



UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO
ESCOLA DE MINAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL



AVALIAÇÃO DAS CONDIÇÕES FÍSICO-CONSTRUTIVAS E DE DESEMPENHO DE UMA EDIFICAÇÃO ESTRUTURADA EM AÇO. ESTUDO DE CASO: PRÉDIO DA EM DA UFOP

Ouro Preto, novembro de 2006.



UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO
ESCOLA DE MINAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL



AVALIAÇÃO DAS CONDIÇÕES FÍSICO-CONSTRUTIVAS E DE DESEMPENHO DE UMA EDIFICAÇÃO ESTRUTURADA EM AÇO. ESTUDO DE CASO: PRÉDIO DA EM DA UFOP

AUTORA: Rovadavia Aline de Jesus Ribas

ORIENTADOR: Prof. Dr. Henor Artur de Souza

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação do Departamento de Engenharia Civil da Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto, como parte integrante dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciências da Engenharia Civil, área de concentração: Construção Metálica.

Ouro Preto, novembro de 2006.

R482a Ribas, Rovadavia Aline de Jesus.
Avaliação das condições físico-constructivas e de desempenho de uma edificação estruturada em aço [manuscrito]: estudo de caso prédio da EM da UFOP/ Rovadavia Aline de Jesus Ribas. - 2006.
xxi, 186f.: il. color.; graf. ; tabs. ; prans.

Orientador: Prof. Henor Artur de Souza, D.Sc.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Departamento de Engenharia Civil. Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil.
Área de concentração: Construção Metálica.

1. Aço - Estrutura - Teses. 2. Patologia de construção - Teses. 3. Construção - Desempenho - Teses. 4. Estruturas metálicas - Teses. I. Universidade Federal de Ouro Preto. II. Título.

CDU: 624.014.2(815.1)

Catálogo: sisbin@sisbin.ufop.br

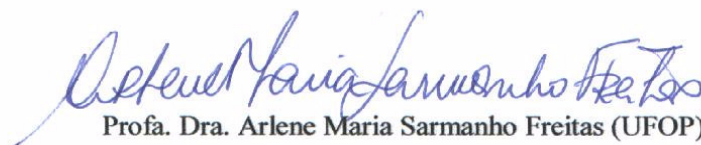
**AVALIAÇÃO DAS CONDIÇÕES FÍSICO-CONSTRUTIVAS E DE
DESEMPENHO DE UMA EDIFICAÇÃO ESTRUTURADA EM AÇO.
ESTUDO DE CASO: PRÉDIO DA EM DA UFOP**

AUTORA: ROVADAVIA ALINE DE JESUS RIBAS

Esta dissertação foi apresentada em sessão pública e aprovada em 30 de novembro de 2006, pela Banca Examinadora composta pelos seguintes membros:



Prof. Dr. Henor Artur de Souza (Orientador / UFOP)



Profa. Dra. Arlene Maria Sarmanho Freitas (UFOP)



Profa. Dra. Rosina Trevisan Martins Ribeiro (UFRJ)

*À minha mãe, Edina, que cursou
algumas séries do ensino fundamental
aos 60 anos e se encantava com
tudo o que aprendia.*

AGRADECIMENTOS

A Deus, que está acima de tudo.

A meu pai, Vicente, pelo exemplo de honestidade e integridade.

A meu marido, Antônio, e a meus filhos, Sabir e Sávio, pelo carinho e compreensão.

À minha irmã, Lili, e aos meus outros irmãos, pelo tempo de ausência.

À Profa. Elinor, pela motivação.

Ao Prof. Henor, pela confiança, dedicação e paciência.

Aos professores do mestrado Arlene, Célio, Claret, Ernani, Luiz Cláudio, Marcílio e Ricardo, pelos ensinamentos e compreensão.

Aos professores Luiz Fernando, Geraldo, Assis e João, pelo apoio e liberação.

Ao Prof. José Geraldo pela autorização das medições.

Ao Prof. Walter Dornelas, pela disposição e amizade.

Aos professores Urânia, Clarisse e Hélder, pelos incentivos.

Aos professores Francisco Carlos e Fernando Murilo e à Prefeitura Universitária, nas pessoas de Gilda, Neymar e Piva, pelos esclarecimentos.

Aos bolsistas Guilherme e Ivan, pelo treinamento e paciência.

A todos os meus colegas de curso, principalmente Kátia, Flávio, Alex Camillo, Michel, Adriano, Bruno, Cristiane, Fabiano, Marcelo, Manoel, Paulo, Klaydson e Marilda, pela ajuda e convivência.

Às minhas colegas de trabalho Ana, Silmara e Rosa, pela torcida.

Às minhas colegas de unidade Marília, Neide, Simone e Conceição, pelas dicas na exploração do edifício.

Enfim, a todos que, de alguma forma, contribuíram para a realização desse trabalho.

Serão, para sempre, parte de minha vida.

RESUMO

A construção industrializada em aço, promessa de solução racional para a construção civil no que diz respeito à otimização de prazos, redução de mão de obra, diminuição de desperdícios e obtenção de qualidade final, aliada às exigências relativas à conservação de energia e conforto humano das edificações, aponta para projetos que apresentam um desempenho global adequado. O conforto interno de um ambiente construído, em relação às condições térmicas e à transmissão de ruído, está na adequação do sistema de fechamento (externo e interno) da edificação, além de um projeto arquitetônico que aproveite de forma eficiente as condições climáticas locais. Vê-se com frequência a aplicação de sistemas de fechamentos convencionais em alvenaria em edificações em aço, o que é problemático e contraditório, pois são sistemas que possuem tempos de execução desproporcionais e interfaces construtivas de solução delicada. Desse modo, é imperativo análises constantes, que possam promover o desenvolvimento dos sistemas de fechamento. Nesse trabalho avaliam-se a concepção estrutural e suas interferências no processo construtivo e na utilização do prédio da Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto-MG, que é uma edificação estruturada em aço com sistema de fechamento externo constituído por sistemas convencionais (alvenaria e vidro). Por meio de uma investigação exploratória, levantamento fotográfico e coleta de dados, faz-se um mapeamento a respeito das condições físico-construtivas da edificação e de sua manutenção. Identificam-se os problemas que surgiram durante o uso, as patologias existentes e as causas das mesmas. Com os dados obtidos chega-se a uma avaliação qualitativa da construção, de sua condição de manutenção e das causas que contribuíram para o aparecimento das patologias. Considerando-se o processo de projeto e construtivo utilizados e o estado de manutenção, soluções para correção das patologias e uma adequada manutenção são discutidas e apresentadas. Faz-se também uma avaliação do desempenho térmico do sistema de fechamento utilizado, por meio de uma simulação computacional detalhada e medições experimentais *in loco*, levando em conta as condições de ventilação natural. Observa-se pelos resultados obtidos que a edificação responde de forma adequada às interações térmicas com o meio externo e somente em condições extremas (de frio e/ou calor) haveria necessidade de uma intervenção mecânica de aquecimento e/ou resfriamento, somente em algumas horas do período.

Palavras-chaves: Edificação estruturada em aço. Patologia. Desempenho. Concepção estrutural. Avaliação pós-uso.

ABSTRACT

The industrialized construction in steel, promise of rational solution to the civil construction according to the optimization of the times to delivery, reduction of mentorship, decreasing of wastes, and getting of final quality, linked to the relative exigencies in relation to the conservation of energy and human comfort of the buildings, has shown projects that have presented a global and adequated performance. The internal comfort of one constructed area, in relation to the thermal conditions and to the transmission of noise has been about the ad equation of the closing system (internal and external ones) from the edification beyond of one architectonical plant that appreciates efficiently the local weather factors. It has been seen, often, the use of conventional closing systems with masonry in steel constructions, what is problematic and contradictory because they are systems which get non-proportional times to execution and constructive interfaces of delicated solution. Therefore, it is imperative that constant analyses are made, which might promote the development of these systems (of closing). In this paper, the structural conception and its interferences into the constructive process and in the using of the building of Escola de Minas from Universidade Federal de Ouro Preto-MG have been evaluated; this building is structured in steel with external closing system constituted by conventional systems (masonry and glasses). Through one exploratory investigation, photographical reporting, and data collection, is made one mapping about the physical and constructive conditions of the building and its maintenance. The problems that appear during the use, the present pathologies, and their origins have been identified. With the gotten data, we can arrive to one qualitative evaluation of the construction, its condition of maintenance, and the causes that contributes to the occurring of the pathologies. Considering the process of project and constructive means used and the state of maintenance, solutions to correction of the pathologies and one adequated maintenance have been argumented and presented. One evaluation of the thermal performance of the used closing system has been made, through one detailed computational simulation and experimental measurements in the proper site, considering the conditions of natural ventilation. It is observed through the gotten results that the building reacts adequately to the thermal interactions with the external environment and only in extreme conditions (both heating and colding) there would be necessity of one mechanical intervention of heating and/or colding, just in some hours of the period of time.

