesma leitura dos projetos executivos, isto é, quando possível, utiliza-se o mesmo rótulo nas pranchas, a mesma formatação de papel, de maneira que este seja apresentado como parte integrante dos documentos necessário a execução do edifício.

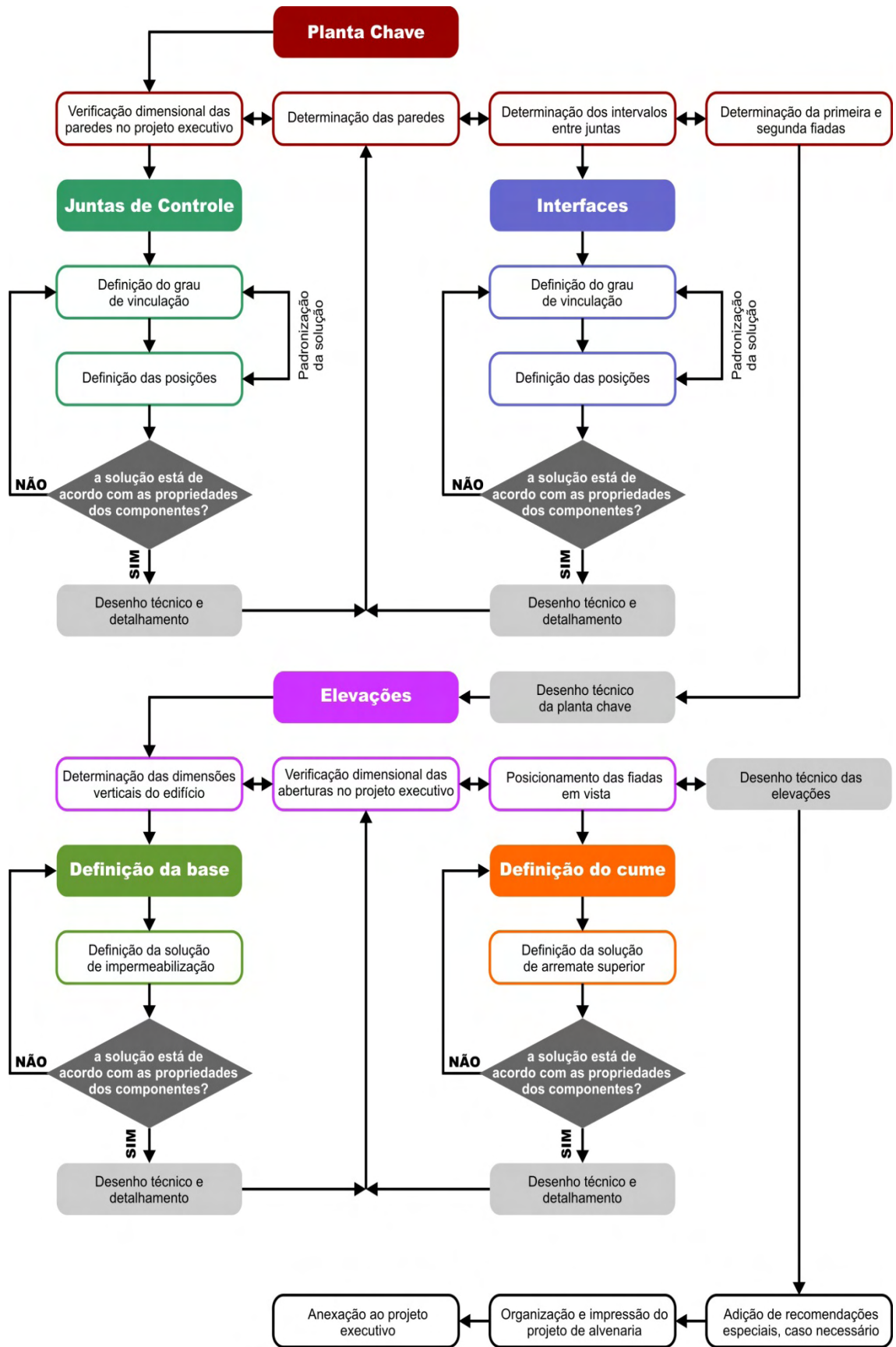


Figura 5.2 – Fluxograma das atividades que compreendem um projeto de alvenaria.

Pode-se organizar o projeto de alvenarias em seis documentos que contém desenhos de execução. Por meio de uma lista de conferência das atividades executadas tem-se um controle das informações que são necessárias a execução do sistema de fechamento de alvenaria. Segue-se uma lista de conferência de atividades:

- **Planta Chave**
 - Verificação dimensional das paredes no projeto executivo
 - Denominação numerada das paredes
 - Posicionamento das juntas e determinação dos intervalos nas paredes
 - Definição da primeira e segunda fiadas
 - Definição da primeira e segunda fiadas

- **Elevações**
 - Verificação dimensional das aberturas no projeto executivo
 - Determinação das dimensões verticais do edifício
 - Posicionamento das fiadas em vista
 - Desenho das vistas das paredes acertando as fiadas

- **Desenho técnico e detalhamento das juntas de controle**
 - Definição do grau de vinculação a ser proporcionado
 - Padronização da solução
 - Verificação da necessidade de soluções especiais
 - Denominação, posicionamento e detalhamento

- **Desenho técnico e detalhamento das interfaces**
 - Definição do grau de vinculação a ser proporcionado
 - Padronização da solução
 - Verificação da necessidade de soluções especiais
 - Denominação, posicionamento e detalhamento

- **Desenho técnico e detalhamento da base**
 - Definição da solução de impermeabilização
 - Verificação da compatibilidade desta solução com os outros sistemas
 - Detalhamento

- **Desenho técnico e detalhamento do cume**
 - Definição da solução de arremate superior da parede
 - Verificação da compatibilidade desta solução com os outros sistemas
 - Detalhamento

5.2 CASOS DE APLICAÇÃO

Tendo como base a metodologia proposta para o projeto de alvenaria de fechamento (item 5.1), apresentam-se dois casos de aplicação da mesma em edifícios de estrutura de aço com fins institucionais. Os edifícios selecionados fazem parte do conjunto de obras do Programa de Reestruturação e Expansão das Universidades Federais (REUNI), que estão em fase de implementação no Campus de Viçosa da UFV.

5.2.1 Projeto do Sistema de Fechamento em Alvenaria para o Edifício dos Laboratórios de Engenharia (UFV/2010)

O projeto arquitetônico do Edifício dos Laboratórios de Engenharia (LBE) prevê a construção de aproximadamente 4.800 m², distribuídos em três pavimentos nos quais localizam-se depósitos, laboratórios leves e pesados de engenharia, salas de aula e gabinetes de professores. Além disso, o edifício possui ambientes típicos para atender a infraestrutura de departamentos acadêmicos, com secretarias, salas de reunião e um auditório.

A concepção arquitetônica do projeto do edifício teve como motivação a produção de um sistema de fechamento em alvenaria utilizando-se uma parede externa a estrutura de aço. A intenção projetual é a proteção da estrutura pela sistema de fechamento a fim de se prevenir a ocorrência de manifestações patológicas ligadas à corrosão provenientes da exposição ambiental de elementos estruturais de aço. O sistema adotado foi inspirado nos sistemas *Masonry-Veneer* mostrado no Capítulo 2 deste trabalho.

Além da importância em se proteger a estrutura do edifício contra intempéries, desenvolve-se o conceito arquitetônico da estrutura de aço não aparente revestida por sistemas de fechamento em alvenaria aparente.

Na Figura 5.3 é mostrada a planta baixa esquemática do primeiro pavimento do Edifício LBE com a identificação dos panos de alvenaria de fechamento externo. A

divisão destes panos se deu em função dos eixos estruturais da estrutura. Os pilares de aço estão dispostos a cada 6 metros e nas interfaces destes com a alvenaria existe a necessidade da adoção de juntas de controle.