Keywords: Construction structuralized in steel. Pathology. Performance. Structural conception. Evaluation after-use.

SUMÁRIO

Resumo	V
Abstract	VI
Lista de Figuras.....	XIII
Lista de Tabelas	XX

CAPÍTULO I

1. INTRODUÇÃO

1.1 A construção estruturada em aço	1
1.2. Segurança e conforto humano de uma edificação.....	3
1.3. Objetivos	5
1.4. Justificativa	6
1.5. Metodologia	7
1.6. Estrutura do trabalho	8

CAPÍTULO II

2. O PRÉDIO DA ESCOLA DE MINAS DA UFOP

2.1. Considerações iniciais	11
2.2. Edificações em aço construídas na década de noventa em Minas Gerais	11
2.3. Concepção de um prédio escolar	17
2.4. Sobre o prédio em estudo	18
2.4.1. Localização e função	18

2.4.2. Concepção arquitetônica	20
2.4.3. Sistemas de fechamento	23
2.4.4. Concepção estrutural	28

CAPÍTULO III

3. O DESEMPENHO GLOBAL DE UMA EDIFICAÇÃO

3.1. Considerações iniciais	37
3.2. Critérios de desempenho	37
3.2.1. Desempenho estrutural	38
3.2.2. Segurança ao fogo	39
3.2.3. Estanqueidade à água	40
3.2.4. Conforto térmico	40
3.2.5. Conforto acústico	41
3.2.6. Conforto lumínico	41
3.2.7. Durabilidade	42
3.3. Desempenho térmico de edificações	43
3.3.1. Caracterização das condições de exposição ao clima	44
3.3.2. Caracterização das exigências de humanas de conforto térmico	46
3.3.3. Caracterização da edificação e de sua ocupação	49
3.3.4. Avaliação do desempenho térmico da edificação	50

CAPÍTULO IV

4. PATOLOGIAS DAS CONSTRUÇÕES METÁLICAS

4.1. Algumas considerações	51
4.2. Corrosão	53
4.2.1. Corrosão uniforme	54

4.2.2. Corrosão em frestas	54
4.2.3. Corrosão por pites	55
4.2.4. Corrosão sob tensão fraturante	56
4.2.5. Corrosão galvânica	56
4.2.6. Prevenção contra a corrosão	57
4.3. Sistemas de pintura	58
4.3.1. Tipos de tintas usadas na proteção de estruturas metálicas	60
4.3.2. Preparação da peça metálica e métodos de aplicação da tinta	61
4.3.3. Patologias das tintas empregadas em edificações	61
4.3.3.1. Patologias de ordem estética	62
4.3.3.2. Patologias de ordem geral	63
4.3.3.3. Patologias de ordem econômica	64
4.3.4. Recomendações gerais	65
4.4. Patologias das ligações	65
4.4.1. Patologias das ligações soldadas	67
4.4.1.1. Soldagem manual	68
4.4.1.2. Soldagem semi-automática	68
4.4.1.3. Soldagem automática	68
4.4.2. Patologias das ligações parafusadas	71
4.4.2.1. Patologias devidas ao colapso das ligações	72
4.4.2.2. Patologias devidas à corrosão da ligação	73
4.4.2.3. Patologia em função de projeto com detalhamento incorreto	74
4.5. Falha estrutural	74
4.5.1. Deformações causadas pelo vento	75
4.5.1.1. Coeficientes aerodinâmicos e pressão interna	75
4.5.1.2. Velocidade do vento	76

4.5.1.3. Objetos carregados pelo vento e vibrações devidas ao vento	77
4.5.2. Deformações causadas pela perda de estabilidade estrutural	77
4.5.2.1. Falhas de concepção e projeto	78
4.5.2.2. Falhas nos processos e detalhes construtivos	79
4.5.2.3. Falhas ou ausência de manutenção preventiva	80
4.5.2.4. Uso de materiais de má qualidade ou utilizados inadequadamente	80
4.5.2.5. Mudança de atividades ou alterações ambientais	80
4.5.3. Flambagens dos elementos estruturais	81
4.6. Falhas devidas à situação de incêndio	82
4.7. Patologias dos fechamentos	85
4.7.1. Fechamentos verticais	86
4.7.2. Fechamentos horizontais	87
4.7.3. Principais patologias detectadas nos fechamentos	87
4.7.3.1. Fechamentos verticais	87
4.6.3.2. Fechamentos horizontais (lajes)	89
4.7.4. Tratamentos de interfaces	91

CAPÍTULO V

5. A AVALIAÇÃO DAS CONDIÇÕES FÍSICO-CONSTRUTIVAS DO PRÉDIO DA ESCOLA DE MINAS E PATOLOGIAS

5.1. Considerações iniciais	97
5.2. Concepção estrutural e suas interferências no processo construtivo e na utilização da edificação	97
5.2.1. Segurança estrutural	97
5.2.2. Fechamentos	102
5.2.2.1. Estanqueidade	102

5.2.2.2. Isolamento térmico	104
5.2.2.3. Isolamento acústico	106
5.3. Manutenção da edificação e patologias identificadas	110
5.3.1. Processos corrosivos	110
5.3.2. Desgaste da pintura	114
5.3.3. Trincas nos fechamentos	114
5.3.4. Infiltrações na cobertura e no revestimento	117
5.3.5. Descascamentos	120
5.3.6. Problemas nos fechamentos internos	123
5.3.7. Problemas de ordem geral	124
5.3.7.1. Problemas relacionados a aspectos construtivos	125
5.3.7.2. Problemas relacionados ao uso da edificação e à falta de manutenção preventiva	129
5.3.7.3. Problemas resultantes de outras patologias e de improvisações	132
5.4. Considerações finais	135

CAPÍTULO VI

6. A AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO TÉRMICO DO PRÉDIO DA ESCOLA DE MINAS

6.1. Considerações iniciais	138
6.2. Verificação do desempenho térmico por meio de medições <i>in loco</i>	138
6.2.1. Principais características dos sensores de medição de temperatura e de umidade	140
6.2.3. Resultados das medições <i>in loco</i>	141
6.2.4. Sobre os resultados obtidos nas medições <i>in loco</i>	151
6.3. Verificação do desempenho térmico por meio de simulação numérica	152

6.3.1. Parâmetros para a avaliação da edificação, via simulação numérica	154
6.3.1.1. Quantidade de ar necessária à ventilação	154
6.3.1.2. Outros parâmetros de entrada para a simulação numérica	156
6.3.2. Resultados das simulações numéricas	163
6.3.3. Sobre os resultados obtidos na simulação numérica	165
6.4. Considerações finais	166

CAPÍTULO VII

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

7.1. Considerações finais	167
7.2. Sugestões para trabalhos futuros	171

CAPÍTULO VIII

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	172
-----------------------------------------	------------

BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTAR	179
----------------------------------------	------------

ANEXO I

I. Projeto arquitetônico do prédio da Escola de Minas	181
--------------------------------------------------------------------	------------

ANEXO II

II.1. Principais elementos estruturais e respectivos perfis	183
II.2. Pórticos típicos	186

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO II

Figura 2.1 – Edifício Montmartre	14
Figura 2.2 – Centro de Vivência da Universidade Federal de Minas Gerais	14
Figura 2.3 – Edifício Ary Scott	15
Figura 2.4 – Edifício Scala Work Center	15
Figura 2.5 – Cobertura e perspectiva do prédio da Escola de Minas	19
Figura 2.6 – Fachada principal do Prédio da Escola de Minas em 1998 e em 2005	20
Figura 2.7 – Planta baixa esquemática da edificação	21
Figura 2.8 – Vista do pátio central	22
Figura 2.9 – Pérgola	22
Figura 2.10 – Fechamento externo visto de fora e de dentro da edificação	23
Figura 2.11 – Fechamento interno industrializado e recorte da divisória	24
Figura 2.12 – Passarela central e detalhe do atirantamento	25
Figura 2.13 – Passarelas menores entre as unidades	25
Figura 2.14 – Rampa para circulação entre os pavimentos	26
Figura 2.15 – Cobertura da edificação	27
Figura 2.16 – <i>Sheds</i> da biblioteca	27
Figura 2.17 – Revestimento externo dos banheiros e escadas e detalhe das juntas de dilatação	27
Figura 2.18 – Revestimento interno dos banheiros	28
Figura 2.19 – Concretagem de laje	29
Figura 2.20 – Ligações soldada e parafusada	30
Figura 2.21 – Sistema aporticado	31

Figura 2.22 – Peças de espessuras diversas e estrutura afastada do fechamento de vidro	32
Figura 2.23 – Vigamento principal x vigamento secundário	33
Figura 2.24 – Vigamento secundário	33
Figura 2.25 – Viga-treliça compondo o pórtico de entrada	34
Figura 2.26 – Viga circular do pórtico de entrada	34
Figura 2.27 – Contraventamento vertical e detalhe de sua ligação	35
Figura 2.28 – Pintura marcante no exterior da edificação	35
Figura 2.29 – Estrutura aparente em concreto armado em outra edificação do campus da UFOP	36

CAPÍTULO III

Figura 3.1 – Carta bioclimática adaptada	45
Figura 3.2 – Zoneamento bioclimático brasileiro	46

CAPÍTULO IV

Figura 4.1 – Distribuição da origem das falhas em edificações	52
Figura 4.2 – Corrosão uniforme em vigamento; solda intermitente formando frestas susceptíveis à corrosão localizada	55
Figura 4.3 – Peças estruturais armazenadas inadequadamente e sujeitas à corrosão	58
Figura 4.4 – Ligação rígida e ligação flexível	66
Figura 4.5 – Cordão de solda de boa qualidade	71
Figura 4.6 – Ligação parafusada susceptível à corrosão	73
Figura 4.7 – Estragos em esquadrias causados pelo vento	76
Figura 4.8 – Trincas em fechamento de alvenaria	88
Figura 4.9 – Infiltrações causando descascamento de revestimento	89

Figura 4.10 – Esquemas de desvinculação entre alvenaria externa e estrutura metálica	92
Figura 4.11 – Esquemas de fixação de painel de concreto em laje e viga de borda e em pilares	93
Figura 4.12 – <i>Inserts</i> metálicos aplicados na união de painéis de concreto e laje, e de painéis de isolite e pilar	94
Figura 4.13 – Junção entre painel de concreto e viga metálica	95
Figura 4.14 – Esquema de proteção de junta aberta entre painéis de concreto em corte e em planta	95
Figura 4.15 – <i>Inserts</i> metálicos de sustentação de fechamento em gesso acartonado; detalhe de fixação dos <i>inserts</i> em fechamento externo	96

CAPÍTULO V

Figura 5.1 – Ligações soldada e parafusada bem executadas; piso interno pouco elevado em relação ao terreno	98
Figura 5.2 – Reforços estruturais em vigas no pórtico de entrada e no segundo pátio ..	98
Figura 5.3 – Esquemas de reforços de ligações vigas-pilares por meio de chapas soldadas	99
Figura 5.4 – Ondulações em mesas de vigas	100
Figura 5.5 – Esquemas de uniões entre elementos estruturais	101
Figura 5.6 – Estrutura x alvenaria	102
Figura 5.7 – Estrutura x fechamento em vidro	102
Figura 5.8 – Contato entre estrutura e fechamento em alvenaria	103
Figura 5.9 – Esquema da disposição estrutura metálica x fechamento externo	104
Figura 5.10 – Janelas de máximo ar	105
Figura 5.11 – Janela impedida de abrir completamente	105
Figura 5.12 – Locais onde poderiam ser feitas aberturas de modo a promover ventilação cruzada nos corredores	106

Figura 5.13 – Variação de perda de transmissão sonora para paredes externas	108
Figura 5.14 – Variação de perda de transmissão sonora para paredes internas	108
Figura 5.15 – Corrosão uniforme em vigas da cobertura	111
Figura 5.16 – Corrosão uniforme em elementos da passarela	111
Figura 5.17 – Corrosão em frestas em viga com solda intermitente e em parafusos da base de pilar	112
Figura 5.18– Pingadeira sobre pilar da passarela e placa de base à amostra	113
Figura 5.19 – Corrosão em viga da cobertura	113
Figura 5.20 – Estado da pintura da estrutura metálica	114
Figura 5.21 – Trincas causadas por infiltração em laje arredondada de cobertura e em parede de alvenaria	115
Figura 5.22 – Trincas em fechamento de alvenaria causadas por incompatibilidade de projetos	115
Figura 5.23 – Trincas devidas a cisalhamento	116
Figura 5.24 – Trinca em fechamento sobre viga contínua apoiada em viga em balanço ..	117
Figura 5.25 – Calha e tubo condutor de água de chuva	118
Figura 5.26 – Infiltração de água de chuva no forro de PVC e na cobertura da biblioteca	118
Figura 5.27 – Corrosão de peças metálicas causada por infiltração e evidências de infiltração na cobertura da biblioteca	119
Figura 5.28– Bolor no revestimento e corrosão na luminária causados por infiltração.	120
Figura 5.29 – Infiltração de água de chuva entre estrutura e fechamento	120
Figura 5.30 – Calha suja	120
Figura 5.31 – Descascamentos de revestimento em laje e em parede externa	121
Figura 5.32 – Infiltração nas juntas de dilatação provocando o descascamento do revestimento no interior da edificação	122

Figura 5.33 – Descascamento e limbo em paredes de alvenaria	122
Figura 5.34 – Estrutura metálica em contato direto com água de chuva	122
Figura 5.35 – Dificuldade de embutimento de fiação	123
Figura 5.36 – Compatibilização e incompatibilização entre fechamento e estrutura ..	124
Figura 5.37 – Aproveitamento inadequado de espaço	126
Figura 5.38 – Aproveitamento adequado de espaço	126
Figura 5.39 – Infestação de aves nos arredores da edificação	126
Figura 5.40 – Piso interno pouco acima do externo	127
Figura 5.41 – Pequena rampa causada por desnivelamento entre blocos	127
Figura 5.42 – Anteparo acima das pias dos banheiros	128
Figura 5.43 – Escadas sem corrimão em um dos lados e sem proteção antiderrapante nos degraus	128
Figura 5.44 – Janelas baixas	129
Figura 5.45 – Uso de maçanetas mais robustas	129
Figura 5.46 – Janelas abertas na biblioteca	130
Figura 5.47 – Janela necessitando de manutenção	130
Figura 5.48 – Janela quebrada	130
Figura 5.49 – Tablado quebrado	130
Figura 5.50 – Cargas de incêndio	131
Figura 5.51 – Emaranhado de fiação	131
Figura 5.52 – Mancha no forro denotando problema na rede elétrica	131
Figura 5.53 – Extintor inadequado próximo a equipamento ligado na rede elétrica ...	132
Figura 5.54 – Abertura improvisada em parede da biblioteca	133
Figura 5.55 – Local propício para a entrada de aves no forro da edificação	133
Figura 5.56 – Esquadria corroída	133
Figura 5.57 – Corrosão acentuada em peças dos banheiros	134

Figura 5.58 – Cerca de arame farpado	135
Figura 5.59 – Manutenção sendo realizada	136
Figura 5.60 – Pilar antes e depois da repintura e sua base com princípio de corrosão	137