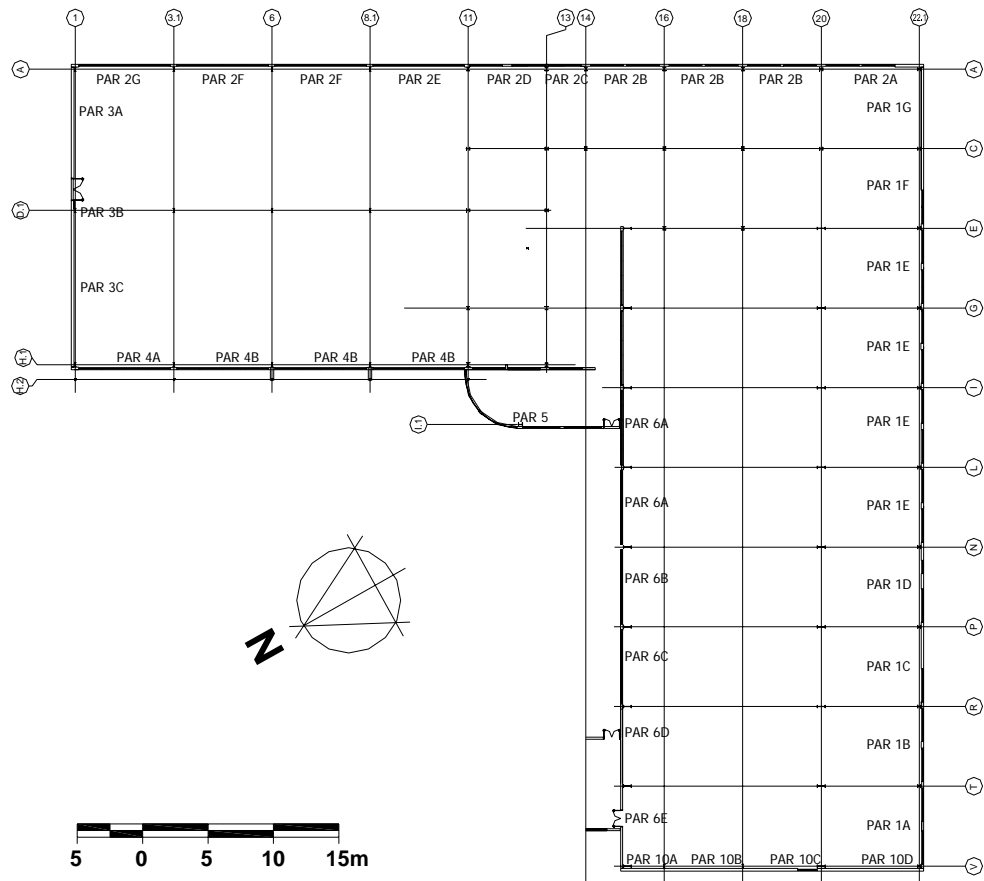


Figura 5.3: Planta baixa esquemática do projeto de alvenaria do Edifício LBE.

Com base nos aspectos citados, foram estabelecidas as seguintes diretrizes para a elaboração do projeto do sistema de alvenaria:

- **Tipologia da alvenaria**
 - Alvenaria aparente (revestida em algumas regiões)
 - Externa à estrutura de aço
 - Platibandas para embutimento dos telhados
 - Parede cortina (fechamento externo não interceptado pelas lajes)
- **Elementos da alvenaria**
 - Parede externa em tijolo “dobrado” (Figura 5.2)

- Dimensões do tijolo (19,0 x 9,0 x 5,7)cm
- Vergas com tijolo “em pé” e “em folha” (Figura 5.3)

- **Verificação dos critérios de estabilidade**

- Panos de parede foram divididos em função do posicionamento das juntas
- Dada a especificidade da parede cortina, foram verificadas tensões produzidas pela flexão da parede devido à pressão de vento
- Utilizaram-se vergas e pilaretes de concreto armado com seção transversal de 10 x 20 cm, inseridos por dentro da alvenaria
- Utilizaram-se treliças planas industrializadas para estabilização da alvenaria, posicionadas na camada de argamassa entre fiadas de tijolos nas regiões de maior sollicitação das paredes (Figura 5.3)
- para efeitos de estabilização da alvenaria decidiu-se utilizar dispositivos de travamento entre a parede externa e a estrutura de aço

- **Avaliação de efeitos térmicos na alvenaria**

- Avaliou-se a insolação nas paredes para fins de definição das juntas
- Nos casos onde pode-se optar pelo posicionamento das juntas, optou-se sempre por fazer a junta na parede menos insolada.

Definidas as características anteriores, verificou-se a compatibilidade entre as informações dos diferentes projetos executivos. Nos casos onde se identificam pequenas incompatibilidades como, por exemplo, a variação dimensional da seção transversal de um perfil, optou-se pela informação contida no projeto estrutural, já que neste caso, este projeto contém a precisa informação.

Uma vez compatibilizados os projetos do Edifício do LBE, o projeto de alvenaria foi desenvolvido de acordo com a seqüência mostrada a seguir: (No anexo A apresentam-se alguns detalhes do projeto de alvenaria do Edifício do LBE).

- **Planta Chave**

- Verificou-se a largura e altura dos panos de paredes no projeto executivo de arquitetura

- Definiu-se o posicionamento das juntas, sendo as mesmas colocadas em todos os eixos dos pilares, em uma distância de aproximadamente 6 metros entre si
- Denominaram-se cada intervalo de parede com nomenclatura adequada à sua identificação
- Elaboraram-se desenhos da primeira e segunda fiadas, contendo a posição dos tijolos e dos pilaretes previstos
- Ajustaram-se as fiadas com relação a cantos de paredes e juntas, buscando sempre proporcionar o mínimo de quebras de tijolos
- Elaboraram-se desenhos de fiadas adicionais para os casos em que apresentam alguma variação com relação às fiadas ímpares e pares, como, por exemplo, a interrupção da fiada por aberturas

Na Figura 5.4 apresentam-se as fiadas de uma parede externa do projeto de alvenarias para o Edifício LBE. A representação da fiada número 24 se dá em função da esquadria abertura presente nesta fachada. No projeto completo apresentam-se as fiadas ímpares, pares e as adicionais que forem necessárias para todas as paredes do edifício.

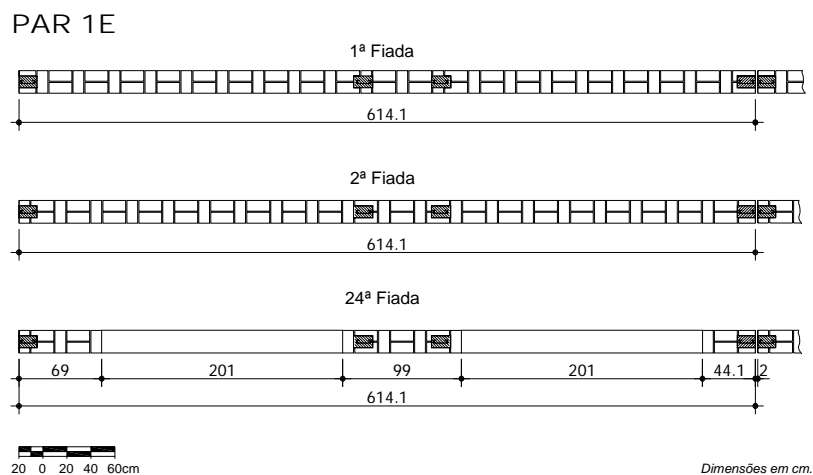


Figura 5.4 – Representação das fiadas de uma parede no projeto de alvenaria

No exemplo mostrado na Figura 5.4 produziu-se o desenho da trigésima fiada, já que nesta ajustou-se a posição dos blocos a fim de adequar a alvenaria à abertura. Além disso, as dimensões das aberturas constantes no projeto executivo de arquitetura foram ajustadas ao projeto de alvenaria, que contém as dimensões exatas das esquadrias.

• Elevação das paredes

- Verificaram-se as dimensões das aberturas nas fachadas que deveriam ser representadas
- Determinaram-se a altura das paredes tendo em vista que o projeto apresenta diferentes níveis de piso, o que levou a diferentes alturas das paredes
- Definiu-se o posicionamento das vergas, contra-vergas e pilaretes, inseridos na alvenaria
- Determinaram-se as regiões de aplicação da treliça plana a ser inserida na argamassa entre as fiadas

Na Figura 5.5 são mostradas uma elevação e uma seção transversal de uma parede externa do Edifício do LBE, onde podem ser observadas as posições das vergas, pilaretes e das treliças planas.