CAPÍTULO VI

Figura 6.1 – Localização das salas onde são realizadas medições na planta baixa da edificação	139
Figura 6.2 – Equipamentos de medição de temperatura e umidade internas	139
Figura 6.3 – Equipamentos de medição de temperatura e umidade externas	139
Figura 6.4 – Temperatura interna, sala 06, de 22 a 24/04/2005	143
Figura 6.5 – Umidade interna, sala 06, de 22 a 24/04/2005	144
Figura 6.6 – Temperatura interna e externa, sala 15, 26/01/2006	144
Figura 6.7 – Umidade interna e externa, sala 15, 26/01/2006	145
Figura 6.8 – Temperatura interna e externa, sala 07, de 28 a 29/01/2006	145
Figura 6.9 – Umidade interna e externa, sala 07, de 28 a 29/01/2006	146
Figura 6.10 – Temperatura interna e externa, sala 26, de 02 a 04/02/2006	146
Figura 6.11 – Umidade interna e externa, sala 26, de 02 a 04/02/2006	147
Figura 6.12 – Temperatura interna e externa, sala 110, de 05 a 08/05/2006	147
Figura 6.13 – Umidade interna e externa, sala 110, de 05 a 08/05/2006	148
Figura 6.14 – Temperatura interna e externa, sala 07, de 20 a 22/07/2006	148
Figura 6.15 – Umidade interna e externa, sala 07, de 20 a 22/07/2006	149
Figura 6.16 – Temperatura interna e externa, sala 15, de 25 a 27/07/2006	149
Figura 6.17 – Umidade interna e externa, sala 15, de 25 a 27/07/2006	150
Figura 6.18 – Temperatura interna e externa, sala 26, de 15 a 17/08/2006	150
Figura 6.19 – Umidade interna e externa, sala 26, de 15 a 17/08/2006	151

Figura 6.20 – Fluxograma dos principais elementos para a avaliação do desempenho térmico de uma edificação ventilada naturalmente	154
Figura 6.21 – Localização das salas analisadas na simulação numérica na planta baixa da edificação	157
Figura 6.22 – Modelos dos prédios 1 e 2 da edificação, na configuração de fechamento original, gerados pelo <i>software</i> ESP-r	158
Figura 6.23 – Temperatura interna, sala 03, comparando os fechamentos	163
Figura 6.24 – Temperatura interna, sala 07, comparando os fechamentos	164
Figura 6.25 – Temperatura interna, sala 11, comparando os fechamentos	164
Figura 6.26 – Temperatura interna, sala 15, comparando os fechamentos	165

CAPÍTULO VII

Figura 7.1 – Planta baixa esquemática da ampliação	168
Figura 7.2 – Fachada norte e corte mostrando a ventilação zenital na cobertura e beiral maior na fachada norte	169
Figura 7.3 – Simulações de perspectivas da ampliação	169

ANEXO I

Figura I.1 – Projeto arquitetônico do prédio da Escola de Minas (em 3 pranchas – formato A1)	181
----------------------------------------------------------------------------------------------------	-----

ANEXO II

Figura II.1– Esquemas da estrutura aplicada no prédio da Escola de Minas	183
Figura II.2 – Escada da biblioteca	186
Figura II.3 – Esquemas de pórticos encontrados no prédio da Escola de Minas	186

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO II

Tabela 2.1 – Dimensões dos perfis I soldados utilizados na construção do prédio da Escola de Minas e espessuras dos filetes de solda	32
--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----

CAPÍTULO III

Tabela 3.1 – Características dos fechamentos para edificações da zona climática três .	45
Tabela 3.2 – Critério de avaliação de desempenho térmico para condições de verão ...	48
Tabela 3.3 – Critério de avaliação de desempenho térmico para condições de inverno .	48

CAPÍTULO IV

Tabela 4.1 – Recomendações de TRRF, em minutos, para alguns tipos de edificações .	84
Tabela 4.2 – Edificações isentas de verificação estrutural	84

CAPÍTULO VI

Tabela 6.1 – Características físicas das salas avaliadas	159
Tabela 6.2 – Componentes, propriedades termofísicas e coeficientes globais dos elementos dos sistemas de fechamento ($T = 300K$)	160
Tabela 6.3 – Perfis de ocupação/iluminação das salas em estudo	162
Tabela 6.4 – Outros dados utilizados na avaliação da edificação	163
Tabela 6.5 – Características dos fechamentos para edificações da zona climática três	166

ANEXO II

Tabela II.1 – Perfis de vigas aplicadas no nível da cobertura	184
Tabela II.2 – Perfis de vigas aplicadas no nível do segundo pavimento	185
Tabela II.3 – Perfis de pilares	186

CAPÍTULO I

1. INTRODUÇÃO

1.1. A construção estruturada em aço

A tendência de industrialização da construção mundial indica o crescente desenvolvimento de edificações em aço. Mas a “cultura do concreto”, muito difundida no Brasil, aliada ao elevado custo do aço em relação ao concreto e à falta de conhecimento técnico do sistema construtivo e dos componentes que o acompanham, são fortes oponentes à aplicação dessa filosofia construtiva. A utilização dos sistemas industrializados exige inovações tecnológicas e visão sistêmica da construção. E seus componentes, como os fechamentos e as vedações, devem estar devidamente associados ao processo de produção que deve ser condizente com as condições reais de execução (SALES, 2001).

Face à carência de desenvolvimento tecnológico, do conhecimento de suas características e de mão de obra especializada, os novos sistemas de fechamentos disponíveis, que deveriam acompanhar uma edificação industrializada, encontram, entre os profissionais da construção e no mercado consumidor, bastante resistência quanto à sua aplicação, fazendo com que o uso de sistemas de fechamento convencionais em alvenaria sejam ainda aplicados. Tal procedimento, que leva a uma semi-industrialização da construção, possui caráter antagônico, pois os sistemas industrializados e o convencional demandam velocidades de execução diferentes e a compatibilização das interfaces construtivas, de solução não tão simples, pode comprometer a qualidade final e o desempenho da edificação.

O aço utilizado como componente estrutural traz procedimentos específicos que surgem por ser esse material de natureza e características bastante diferenciadas das do concreto armado. O domínio de uma metodologia construtiva apropriada para o seu uso acarretaria uma segura aplicação do mesmo e dificilmente ocorreriam tais problemas, que muitas vezes são resolvidos de maneira inadequada e ineficiente. Saber lidar com esses problemas significa manter o desempenho das edificações em níveis aceitáveis durante sua vida útil.

Henriques (2005) comenta que no Brasil, diferentemente do Japão e dos Estados Unidos, onde a integração entre técnicas tradicionais de construção e construção industrializada ocorre como uma tendência inovadora buscando a sustentabilidade, percebe-se uma adaptação feita sem planejamento prévio. Por outro lado, a implantação de uma forma sistematizada e programada tende a se consolidar pouco a pouco, mostrando-se como uma alternativa de grande potencial para o desenvolvimento dos processos construtivos em obras como escolas e habitações populares, onde a estrutura metálica com fechamento em alvenaria convencional surge como opção construtiva.

Bastos (2004) explica que, face à globalização de informações e de mercados e ao aumento da produção de perfis metálicos, ocorre uma entrada acelerada de materiais e componentes industrializados no país, com tecnologias incorporadas e, portanto, adequadas a outras realidades. A avaliação de adaptabilidade do uso, que deveria ser de ordem qualitativa é feita, muitas das vezes, visando os lados técnico e financeiro, trazendo à tona uma necessidade de ‘tropicalização’ dos sistemas, proposta por Sales (2001). Essa adaptação se torna necessária por haver aqui condições climáticas e usuários de hábitos e prioridades diferentes de países da Europa e dos EUA, de onde são importadas concepções sistêmicas e muitos componentes da construção industrializada.

A não possibilidade de existência de universalidade e padronização de soluções, que devem estar em acordo com condições climáticas e características culturais nacionais, exige adaptações particulares quanto à cultura e economia locais (von KRÜGER, 2000).

Entretanto, no mercado da construção civil, os profissionais nem sempre estão preparados para lidar com as tecnologias da construção industrializada e sistêmica. Profissionais esses, que compreendem desde os que projetam, passando pelos que estão envolvidos no processo de execução, até os que promovem a manutenção da edificação, deveriam possuir uma visão global da construção de modo a tirar o máximo de proveito desse tipo de filosofia construtiva.

A busca da melhoria da qualidade na construção civil e a solução de problemas decorrentes da racionalização englobam investigações seguidas de avaliações de espaços edificados em uso. Um estudo desse tipo possibilita avaliar os sistemas construtivos empregados quanto às questões da utilização, do conforto interno e das patologias da edificação, favorecendo a

evolução em futuros projetos que empreguem inovações tecnológicas (BASTOS E SOUZA, 2005).