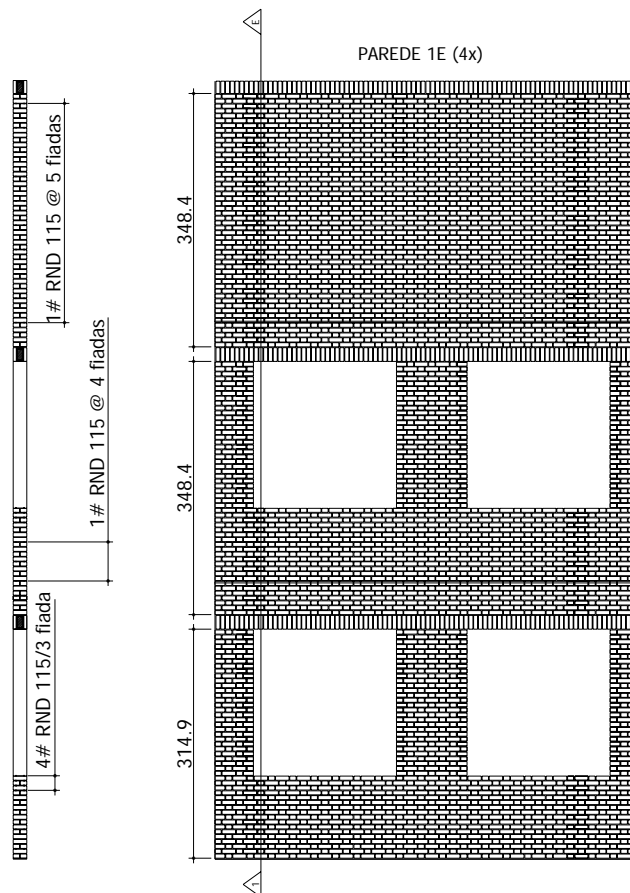


Figura 5.5 – Elevação e seção transversal de uma parede externa.

**Nota: RND 115 se refere a treliça plana industrializada da marca MURFOR®. Informações disponíveis em: <http://www. www.arcelormittal.com/br>.*

- **Definição das juntas de controle e das interfaces**

- Nas diretrizes para elaboração do projeto de alvenaria as ligações entre os panos de alvenaria e entre esta e a estrutura foram consideradas desvinculadas
- Com base em previsões de movimentações térmicas e estruturais, definiu-se que as juntas terão largura de 20 mm a cada plano de 6 m de alvenaria. Tomou-se este valor como padrão podendo haver pequenas variações em situações específicas
- Considerando que as paredes externas serão dobradas e com tijolo aparente, foram fixadas as posições dos pilaretes dentro da alvenaria, de maneira que as juntas promovam a desvinculação entre os panos das paredes
- As juntas foram posicionadas entre os pilaretes no eixo dos pilares de aço
- Para promover a desvinculação, foram utilizadas placas de poliestireno expandido (EPS) de 20 mm de espessura entre os panos de parede
- Na face externa das juntas aplicou-se um selante de poliuretano.
- Antes da aplicação do selante insere-se um limitador de profundidade para que o material fique aderido somente às laterais da junta

Na Figura 5.6 apresenta-se um detalhe de junta no eixo de um pilar da fachada. Podem ser vistos os pilaretes de concreto inseridos por dentro da alvenaria de tijolos. Nota-se que alguns tijolos são seccionados. Deste modo, é importante que os blocos selecionados seja certificados e permitam a execução de cortes. Os pilaretes são armados por duas barras transversais com diâmetro de 12,5 mm.

Percebe-se que a estrutura guarda uma distância de 2 cm em relação ao pano de alvenaria. Isso se dá em função da previsão de um sistema de ligação para a interface entre a estrutura de aço e o fechamento em alvenaria. Este sistema de ligação tem a função de permitir os deslocamentos relativos entre a estrutura e o fechamento, tendo em vista que esta é uma das causas de algumas das manifestações patológicas mostradas no Capítulo 4.

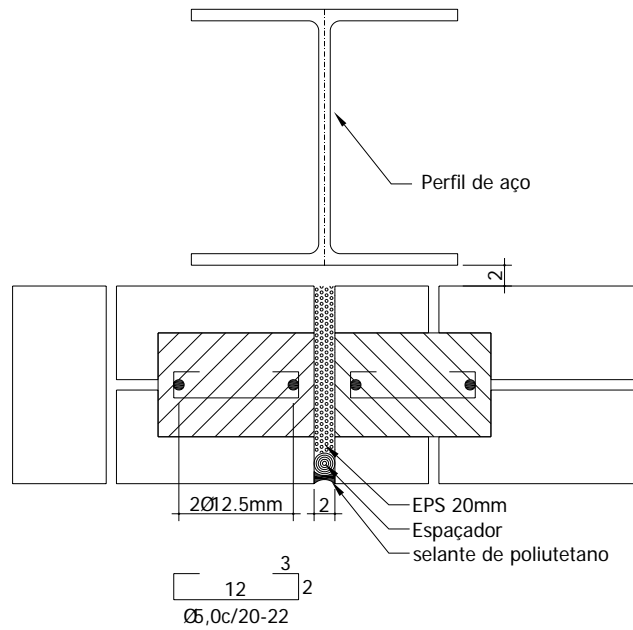


Figura 5.6 – Detalhe de uma junta posicionada no eixo de um pilar da fachada.

No encontro entre as paredes ortogonais de canto foram utilizadas juntas de mudança de sentido levando em conta os efeitos térmicos. As juntas foram posicionadas nas paredes menos insoladas. Na Figura 5.7 apresenta-se um detalhe de uma junta de mudança de sentido no encontro de duas paredes de canto.

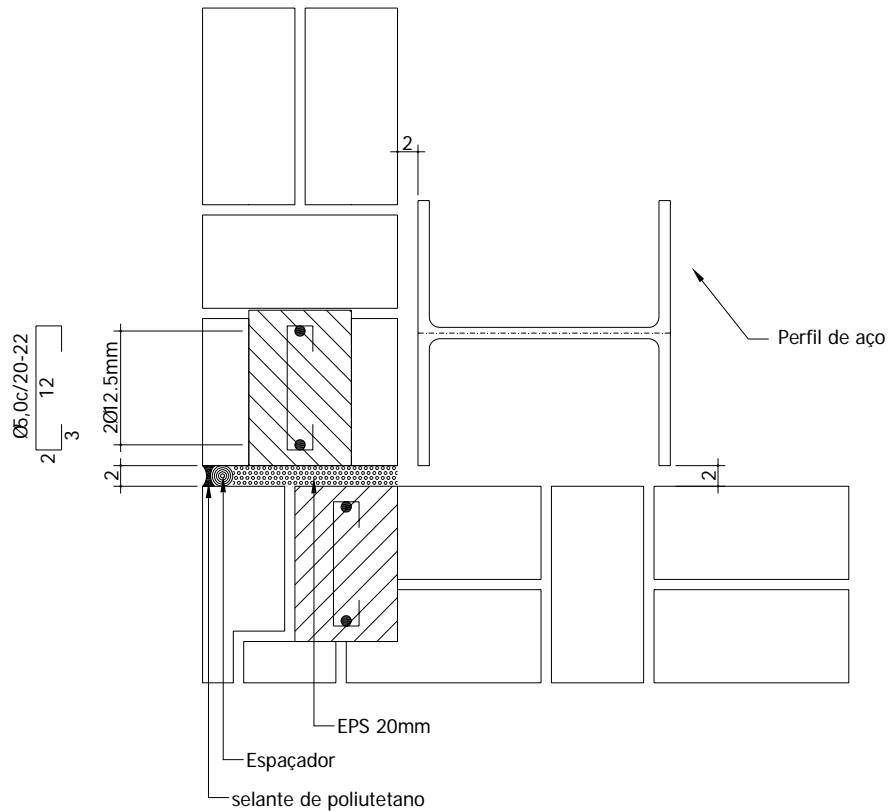


Figura 5.7 – Detalhe da junta de mudança de sentido no encontro de duas paredes de canto.

Para limitar a esbeltez da parede cortina optou-se pela utilização de dispositivos de conexão entre a alvenaria e a laje. Estes dispositivos que são fixados na alvenaria e na laje, permitem uma pequena movimentação entre os dois sistemas conectados.

Os dispositivos de conexão desenvolvidos para este projeto são formados por duas faces independentes, sendo uma ligada à alvenaria e outra ligada à laje permitindo pequenos deslocamentos horizontais e verticais. Na Figura 5.8 apresenta-se um detalhe de instalação de dispositivo de conexão entre a alvenaria e a laje.

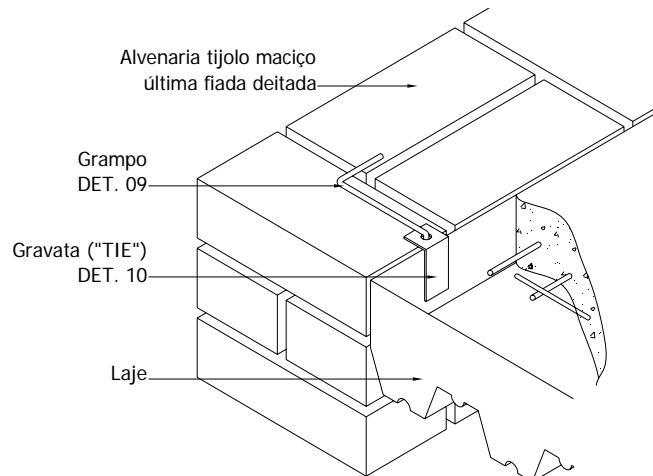


Figura 5.8 – Detalhe de instalação do dispositivo de conexão entre a alvenaria e a laje.

Uma parte do dispositivo de conexão é inserido por dentro da argamassa, ficando rigidamente ligado à alvenaria. Utiliza-se para isto um fio de arame com diâmetro de 5 mm dobrado segundo três eixos ortogonais entre si com dimensões de 50, 100 e 50 mm. Na Figura 5.7 apresenta-se um detalhe deste elemento.

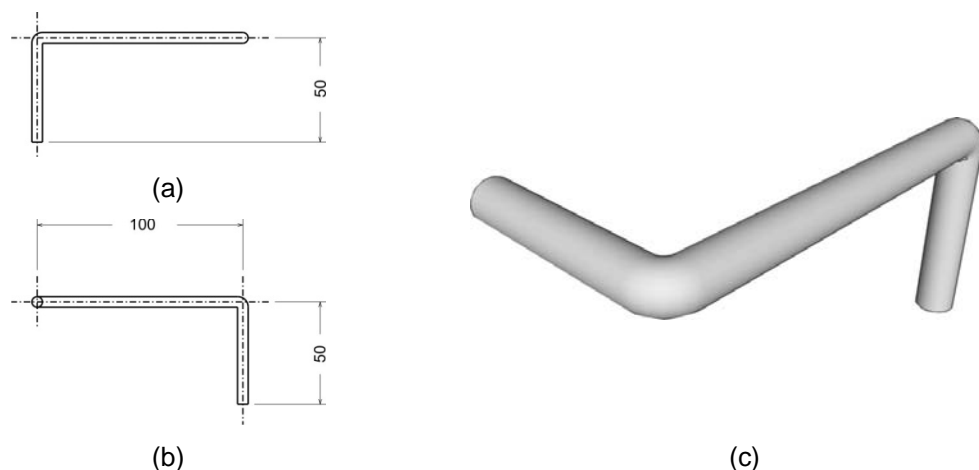


Figura 5.9 – Detalhe dos fios de conexão (dimensões em milímetro)

A outra parte do dispositivo de conexão, chamada gravata (do inglês, *tie*) é fixada na estrutura. Optou-se pela fixação destas gravatas por dentro da laje mista antes

da concretagem, na borda da chapa de arremate da laje. Este elemento fica rigidamente ligado à laje e se constitui em um apoio transversal ao plano da parede cortina nos níveis 3,00, 6,80 e 10,40m.

As gravatas devem ser fabricadas de acordo com as características apresentadas na Figura 5.10. Das superfícies ortogonais da gravata, a maior é fixada na laje e a menor possui um furo com 6 mm de diâmetro, que recebe o fio de arame.

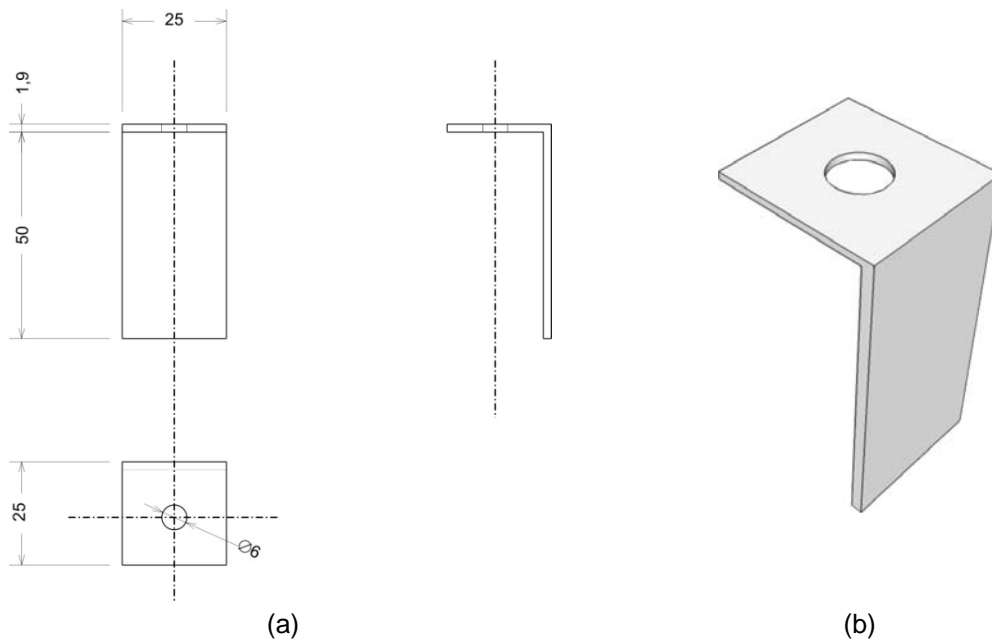


Figura 5.10 – Detalhes das gravatas (dimensões em milímetro).

Com a inserção do fio de arame no furo das gravatas tem-se um dispositivo de conexão que promove a desvinculação entre a alvenaria e a estrutura, uma vez que permite a movimentação independente no sentido vertical. Com o uso deste dispositivo, a laje pode-se deslocar sem que este deslocamento seja “percebido” pela alvenaria. Devido ao diâmetro do furo ser levemente maior que o diâmetro do fio de arame são percebidas pequenas movimentações horizontais da parede cortina sem comprometer a função de apoio horizontal que o dispositivo de conexão deve proporcionar. Desta forma, este sistema de ligação visa prevenir fissuras devidas às movimentações estruturais.

Definido o sistema de ligação, torna-se necessário dimensionar o número de gravatas para cada parede, em função das ações horizontais atuantes.

De acordo com a reação nos apoios para cada pano de 6 m de parede (vão entre pilares) determinou-se o número de conectores tendo em vista a seção do fio de arame e

as dimensões da gravata. Assim, foram definidos 11 conectores para cada vão de 6 metros de parede, o que implica em adotar um conector a aproximadamente 50cm.

Na Figura 5.11 apresenta-se um esquema da planta chave de uma parede com a disposição dos 10 conectores para um vão de 6 metros.

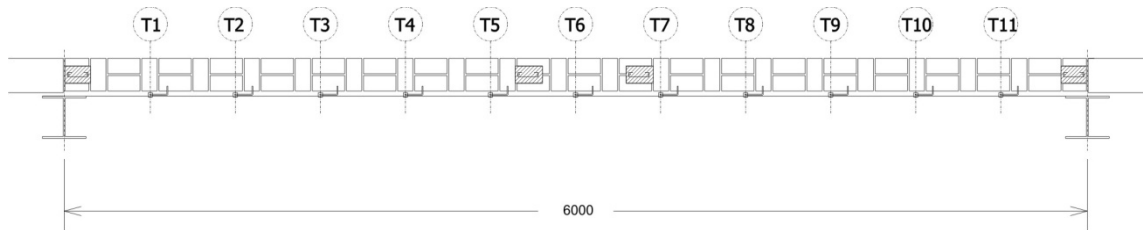


Figura 5.11 – Distribuição dos dispositivos de conexão ao longo de uma parede.