1.2. Segurança e conforto humano de uma edificação

Mitidieri Filho e Guelpa (1992), apud von Krüger (2000), colocam que a palavra desempenho, que significa comportamento em utilização, caracteriza o fato de que um produto deve apresentar certas propriedades a fim de cumprir sua função quando sujeito a determinadas influências ou ações em sua vida útil. Von Krüger (2000) completa que os requisitos e critérios de desempenho expressam, respectivamente, as condições qualitativas e quantitativas, às quais a edificação, quando submetida a determinadas condições de exposição, deve atender para satisfazer às exigências do usuário.

O desempenho global de uma edificação está também relacionado ao conforto interno que ela oferece a seus usuários. Esse conforto está associado às condições térmicas internas (temperatura e umidade do ar), às condições internas de iluminação e à transmissão de ruído e vem da adequação dos sistemas de fechamento externo e interno da edificação. Também contribui para o desempenho da edificação um projeto arquitetônico que aproveita, de forma eficiente, as condições climáticas locais, associando-as à finalidade para a qual a edificação será utilizada, amenizando ao máximo o consumo de energia.

A temperatura interna de um edifício é primordialmente influenciada pelos parâmetros climáticos externos, representados pela radiação solar e temperatura externa, além das cargas internas, ou seja, pelas atividades humanas, lâmpadas e equipamentos (AKUTSU, 1998; PINTO, 2000). Um dos objetivos de projetistas e usuários deve ser o de obter um ambiente interno confortável independente das condições externas, com o mínimo de consumo de energia artificial, tanto para a questão do microclima quanto para a questão da iluminação no interior. Simulações numéricas das interações térmicas entre o ambiente construído e as condições climáticas externas ou medidas experimentais *in loco* são métodos de análise de desempenho térmico em edificações, que podem possibilitar a melhoria na utilização de uma edificação habitada, além de contribuírem para a elaboração de projetos de outras construções.

O desempenho final da edificação está, assim, relacionado com o sistema de fechamento adotado, o qual deve oferecer isolamento térmico e de ruído adequados, e à compatibilização entre estrutura de aço e sistema de fechamento, sendo essa associação feita por meio de junções que devem fornecer isolamento acústico e estanqueidade. No entanto, essa associação, representada pelas fixações e juntas, é, às vezes, dificultada devido ao fato de que os dois sistemas, estrutural e de fechamento, devem trabalhar independentemente (SALES, 2001). As junções devem apresentar mobilidade suficiente para se adaptar à flexibilidade do aço e um tratamento técnico inadequadamente adotado nas interfaces causa o surgimento de patologias, que, vez por outra, deixam o consumidor em dúvida quanto à funcionalidade da construção racionalizada.

Assim, a falta de conhecimento técnico na execução, a concepção incorreta de projetos, o emprego de materiais impróprios, a falta de manutenção e a simples utilização da edificação sem manutenção adequada são alguns dos fatores que levam ao aparecimento de patologias. Uma das diretrizes da racionalização é a redução de custos, porém os aspectos da qualidade e a segurança devem ser colocados sempre à frente. Uma edificação deve oferecer condições de uso, segurança e conforto de modo que as atividades ali desenvolvidas não sejam interferidas pelo meio no qual essa construção está inserida. As patologias que venham a ocorrer podem trazer alterações dessas atividades, vindo daí a necessidade de se estar preparados para identificar e propor soluções para os problemas. Essa preparação advém do estudo das patologias, que são processos evolutivos e quanto antes detectadas, menor o custo e maior a facilidade de recuperação. Entretanto, os estudos relacionados às patologias das construções em aço ainda são poucos, pois normalmente as publicações que tratam sobre estrutura metálica se restringem a comportamento, cálculo e dimensionamento das mesmas (CASTRO, 1999).

No Brasil, poucos trabalhos abordam temas como técnicas, procedimentos, materiais e manutenção para construção em aço e até mesmo o ensino universitário, que enfatiza muito a construção em concreto armado, oferece pouca abordagem sobre a estrutura metálica, o que faz com que a ocorrência de fenômenos patológicos seja bastante freqüente e a importância do estudo das patologias resida na necessidade de divulgação de manifestações patológicas em edificações em uso e de suas respectivas soluções (GOMIDE *et al.*, 2006).

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo geral

Avaliar as condições físico-construtivas e o desempenho de uma edificação estruturada em aço, construída entre 1994 e 1996, em pleno uso, onde funcionam cursos de engenharia da Universidade Federal de Ouro Preto, situada no município de Ouro Preto, no estado de Minas Gerais, o prédio da Escola de Minas (EM/UFOP).

1.3.2. Objetivos específicos

Para a análise dessa edificação, que é estruturada em aço, mas utiliza fechamento externo constituído por sistema convencional (alvenaria e vidro) e como fechamento interno encontra-se sistema convencional em uma parte e sistema industrializado em outra, faz-se uma investigação acerca de seu processo de projeto e de execução e de seu estado de uso.

Para se alcançar uma avaliação global pós-uso do objeto de estudo, contemplam-se os seguintes objetivos específicos:

- Avaliação da concepção estrutural e de suas interferências no processo construtivo e na utilização da edificação;
- Avaliação dos sistemas de fechamento utilizados;
- Avaliação das interfaces entre a estrutura e os sistemas de fechamento;
- Avaliação do desempenho térmico da edificação;
- Verificação do estado de manutenção da edificação;
- Identificação dos problemas existentes durante o uso, das patologias e das causas das mesmas; e
- Sugestão de soluções para correção dessas patologias, contribuindo para uma adequada manutenção da edificação.

1.4. Justificativa

A flexibilização proposta pelo uso do aço na construção permite a realização de projetos cada vez mais arrojados, demonstrando que a Arquitetura e a Engenharia se unem a fim de tornar possíveis edificações de desempenho adequado. A primeira buscando a estética, a leveza e a integração da construção com seu entorno, enquanto que a segunda, por meio da modernização da tecnologia que vem sendo empregada no cálculo estrutural, proporcionando segurança e economia às edificações.

A evolução das construções foi marcada pela disponibilização de materiais e métodos de construção, pelo conceito e disposição de formas e espaços, pela procura do belo, do funcional e do seguro, refletindo o nível de conhecimento, desenvolvimento e cultura da sociedade. Além dos sistemas estrutural e construtivo, a eficiência global do ambiente construído é outro fator importante no projeto e construção de qualquer habitação, pois uma edificação projetada de forma adequada para o clima no qual está inserida torna-se confortável, além de economizar energia.

Essa edificação, originada por um projeto onde os diversos sistemas são gerenciados de forma integrada e com o emprego de materiais e sistemas construtivos adequados, que ofereça aos seus usuários rapidez de execução, qualidade, conforto, segurança e economia em custos diretos, como água, luz, telefone etc, e em custos indiretos, tais como manutenção e operação, é, atualmente, denominada de edificação inteligente.

Na construção industrializada, as superfícies que definem os espaços construídos de uma edificação, definidas pelos sistemas de fechamento, constituem uma das etapas mais importantes no processo construtivo, pois estão diretamente ligadas à imagem e ao conforto térmico e acústico da edificação.

A interface entre a estrutura e o sistema de fechamento são partes relevantes para um bom desempenho da edificação, sendo o fechamento externo e a estrutura quase sempre tratados de forma independente, fazendo com que a compatibilização das interfaces construtivas, de solução nem sempre usual, comprometa a qualidade final e o desempenho dessa edificação.

Além do fechamento adequado, o aproveitamento das condições climáticas locais demonstra a funcionalidade das construções. Ventilação e iluminação naturais adequadas,

além de bem-estar, trazem economia e saúde ao usuário. Ressaltando-se que, como o clima varia de região para região, não há como padronizar soluções, fazendo-se necessário avaliar edificações habitadas visando caracterizar seu desempenho ambiental. Condições térmicas, de iluminação e acústica são fatores de relevância na determinação do conforto ambiental. Esses fatores reunidos influenciam no bem estar dos usuários da edificação, não importando a finalidade do espaço edificado, se residencial, comercial, escolar etc. Um projeto arquitetônico ideal deve procurar explorar, de forma eficiente, as condições climáticas locais em busca de um microclima favorável.

Uma avaliação pós-construção de estudo de caso poderá, por fim, servir como informação retro-alimentadora para uma real evolução dessa cultura construtiva em aço (BASTOS, 2004).