- **Definição da base e do cume**

Com base nas definições propostas para o sistema de fechamento, desenvolveram-se soluções para os arremates do topo das paredes e soluções de impermeabilização da base.

Para base, foi proposto um sistema de impermeabilização convencional utilizando-se de materiais impermeabilizantes nas fiadas inferiores da alvenaria. Com base no cálculo das fundações que prevê blocos de fundação independentes para a parede cortina, optou-se pela aplicação das camadas impermeabilizantes a partir do elemento de fundação desta parede.

Nas soluções para os arremates superiores tem-se a preocupação principal em não permitir o escoamento de águas pluviais ao longo da superfície da parede. Tendo em vista a previsão do projeto arquitetônico em utilizar o telhado embutido por meio de platibanda, a solução adotada consistiu da adoção de uma pingadeira produzida com chapa metálica dobrada.

Para efeito de estabilização da platibanda foi necessário a utilização de uma viga de arremate superior, sendo esta metálica de perfil I. Esta viga de arremate é conectada aos pilares da edificação que avançam até a altura da platibanda, promovendo sua estabilização.

Na Figura 5.12 é mostrado um detalhe de execução do arremate superior do pano de alvenaria.

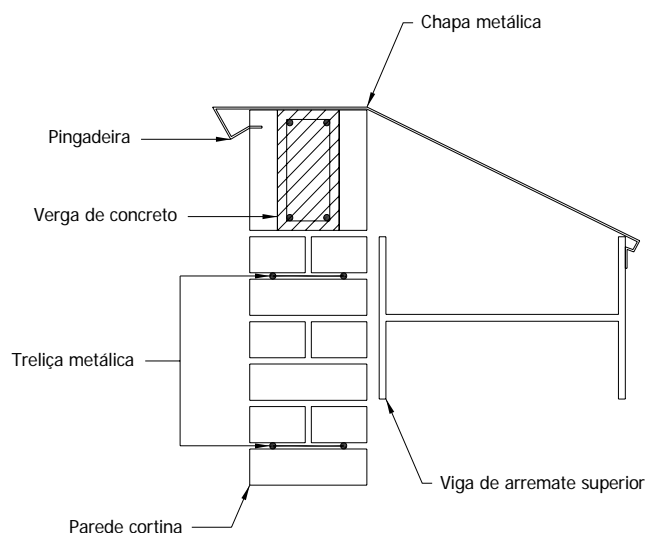


Figura 5.12 – Detalhe do arremate superior da parede cortina.

Na Figura 5.13 apresenta-se uma imagem de uma maquete eletrônica que é parte integrante do projeto arquitetônico do Edifício dos Laboratórios de Engenharia.

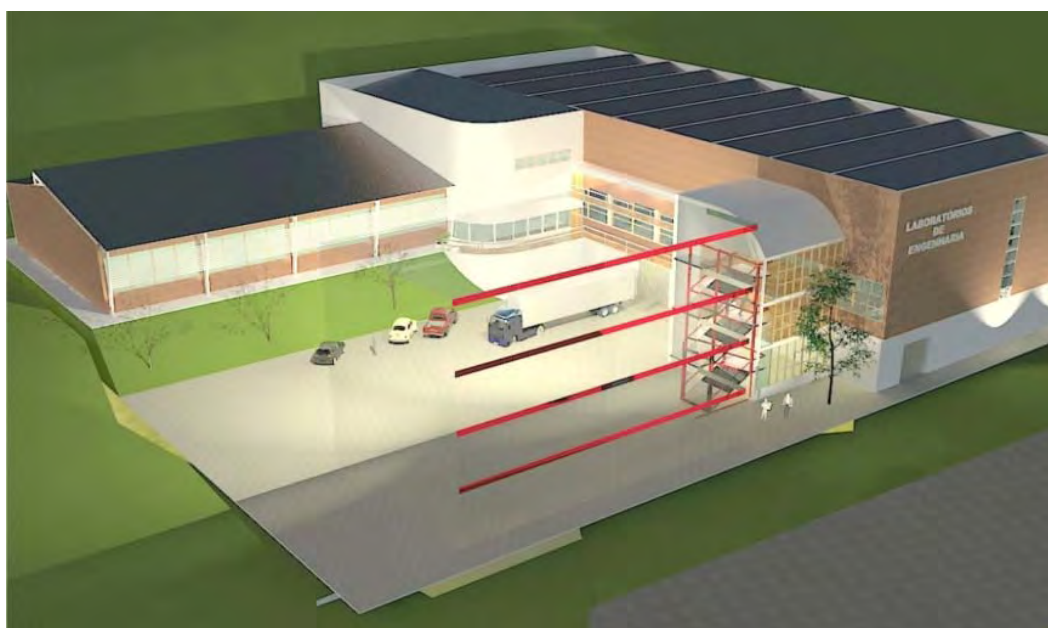


Figura 5.13 – Imagem eletrônica do Edifício LBE.

5.2.2 Projeto do Sistema de Fechamento em Alvenaria para o Edifício das Licenciaturas (UFV/2010)

O Edifício das Licenciaturas (LCT) possui cerca de 3.200 m², distribuídos em 5 pavimentos, nos quais localizam-se laboratórios de ensino, auditórios e gabinetes de professores.

O edifício possui uma estrutura de aço aparente, revestida com pintura, cujos pilares da fachada se situam em um plano externo à alvenaria. Deste modo a alvenaria é

seccionada pela laje, o que cria panos com a altura de um pé-direito e dispensa a necessidade de uso de dispositivos de conexão especiais entre a alvenaria e a estrutura para diminuição da esbeltez das paredes.

Em função destas características, no projeto de alvenaria deste edifício optou-se pela utilização de uma alvenaria desvinculada, que requer um adequado tratamento das ligações entre a alvenaria e a estrutura de aço para que se possa obter um desempenho satisfatório quanto à estanqueidade.

Com base nos aspectos citados, foram estabelecidas as seguintes diretrizes para a elaboração do projeto de alvenaria:

- **Tipologia da alvenaria**

- Alvenaria em tijolos cerâmicos furados, revestida com argamassa e pintura
- Posição interna em relação ao plano da estrutura
- Desvinculada da estrutura

- **Elementos da alvenaria**

- Paredes externas de tijolo cerâmico furado com espessura de 10cm e espessura final da parede de 15cm incluindo o revestimento e a argamassa;
- tendo em vista o revestimento, as soluções de vergas e contravergas adotadas são de concreto armado embutidas por dentro da parede.

- **Verificação dos critérios de estabilidade**

- Decidiu-se pela utilização de pilaretes compostos por perfis de aço formados a frio justapostos para garantir a estabilidade dos panos de parede;
- Foram determinadas as posições e a quantidade de pilaretes a fim de garantir a estabilidade dos panos de parede.

- **Definição das juntas de controle e das interfaces**

- Avaliou-se a insolação nas paredes para fins de determinação das juntas

- Foram definidas as posições, as dimensões e as formas de tratamento das juntas

Definidas as características anteriores, passou-se à verificação da compatibilidade entre as informações dos diferentes projetos executivos. Uma vez compatibilizados os projetos, o projeto de alvenaria foi desenvolvido de acordo com a seqüência mostrada a seguir: (No anexo B apresentam-se as partes mais relevantes do projeto de alvenaria do Edifício das Licenciaturas)

Inicialmente, estudou-se a planta baixa da edificação a fim de se determinar a posição dos detalhes que deveriam estar no projeto de alvenaria. É conveniente que nesta planta sejam representadas as informações essenciais para a execução da alvenaria, sendo que esta terá uma função semelhante a uma planta chave.

Na Figura 5.14, apresenta-se a planta baixa do pavimento térreo do Edifício LCT que compõe o projeto de alvenaria. Nesta planta são identificados os detalhes típicos que serão apresentados em escala maior em outras pranchas de desenho.