Um local público é freqüentado por inúmeras pessoas. Em se tratando de uma escola, onde professores, funcionários e alunos passam em seu interior várias horas diárias, o tipo de atividade desenvolvida requer certo nível de conforto ambiental, o qual poderá afetar no aprendizado dos alunos e no desempenho das atividades dos outros usuários. As condições de conforto interno, mesmo sendo estabelecidas na fase de projeto, só são constatadas durante o uso da construção, face às atividades predominantes e às variações climáticas locais. A análise de edificações em uso possibilita diretrizes para futuros projetos arquitetônicos, inclusive escolares, e propõe melhorias de conforto térmico para aumentar o aproveitamento educacional (NOGUEIRA e NOGUEIRA, 2003; GRAÇA *et al.*, 2006).

1.5. Metodologia

Nesse estudo é realizada uma avaliação pós-uso de um espaço edificado, procurando-se contribuir igualmente para promover um melhor desempenho de edificações e um maior desenvolvimento de sistemas de fechamento mais adequados.

Para que os objetivos propostos sejam atingidos, o desenvolvimento do trabalho abrange uma avaliação das condições físico-construtivas e uma avaliação de desempenho térmico da edificação objeto de estudo.

A avaliação das condições físico-construtivas e de estado de manutenção da edificação é realizada por meio de uma investigação exploratória e de coleta de dados *in loco*, ou seja, por meio de uma inspeção visual e levantamento fotográfico do estado da estrutura e das ligações entre os elementos estruturais e entre esses elementos com os fechamentos utilizados, seguida de análise de projeto.

Faz-se um estudo da concepção estrutural empregada, suas interferências no processo construtivo e na utilização da edificação e também uma avaliação dos sistemas de fechamento utilizados, observando as interfaces entre a estrutura e os sistemas de fechamento.

A avaliação do desempenho térmico é realizada por meio de medições *in loco* e via simulação numérica. A simulação numérica do desempenho térmico de uma edificação leva em conta a resposta global de seu projeto arquitetônico, considerando as seguintes etapas:

1. Caracterização das exigências humanas de conforto térmico;
2. Caracterização das condições típicas de exposição ao clima;
3. Caracterização da edificação e sua ocupação;
 - 3.1. Caracterização das condições de ocupação;
 - 3.2. Caracterização dos materiais, elementos e componentes da edificação;
 - 3.3. Caracterização do projeto arquitetônico.

1.6. Estrutura do trabalho

Procurando-se cumprir os objetivos propostos, esse trabalho é organizado em mais sete capítulos, além desse capítulo introdutório, e 2 anexos. Nesse primeiro capítulo são feitas algumas considerações iniciais sobre a construção estruturada em aço e sobre o desempenho global de uma edificação focando segurança e conforto interno. Aqui são apresentados ainda os objetivos e a justificativa da pesquisa e a metodologia utilizada para a sua realização.

No capítulo 2, é apresentado o prédio da Escola de Minas da UFOP, fazendo-se antes uma contextualização das edificações em estrutura metálica construídas na década de noventa, época da construção da edificação em estudo, no estado de Minas Gerais, e um enfoque acerca da concepção de um prédio escolar. A seguir, a edificação em estudo é descrita, bem como seus sistemas de fechamento e a estrutura em aço utilizada.

No capítulo 3, o desempenho global de uma edificação é enfocado, por meio de critérios de desempenho propostos pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo e pelo projeto de norma 02:136.01-001/1 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (IPT,1998; ABNT, 2006), enfatizando-se o desempenho térmico das edificações, um dos fatores que contribuem para o conforto térmico interno ambiental.

O estudo das patologias das construções constitui ferramenta importante na prevenção e correção desses fenômenos. Procurando-se contribuir com esse estudo, no capítulo 4, são abordadas as principais patologias que ocorrem nas estruturas metálicas das edificações e nos sistemas de fechamento das construções industrializadas.

No capítulo 5, apresenta-se uma avaliação das condições físico-construtivas do prédio da Escola de Minas e as principais patologias detectadas. Por meio de um estudo da concepção estrutural e suas interferências no processo construtivo e na utilização da edificação, são tecidas considerações sobre a segurança estrutural, sobre o isolamento térmico oferecido pelos sistemas de fechamento e sobre a estanqueidade e isolamento acústico proporcionados pelas interfaces entre estrutura de aço e sistemas de fechamento adotados. São colocadas também algumas soluções para uma correta manutenção do edifício.

A seguir, no capítulo 6, tem-se uma avaliação do desempenho térmico da edificação em estudo, realizada por medições *in loco* da temperatura e da umidade e por análise numérica. Na análise numérica, são feitas simulações considerando-se a edificação em estudo com seus sistemas de fechamento originais, mostrados no capítulo 2, e com outros tipos de fechamento externo praticados no mercado. Os resultados obtidos pelos dois métodos são apresentados graficamente, comparados e discutidos.

No capítulo 7, as conclusões da pesquisa são feitas em forma de considerações finais e são indicadas algumas sugestões para trabalhos futuros. As referências bibliográficas e a bibliografia complementar estão relacionadas no capítulo seguinte.

No anexo I, apresenta-se o projeto arquitetônico do prédio da Escola de Minas, plantas baixas do primeiro e do segundo pavimento, mostradas de forma reduzida no capítulo 2, bem como os cortes e as fachadas, na escala 1:250.

No anexo II, estão esquematizados os principais elementos estruturais e os respectivos perfis aplicados nos níveis do segundo pavimento e da cobertura, nos dois blocos da edificação.

CAPÍTULO II

2. O PRÉDIO DA ESCOLA DE MINAS DA UFOP

2.1. Considerações iniciais

Descreve-se nesse capítulo a edificação objeto de estudo, enfatizando-se sua concepção arquitetônica, os sistemas de fechamento aplicados e a concepção estrutural. Faz-se antes uma contextualização das edificações em estrutura metálica construídas na década de noventa, época da construção da EM/UFOP, no estado de Minas Gerais e um breve enfoque acerca da concepção de um prédio escolar.

2.2. Edificações em aço construídas na década de 90 em Minas Gerais

No Brasil, na década de 80, as modificações nos currículos dos cursos de engenharia e arquitetura incluindo disciplinas relacionadas ao cálculo e utilização da estrutura metálica, a atuação das associações de classe, sobretudo da Associação Brasileira da Construção Metálica (ABCEM) e do *marketing* associado às siderúrgicas, a publicação de diversas obras sobre o tema de construções metálicas e a divulgação das obras executadas, a revisão das normas para cálculo e construção de estruturas metálicas foram fatores que contribuíram para uma maior difusão das construções em aço nos anos 90 (REZENDE e ABIKO, 2004).

O emprego do aço na construção civil contribuiu de maneira considerável para o aumento de seu consumo no país. Em 1990 a indústria da construção consumiu 28,4% da produção total de aço no Brasil. Já em 2000 esse índice aumentou para 31,2%. Nas edificações esse material pode estar presente como parte das obras ou como elemento principal. Dentre as vantagens que levam ao consumo de aço como elemento principal em edificações, destacam-se:

- redução no peso da edificação, que permite economia de até 30% nos custos das fundações;
- redução do tempo de execução das obras em até 40%, o que torna esse sistema atrativo para empreendimentos de cronograma acelerado, como *shopping centers*, supermercados e escolas;
- melhor aproveitamento da área construída, uma vez que pilares e vigas de aço apresentam seções bem mais esbeltas que os equivalentes em concreto armado;
- melhor organização do canteiro de obras;
- boa compatibilidade com os materiais de fechamento existentes no mercado;
- garantia de qualidade e precisão construtiva;
- possibilidade de reaproveitamento de todo o material.