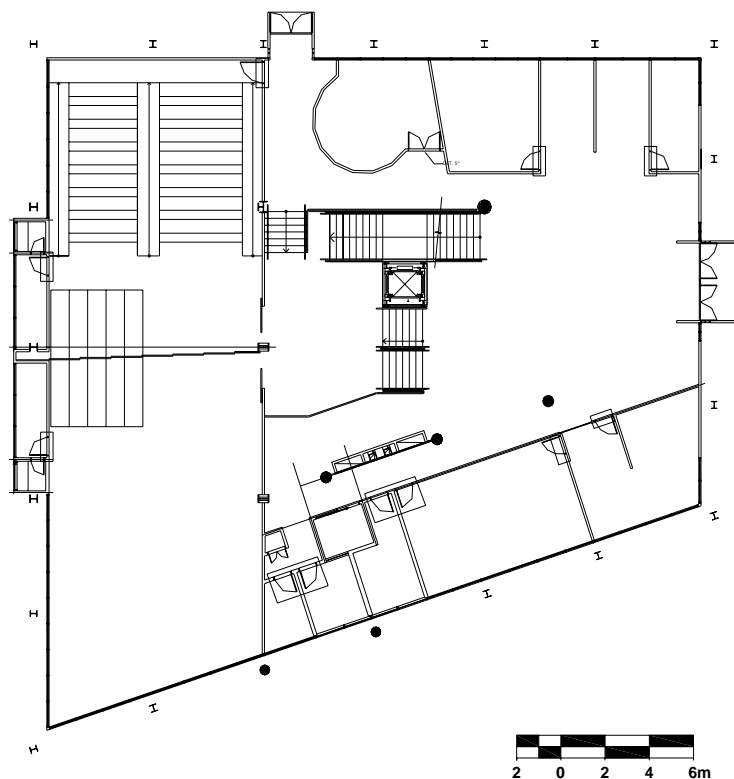


Figura 5.14 – Planta baixa do pavimento térreo que compõe o projeto de alvenaria do Edifício LCT

Os pilaretes foram posicionados procurando-se preferencialmente as quinas das paredes e as junções ortogonais com as paredes internas. Nestes casos, os pilaretes são compostos por dois perfis U enrijecidos formados a frio justapostos e soldados entre si. Com vistas a promover a desvinculação entre os panos de parede, são inseridas placas de poliestireno expandido (EPS) de 10 mm por dentro desta parede, as quais estão em contato com a alvenaria. Um dos enrijecedores do perfil “U” serve como anteparo ao revestimento de argamassa, enquanto os tijolos avançam até a placa de EPS posicionada no fundo do perfil “U”.

Na Figura 5.15 mostra-se um detalhe de ligação entre duas paredes ortogonais de extremidade. Na união entre o pilarete da parede externa e a parede ortogonal utiliza-se um terceiro perfil “U” soldado aos outros dois. A solda entre estes perfis deve ser feita por pontos, a fim de se evitar empenamentos das chapas.

Neste caso foram especificados perfis com 2mm de espessura. Em termos práticos, para um pé-direito entre 3,5 e 4,0m pode-se adotar esta espessura quando se tem dois perfis soldados justapostos.

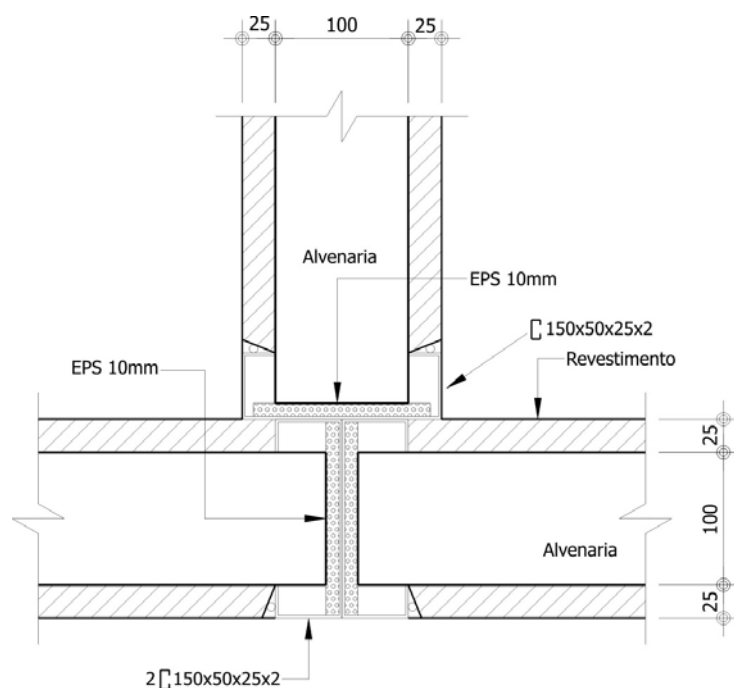


Figura 5.15 – Detalhe de ligação entre duas paredes de extremidade.

Além da utilização de detalhes a fim de promover a desvinculação entre a alvenaria e a estrutura de aço, é necessário executar juntas entre os perfis de aço e o revestimento de argamassa. Estas juntas devem permitir o comportamento independente

entre os dois elementos, além de garantir a estanqueidade da parede, atentando-se principalmente para a possibilidade de penetração de água pluvial através das mesmas.

Para permitir a movimentação independente entre os elementos nas faces externas das juntas aplicou-se o selante de poliuretano. Para se evitar que o selante “escorregue” para dentro da junta e fazer com que o mesmo fique aderido somente às laterais da mesma, deve-se inserir um limitador de profundidade.

Na Figura 5.16 apresenta-se uma junta entre um perfil “U” formado a frio e o revestimento de argamassa. Neste caso, utiliza-se um limitador de profundidade flexível em formato cilíndrico com 6,3mm de diâmetro, conhecido como espaguete, que deve ser posicionado na junta antes da aplicação do selante.

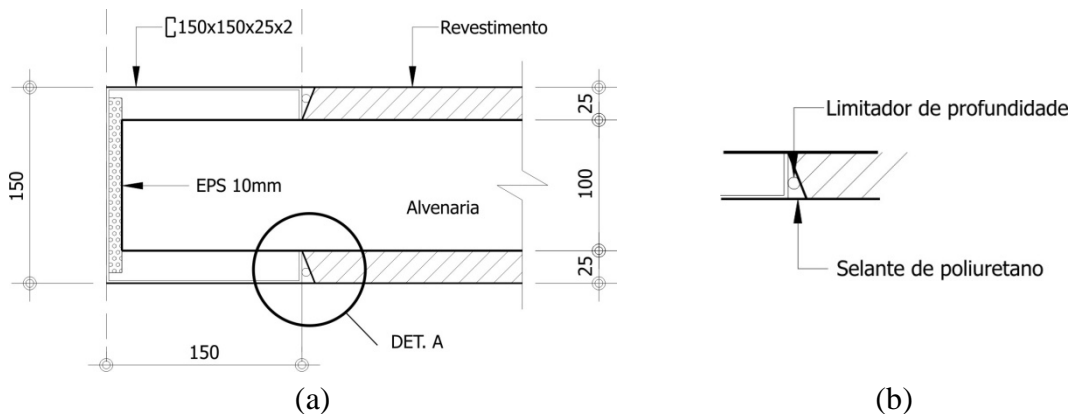


Figura 5.16 – Juntas entre os perfis U e o revestimento.
(a) Posição das juntas; (b) junta em detalhe.

Alguns pilares de aço da estrutura do Edifício LCT interceptam o plano das paredes. Nestes casos, utilizou-se o mesmo tipo de solução adotado nas ligações entre paredes, com placas de EPS junto à alma do pilar, com o intuito de promover a desvinculação entre a alvenaria e o pilar de aço. Conforme se mostra na Figura 5.17, preenche-se parcialmente um perfil I com tijolos, que não aderem ao perfil de aço devido à presença da placa de EPS.

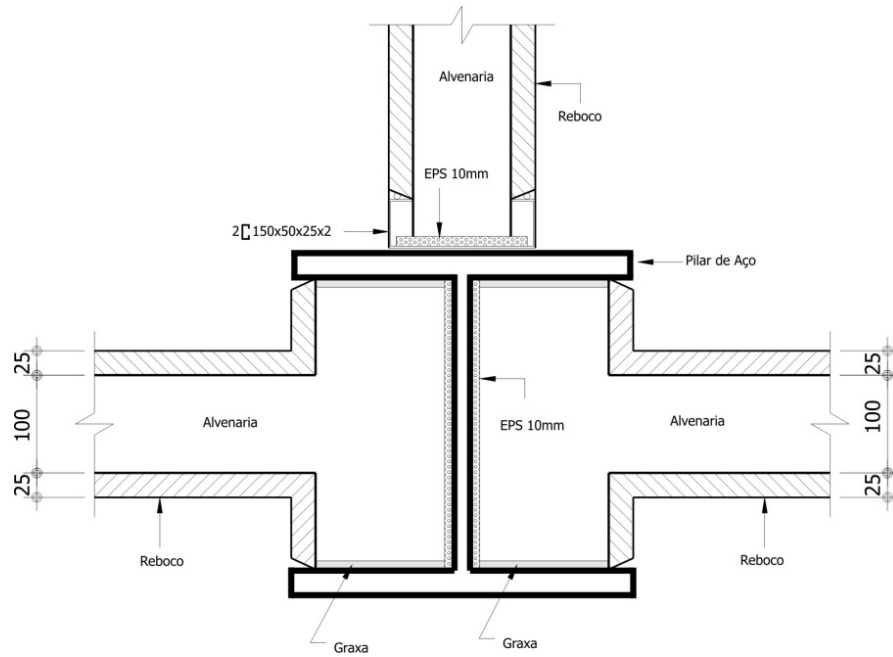


Figura 5.17 – Detalhe de vinculação entre a alvenaria e um pilar de aço.

Nas interfaces entre as partes internas das mesas dos pilares e a alvenaria utiliza-se graxa, a fim de impedir a aderência entre os materiais. Conforme também pode-se observar na Figura 5.17, o revestimento da alvenaria segue a quina formada no encontro com o pilar. Utiliza-se um arremate chanfrado na interseção entre o revestimento e a mesa do perfil de aço. Nestes locais não é necessária tratar a junta com selante, já que a desvinculação existente entre a parede e o perfil é considerada suficiente.

Na Figura 5.18 apresenta-se uma imagem de uma maquete eletrônica que é parte integrante do projeto do Edifício LCT.



Figura 5.18 – Imagem eletrônica do Edifício LCT.

5.2.3 Síntese da Aplicação da Metodologia para Projetos de Alvenaria

Grande parte das manifestações patológicas detectadas nos edifícios apresentados no Capítulo 4 tem causas relacionadas ao detalhamento dos sistemas de fechamento. Ao longo do tempo, alguns estudos mostraram que as intervenções para correção de problemas patológicos têm um custo crescente com o tempo de atuação dos mecanismos de deterioração. Portanto, uma medida de prevenção tomada na etapa de projeto tende a ser muito mais econômica do que qualquer intervenção futura para recuperação de um determinado nível de desempenho.

A aplicação da proposta metodológica para o projeto de sistemas de fechamento de alvenaria tem o intuito de garantir o desempenho construtivo e estrutural desses sistemas, evitando com que as suas deficiências se tornem a causa dos problemas mais comuns detectados em algumas estruturas de aço.

Com a aplicação da metodologia de projeto para sistemas de alvenaria proposta neste trabalho espera-se que os edifícios utilizados como exemplo apresentem desempenho satisfatório quanto à durabilidade e que possam cumprir adequadamente as suas funções ao longo de um período de vida útil sem requerer maiores custos de manutenção.

6

Conclusões e Recomendações para Trabalhos Futuros

6.1 CONCLUSÕES

Considerando uma lacuna identificada nos estudos de caso apresentados no Capítulo 4 e as aplicações realizadas da proposta metodológica apresentadas no Capítulo 5, podem-se apresentar algumas conclusões.

A partir das informações obtidas na análise das manifestações patológicas dos edifícios estudados neste trabalho pode-se afirmar que os sistemas de fechamento em alvenaria que apresentaram maior eficiência são aqueles onde se estabeleceu uma desvinculação entre o sistema de fechamento e a estrutura de aço.

Observou-se também que ainda não existe uma maneira suficientemente sistematizada para definir as ligações entre o fechamento de alvenaria e a estrutura de aço. A geometria dos perfis estruturais – em que comumente são utilizadas seções de

tipo “I” ou “H” – requer a definição de diferentes tipos de detalhes executivos para os sistemas de fechamento.

Os sistemas de fechamento desvinculados da estrutura de aço, principalmente na direção horizontal, são os que estão associados à menor incidência de manifestações patológicas nas estruturas. Nas interfaces alvenaria-estrutura onde foram utilizados perfis formados a frio conseguiu-se a melhor condição de desvinculação entre aqueles avaliados nos edifícios estudados. Nestes casos, as manifestações patológicas no fechamento decorrentes de deslocamentos horizontais da estrutura, praticamente inexistem.

Tendo em vista a maior deslocabilidade das estruturas de aço em relação às estruturas de concreto armado, pode-se dizer que os sistemas de fechamento vinculados tendem a acarretar maiores problemas patológicos ao próprio sistema e à estrutura, se comparados aos desvinculados.

Observou-se também que o detalhamento executivo do sistema de fechamento em alvenaria contribui de forma decisiva para o bom desempenho da estrutura de aço dos edifícios de múltiplos andares. Os detalhes mais importantes a serem considerados são as interfaces alvenaria-estrutura, o tratamento das juntas de movimento e de dilatação, os arremates superiores da alvenaria e os tratamentos em relação à impermeabilização de sua base.

Acredita-se que a melhor forma conseguir um bom desempenho do sistema de fechamento e da estrutura quanto à durabilidade é iniciar a discussão sobre o projeto do sistema de fechamento em alvenaria ainda na etapa de projeto básico de arquitetura.

O estudo realizado leva a crer que a metodologia para projetos de alvenaria é uma ferramenta fundamental da qual não se deve prescindir na elaboração de projetos executivos. No caso de edifícios em estrutura de aço em geral, entende-se que o projeto de alvenaria pode ser considerado indispensável, dado ao caráter preventivo em relação às manifestações patológicas. Mesmo em obras com estrutura em concreto armado, os projetos de alvenaria de fechamento vêm se tornando cada vez mais importantes, principalmente nos casos onde existem grandes vãos e, conseqüentemente, maiores deslocamentos da estrutura.

Nos casos de aplicação apresentados neste trabalho, a metodologia proposta funcionou como uma importante guia para o desenvolvimento do projeto do sistema de alvenaria.

No caso do Edifício dos Laboratórios de Engenharia (LBE), ao se utilizar a parede cortina como solução de fechamento conseguiu-se não somente proteger a estrutura com relação à exposição ambiental, mas também uma composição arquitetônica onde a estrutura não é um elemento considerado na definição das fachadas. Portanto, este caso representa uma solução onde a alvenaria de fechamento está completamente desvinculada da estrutura do edifício.

Com relação ao Edifício das Licenciaturas (LCT), observa-se que o projeto do sistema de fechamento em alvenaria teve que atender à solução adotada desde o início do projeto básico de arquitetura, no qual algumas paredes foram dispostas no mesmo plano da estrutura. Neste caso, a solução consistiu basicamente numa alvenaria desvinculada da estrutura.

Em função de todo o estudo realizado pode-se afirmar que a maioria das decisões arquitetônicas equivocadas produzem problemas ligados à estanqueidade dos sistemas de fechamento. Por outro lado, a maioria das decisões estruturais equivocadas produzem problemas ligados aos deslocamentos excessivos da estrutura.

Por fim, por meio do trabalho realizado fica evidenciado que muitos problemas apresentados nas construções metálicas são erroneamente atribuídos às estruturas de aço, o que contribui negativamente com a visão social do uso do aço nos edifícios de múltiplos andares. Conforme observado, grande parte dos problemas patológicos detectados tem origem na falta de detalhamento do sistema de fechamento, que, por muitas vezes, é definido no local da obra, durante sua execução. Sendo assim, o que pode-se dizer é que as construções metálicas são efetivamente mais sensíveis à ausência de um detalhamento executivo dos sistemas de fechamento se comparadas às construções em concreto armado, o que não deve ser confundido com uma vulnerabilidade atribuída à estrutura de aço.