Numa tentativa de situar a edificação objeto desse estudo em relação a outras construções estruturadas em aço, listam-se a seguir algumas edificações mineiras em estrutura metálica construídas na década de 90, informando-se os respectivos sistemas de fechamento adotados.

a) Em 1990, Administração Central da Andrade Gutierrez, situado em Belo Horizonte, de 4.188 m² de área construída e 3 pavimentos, estrutura aparente, aço USI-SAC-41, sistema de fechamento externo constituído por alvenarias em tijolos maciços aparentes pintados de branco e lajes de concreto moldadas *in loco* (DIAS, 1993).

b) Em 1991, edifício comercial Montmartre, situado em Belo Horizonte, de 9 pavimentos e 29 m de altura, 1.908 m² de área construída, estrutura aparente, aço USI-SAC-41, sistema de fechamento externo constituído em alvenaria revestida com cerâmica vermelha e esquadrias de vidro, lajes de concreto moldadas *in loco*, Figura 2.1 (DIAS, 1993).

c) Em 1991, edifício de apartamentos Parque Fairmont, situado em Belo Horizonte, de 30 pavimentos em 17.830 m² de área construída, pilares revestidos, contraventamentos embutidos e vigas aparentes, aço 1140 t ASTM-A-36, sistema de fechamento constituído

por alvenaria com acabamento externo em granito e esquadrias de vidro, lajes moldadas *in loco* (DIAS, 1993).

d) Em 1992, edifício comercial Capri, situado em Belo Horizonte, de 7.220 m² de área construída em 17 pavimentos, estrutura aparente na base e no topo da edificação, aço USI-SAC-41, sistema de fechamento externo constituído por alvenaria revestida com cerâmica e esquadrias de vidro, lajes de concreto moldadas *in loco* (DIAS, 1993).

e) Em 1995, Centro de Vivência da Universidade Federal de Minas Gerais, situado em Belo Horizonte, de aproximadamente 6.250 m², estrutura aparente de aço USI-SAC-41, sistema de fechamento em alvenaria de tijolo aparente e vidro, laje maciça e telhas cerâmicas, Figura 2.2 (DPFO/UFMG, 1996).

f) Em 1995-1997, Edifício comercial Ary Scott, situado em Belo Horizonte, de 10 pavimentos tipo e dois níveis de garagem, em estrutura metálica não aparente, sistema de fechamento externo em alvenaria de blocos de concreto celular e interno em painéis de gesso acartonado, lajes de piso *steel deck*, Figura 2.3 (SALES, 2001).

g) Em 1998, Pavilhão de Aulas II (PVAII) da Universidade de Viçosa, situado em Viçosa, de aproximadamente 11.000 m², sistema de fechamento composto por alvenaria de blocos de concreto celular autoclavado e laje em *steel-deck*.

h) Em 1996-1998, edifício comercial Scala Work Center, situado em Belo Horizonte, de 19 pavimentos, estrutura metálica não aparente, sistema de fechamento externo em alvenaria de blocos de concreto celular e interno em painéis de gesso acartonado, lajes em *steel deck*, Figura 2.4 (SALES, 2001).

i) Em 1998-2000, Shopping Center Uberlândia, situado em edifício comercial de 06 pavimentos, estrutura metálica, sistema de fechamento externo em painéis pré-moldados de concreto armado e interno em painéis de gesso acartonado e alvenaria com blocos de concreto celular, lajes de piso em painéis pré-moldados de concreto armado (SALES, 2001).

j) Em 1999-2000, edifício comercial Piemonte, situado em Belo Horizonte, constituído por dois blocos distintos, um estruturado em aço, destinado a escritórios e outro em concreto, destinado a garagens, em 08 pavimentos tipo e um subsolo, estrutura metálica não

aparente, sistema de fechamento externo constituído por painéis de concreto celular autoclavado e alvenaria em blocos de concreto celular, sistema de fechamento interno constituído por painéis de gesso acartonado e lajes de piso em concreto moldado *in loco* (SALES, 2001).

Observa-se que, nos primeiros anos da década de 90, é comum a aplicação da estrutura metálica com sistemas fechamento constituídos por alvenaria em tijolo cerâmico e laje de concreto moldada *in loco*, significando uma semi-industrialização da construção. Entretanto, nas edificações datadas do final da década, são introduzidas no mercado nacional outras variações de sistemas de fechamento, compatíveis com as estruturas metálicas, mostrando uma sutil tendência de industrialização.



Figura 2.1 – Edifício Montmartre
Fonte: DIAS, 2003



Figura 2.2 – Centro de Vivência da Universidade
Federal de Minas Gerais
Fonte: DPFO/UFGM, 1996

O sistema de fechamento constituído pelas alvenarias de tijolos ou blocos, por ser moldado *in loco*, nem sempre apresenta o grau de racionalização ideal para as construções industrializadas, podendo gerar desperdício de material, de tempo e de mão de obra, principalmente quando executado com metodologia inadequada, trazendo problemas nas interfaces entre estrutura e fechamento. No entanto, é ainda bastante utilizado e difundido no país, por ser uma opção de menor custo e maior facilidade de execução e por ser viável

para qualquer tipo de obra e local. Ainda, podem ser empregados como fechamento interno ou externo, revestidos ou não e aceitam qualquer tipo de acabamento, justificando-se assim sua utilização em edificações escolares públicas (HENRIQUES, 2005).

O emprego do sistema *dry-wall*, ou gesso acartonado, como fechamento interno, passou a ser empregado com mais frequência a partir de 1996, quando começou a ser produzido em larga escala. Esse sistema, composto por placas de gesso revestidas por folhas de papelão nos dois lados, dentre outras vantagens, possui montagem rápida e grande capacidade de absorção de deformações, diminuindo a ocorrência de trincas, esmagamento de paredes e destacamento de revestimentos, podendo ser aplicado até mesmo em áreas molháveis, desde que possua uma película hidrófuga como proteção. Apresenta também a possibilidade de flexibilidade arquitetônica, oferecendo inúmeras possibilidades de disposição de paredes. Possui ainda a mesma resistência a impacto que as alvenarias convencionais, boa capacidade de absorção de som entre ambientes e, por ser constituído por paredes ocas, apresenta a possibilidade de alojamento de dutos em seu interior, permitindo inclusive intervenções futuras sem necessidade de rasgos e quebra-quebras (CEOTTO, 2005).



Figura 2.3 – Edifício Ary Scott
Fonte: SALES, 2001



Figura 2.4 – Edifício Scala Work Center
Fonte: SALES, 2001

A limpeza, a precisão e a rapidez de montagem das paredes internas de uma edificação pelo sistema *dry-wall* exigem que seja necessária a finalização de todo o fechamento externo, revestimentos de fachada e fixação das esquadrias primeiramente. Como os forros também podem ser feitos por esse mesmo sistema, a compatibilização entre eletrodutos e estrutura na fase de armação e concretagem das lajes pode ser descartada, aumentando-se a produtividade da estrutura.

De montagem semelhante ao sistema de fechamento *dry-wall*, porém mais utilizado como fechamento externo, têm-se os painéis em placa cimentícia e os painéis de isolite. O primeiro é composto por placas de cimento reforçado com fibras de celulose ou telas de fibra de vidro, podendo ser adicionados quartzos ou argamassa de baixa densidade, conforme o fabricante. O segundo trata-se de uma alma composta de placa ondulada de poliestireno expandido (EPS) entre duas malhas de tela de aço soldadas revestidas com argamassa projetada (microconcreto). Para fechamento externo são usados ainda os pré-moldados de concreto compostos basicamente por placas de concreto armado, que, por serem placas mais pesadas, dependem de içamento por meio de guias ou guindastes (VON KRÜGER, 2000; SALES, 2001).

Nas edificações industrializadas, pode ser empregado qualquer um desses sistemas de fechamento, ou outro existente no mercado, ficando as únicas exigências por conta do projeto e da mão de obra. O projeto de uma edificação, onde se pretenda aplicar um tipo de sistema de fechamento industrializado, tem que ser concebido como tal, pois improvisações não são admitidas. Quanto à mão de obra, ela deve ser capaz de aplicar o sistema corretamente, com equipamentos adequados, para que as patologias sejam evitadas. Por serem sistemas de montagens relativamente simples são necessários poucos operários.

Aliás, a alta produtividade de aplicação sem necessidade de grande número de operários é uma característica das novas tecnologias disponíveis para a construção civil, inovando o conceito de construtoras de edifícios, as quais vêm deixando de ser grandes empreiteiras de mão de obra para se tornarem pequenas empreiteiras de serviços, oferecendo pessoal treinado e capacitado, de modo que o produto final tenha boa qualidade e desempenho adequado (CEOTTO, 2005).

2.3. Concepção de um prédio escolar

Uma escola deve ser um ponto de referência na comunidade na qual se insere, principalmente, pelo seu caráter sócio-cultural. Uma arquitetura bem desenvolvida e pesquisada pode caracterizar uma edificação de espaços otimizados, influenciando diretamente na prática de suas atividades fundamentais (HENRIQUES (2005).