6.2 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Em função da pesquisa realizada pode-se sugerir o desenvolvimento de alguns outros trabalhos:

- ampliar a avaliação das manifestações patológicas em outros edifícios com fins institucionais situados em outros locais e instituições;
- desenvolver um estudo experimental para avaliar a estanqueidade dos sistemas de fechamento em alvenaria propostos;
- desenvolver estudos para a intervenção e recuperação dos edifícios avaliados neste trabalho;
- desenvolver ferramentas computacionais para aumentar a produtividade do projeto de sistemas de fechamento em alvenaria, tendo em vista as dificuldades encontradas no desenvolvimento dos projetos mostrados neste trabalho.

Referências Bibliográficas

ALBRECHT, T. F.; SOUZA, D. A. S.; PAES, J. L. R. Elaboração de diagnóstico sobre problemas patológicos em um edifício em estrutura mista. In: 4TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON STRUCTURAL DEFECTS AND REPAIR, 2008, Aveiro. **Anais...** Aveiro, 2008.

AMERICAN SOCIETY OF THE CIVIL ENGINEERS. Dados sobre construção civil. Disponível em: <http://www.asce.org/>. Acesso em 02 mai. 2009.

ASSED, J. A.; ASSED, P. C. **Construção civil**: metodologia construtiva. Rio de Janeiro: LTC, 1988.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8800**: Projeto e execução de estruturas de aço em edifício. Rio de Janeiro, 1986.

_____. NBR 15270-1. Componentes cerâmicos. Parte 1: Blocos cerâmicos para alvenaria de vedação - Terminologia e requisitos. Rio de Janeiro, 2005.

_____. NBR 6136. Blocos vazados de concreto simples para alvenaria - Requisitos. Rio de Janeiro, 2007.

_____. NBR 7170. Tijolo maciço cerâmico para alvenaria. Rio de Janeiro, 1983.

_____. NBR 13440. Blocos de concreto celular autoclavado - Verificação da densidade de massa aparente seca - Método de ensaio. Rio de Janeiro, 1995.

_____. NBR 15575-1. Edifícios habitacionais de até cinco pavimentos - Desempenho. Parte 1 – Requisitos gerais. Rio de Janeiro, 2008.

_____. NBR 15575-2. Edifícios habitacionais de até cinco pavimentos - Desempenho. Parte 2 – Requisitos para os sistemas estruturais. Rio de Janeiro, 2008.

_____. NBR 15575-4. Edifícios habitacionais de até cinco pavimentos - Desempenho. Parte 4 – Sistemas de vedações verticais externas e internas. Rio de Janeiro, 2008.

_____. NBR 15270-1. Componentes cerâmicos. Parte 1: Blocos cerâmicos para alvenaria de vedação - Terminologia e requisitos. Rio de Janeiro, 2005.

_____. NBR 6136. Blocos vazados de concreto simples para alvenaria – Requisitos. Rio de Janeiro, 2007.

_____. NBR 7170. Tijolo maciço cerâmico para alvenaria. Rio de Janeiro, 1983.

_____. NBR 13440. Blocos de concreto celular autoclavado - Verificação da densidade de massa aparente seca. Rio de Janeiro, 1995.

BAIÃO, O. T. A Importância dos Projetos na Viabilidade das Estruturas Metálicas. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL O USO DAS ESTRUTURAS METÁLICAS NA CONSTRUÇÃO CIVIL, 1998, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: Belo Horizonte: Sociedade Mineira de Engenheiros/AMICEM, 1998. 1 CD-ROM.

BEALL, C. **Masonry design and detailing**: for architects, engineers and contractors. 4. ed. New York: McGraw-Hill, 1997. 613p.

BELLEI, I. H. **Edifícios industriais em aço**. São Paulo: Pini, 1994.

CÁNOVAS, M. F. **Patologia e terapia do concreto armado**. Tradução Maria Celeste Marcondes e Beatriz Cannabrava. São Paulo: Pini, 1988.

COELHO, R. A. **Sistema construtivo integrado em estrutura metálica**. 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil)–Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2003.

_____. **Interface entre perfis estruturais e laminados e sistemas complementares**. 3. ed. São Paulo: Gerdau-Açominas, 2004. 63p. (Coletânea do uso do aço, v. 1).

CENTRO BRASILEIRO DA CONSTRUÇÃO EM AÇO. Dados sobre construção metálica. Disponível em: www.cbca-ibs.org.br. Acesso em: 20 nov. 2008.

DIAS, L. A. M. **Edificações de aço no Brasil**. São Paulo: Zigurate, 1993.

_____. **Estruturas de aço: conceitos, técnicas e linguagem**. São Paulo: Zigurate, 1997.

HELENE, P. R. L. **Corrosão em armaduras para concreto armado**. São Paulo: Pini/IPT, 1988.

_____. **Manual para reparo, reforço e proteção de estruturas de concreto**. 2. ed. São Paulo: Pini, 1992.

HIRSCHFELD, H. **A construção civil e a qualidade: informações e recomendações para engenheiros, arquitetos, gerenciadores, empresários e colaboradores que atuam na construção civil**. São Paulo: Atlas, 1996.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS. **Tecnologia de edificações**. São Paulo: Pini/IPT, 1998.

MACIEL, L. L.; MELHADO, S. B. **Qualidade na construção civil: Fundamentos**. São Paulo: Escola Politécnica-USP, 1995.

MASCARÓ, J. L. (Coord.). **Tecnologia e arquitetura**. São Paulo: Nobel, 1989.

_____. **O custo das decisões arquitetônicas**. 2. ed. Porto Alegre: Sagra Luzzato, 1998.

MATTHYS, J. H. (Org.) **Masonry designers guide boulder**. American Concrete Institute. 1993.

MELHADO, S. B. (Org.) **Coordenação de projetos de edificações**. São Paulo: O Nome da Rosa, 2005.

_____.; VIOLANI, M. A. F. **Qualidade na construção civil e o projeto de edifícios**. São Paulo: Escola Politécnica-USP, 1992.

MESEGUER, A. G. **Controle e garantia da qualidade na construção**. São Paulo: Sinduscon-SP/Projeto PW, 1991.

MILMAN, B. **Pré-fabricação de edifícios**. Rio de Janeiro: UFRJ, 1971.

NASCIMENTO, O. L. **Alvenarias**. São Paulo: CBCA, 2002. 52p. (Manual de Construção em Aço).

LASKA, W. **Masonry and steel: Detailing Handbook**. Chicago: The Aberdeen Group, 1993. 218p.

LICHTENSTEIN N. B. **Patologia das construções**. São Paulo: Edusp, 1986. (Boletim técnico 06/86).

PANNONI, F. D. **Princípios da proteção de estruturas metálicas em situação de corrosão e incêndio**. 3. ed. São Paulo: Gerdau-Açominas, 2004. 90p. (Coletânea do Uso do Aço, v. 2).

_____. **Projeto e Durabilidade**. São Paulo: CBCA, 2009. 71p. (Manual de Construção em Aço).

PRAVIA, Z. M. C.; BERTINELLI, E. A. Conceitos e estudos de casos de falhas em estruturas metálicas. **Construção Metálica**, São Paulo, n. 35, p. 56-61, 1998.

PLUMRIDGE, A.; MEULENKAMP, W. **Brickwork: architecture and design**. London: Studio Vista, 1993. 224p.

RIPPER, E. **Como evitar erros na construção**. São Paulo: FAU-USP, 1990.

_____. **Patologia e reforço das estruturas de concreto**. São Paulo: Pini, 1998.

SOUZA, R. et al. **Qualidade na aquisição de materiais e execução de obras**. São Paulo: Pini, 1996.

SOUZA, V. C. **Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto**. São Paulo: Pini, 1998. 255p.

SILVA NETO, P. R. ; FERREIRA, C. V. Patologia em Construções Mistas Concreto e Aço. **Construção Metálica**, São Paulo, p. 41-42, 26 nov. 2006.

SILVA, M. G.; SILVA, V. G.; **Painéis de vedação**. São Paulo: CBCA, 2003. 59p. (Manual de Construção em Aço).

THOMAZ, E. **Tecnologia gerenciamento e qualidade na construção**. São Paulo: Pini, 2001. 449p.

_____. **Trincas em edifícios: causas, prevenção e recuperação**. São Paulo: IPT/Edusp/Pini, 1989.

WALKER, A. **Project management in construction**. 3. ed. Oxford: Blackwell Science, 1996.