Para construções escolares públicas adequadas e eficientes, as diretrizes de projeto arquitetônico e sistema construtivos recomendam soluções que forneçam facilidade e rapidez de execução e resultem em edifícios com exigências mínimas de conservação, construídos de materiais de baixo custo, mas que sejam convenientes e garantam qualidade. Recentemente, estão sendo introduzidas ainda preocupações com racionalização de energia e conforto ambiental dos usuários (HENRIQUES, 2005).

O conforto ambiental, fator intimamente relacionado à produtividade de trabalho e ao rendimento escolar, depende do projeto da edificação e de seus ajustes para as atividades de seus usuários. Itens como qualidade do ar interno, temperatura e umidade, condições de ventilação e de iluminação e acústica têm grande influência no aprendizado dos alunos. No entanto, condições de conforto ambiental não são consideradas como ponto de partida para desenvolvimento de projetos e tampouco são avaliadas alternativas de projeto para resolver problemas de conforto. A qualidade de projetos é baseada em escolhas, experiências e habilidades dos projetistas, conhecimento do programa construtivo, compatibilização dos projetos e detalhamento adequado desses. Avaliações de desempenho de edificações escolares, no Brasil, concentram primordialmente o estudo das patologias construtivas com pouca referência às condições de conforto. Sendo assim, os critérios de projeto, de conhecimento profissional e retroalimentação de avaliações de desempenhos construtivos são fatores imprescindíveis para a obtenção da qualidade de edifícios escolares (GRAÇA *et al.*, 2006).

Algumas soluções simples de projeto arquitetônico, que podem garantir economia e bem-estar a alunos e professores, são recomendadas: salas de aula bem dimensionadas, com temperaturas amenas e índices de iluminação e ventilação naturais adequados, e panos de vidro em paredes externas protegidos por beirais ou brises, garantindo iluminação e ventilação naturais nas salas (GRAÇA *et al.*, 2006).

Para melhorar o clima interno, trocas de ar vindas de ventilação cruzada, aberturas posicionadas na parte superior das paredes opostas às janelas, tendem a diminuir a temperatura. Circulação avarandada e pátio interno também permitem o sombreamento nos ambientes, além de proporcionarem áreas de convívio. A escolha de sistemas de fechamento adequados, com características termo-físicas ideais para a situação, constitui outra solução para melhorar o desempenho térmico da edificação (HENRIQUES, 2005).

Uma edificação possui, então, sua arquitetura caracterizada pelo seu tipo, finalidade e utilização e essa arquitetura específica deve suprir os requisitos de maneira adequada e economicamente viável. A opção pela estrutura metálica deve ocorrer quando, na concepção da obra, constata-se uma possível padronização de peças, em decorrência da repetitividade de elementos estruturais, e quando houver uma maior necessidade de aproveitamento da área e rapidez na execução. E é ainda nessa fase que os sistemas complementares, materiais e tecnologias a serem empregadas devem ser definidos, pois, tomando-se como exemplo, a escolha do sistema de fechamento a ser empregado depende de fatores como tipo de estrutura, porte do empreendimento, além de disponibilidade de fornecimento do material e de mão de obra.

2.4. Sobre a edificação em estudo

2.4.1. Localização e função

Importante marco para o progresso da siderurgia brasileira, a Escola de Minas do Brasil, foi fundada em 1876, no município de Ouro Preto, MG, por solicitação do então Imperador D. Pedro II, para formar engenheiros de minas, metalurgistas e geólogos. Nessa época, algumas usinas haviam sido instaladas no país, tais como: usina do Morro do Pilar, em Minas Gerais, e fábrica de Ipanema, em Sorocaba, ambas de 1815, e algumas indústrias que foram abertas em Congonhas do Campo, Caeté e São Miguel de Piracicaba, cidades localizadas em Minas Gerais.

A instalação da Escola de Minas do Brasil em Ouro Preto foi indicada, em 1875, pelo francês Claude Henri Gorceix, sábio engenheiro e professor formado em Ciências Físicas e Naturais, tendo sido o primeiro diretor dessa instituição. Primeiramente instalada na atual Rua Padre Rolim, 167, onde funciona o Educandário Santo Antônio, a Escola de Minas

teve sua sede transferida, em 1897, para o palácio dos governadores, situado no centro histórico da cidade, devido à mudança da Capital do Estado para Belo Horizonte.

Em 1969, foi instituída a Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP) como Fundação de Direito Público, incorporando as duas instituições de ensino superior centenárias: a Escola de Farmácia e a Escola de Minas. Conciliando tradição e modernidade, a Universidade Federal de Ouro Preto expandiu-se com a criação de unidades acadêmicas e com a implantação de mais cursos, tornando-se necessária a edificação de outros espaços físicos para comportar seu crescimento.

Foi construído, então, no campus Morro do Cruzeiro, fora dos limites do centro histórico desse município tombado pelo Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional (IPHAN), o atual prédio da Escola de Minas da UFOP, que abriga os cursos de engenharia dessa instituição. Trata-se de uma edificação estruturada em aço, que teve sua obra iniciada no final do ano de 1994, sendo inaugurada em julho de 1996 (Figura 2.5).

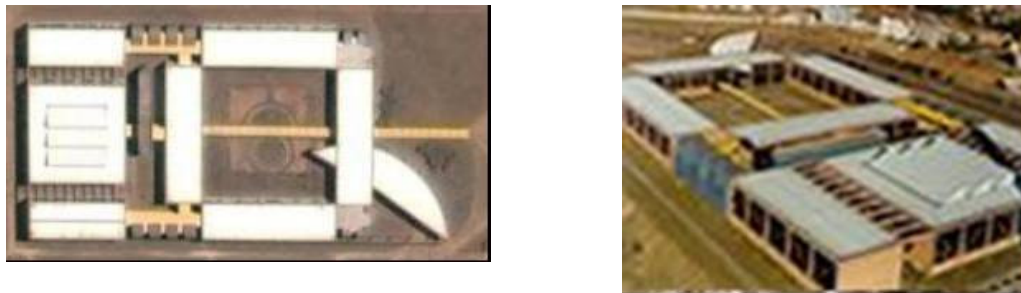


Figura 2.5 – Cobertura e perspectiva do prédio da Escola de Minas

A estrutura metálica possibilitou um período de construção relativamente rápido, aproximadamente de um ano e meio, e, já na praça de entrada, vê-se um expressivo pórtico em aço de onde flui toda a trama de pilares e vigas aparentes em estrutura metálica (Figura 2.6), que remontam às pontes, linhas e estações ferroviárias do início do século XX, enquanto semantizam as novas potencialidades e contemporaneidade da estrutura metálica, reverenciando simultaneamente passado e futuro.



Figura 2.6 – Fachada principal do prédio da Escola de Minas em 1998 e em 2005

2.4.2. Concepção arquitetônica

A edificação, que segue a disposição do terreno de 15.000 m², possui área construída de 7.310 m², é em dois pavimentos e compreende salas da diretoria, laboratórios de computação, salas de estudo (de professores e de pós-graduandos) e secretarias no primeiro bloco. No segundo bloco, encontram-se salas de aula e uma biblioteca. Na Figura 2.7, apresenta-se a planta baixa esquemática da edificação e, no Anexo I, além da planta baixa, são mostrados cortes e fachadas, na escala 1:250.

A distribuição e concepção dos espaços de seu projeto se inspiram na sede anterior da Escola de Minas. Assim, seguindo referências do prédio histórico, a composição dos espaços do prédio atual foi executada segundo dois elementos, que lhe emprestam funcionalidade e simplicidade: os “pátios centrais”, ao redor dos quais os volumes e aberturas estão dispostos, e o “eixo de simetria central”, a partir do qual são desenvolvidos os percursos e a setorização espacial (OLIVEIRA *et al.*, 1996).

Da entrada à praça final, o eixo que simetriza a edificação providencia a modulada ortogonalidade adequada à estrutura metálica e permite uma progressiva gradação de espaços que vai do público do *hall* de entrada, passando por espaços semi-públicos dos pátios internos, até chegar aos espaços de máxima privacidade, que seriam as unidades das salas de aula e da biblioteca (OLIVEIRA *et al.*, 1996).

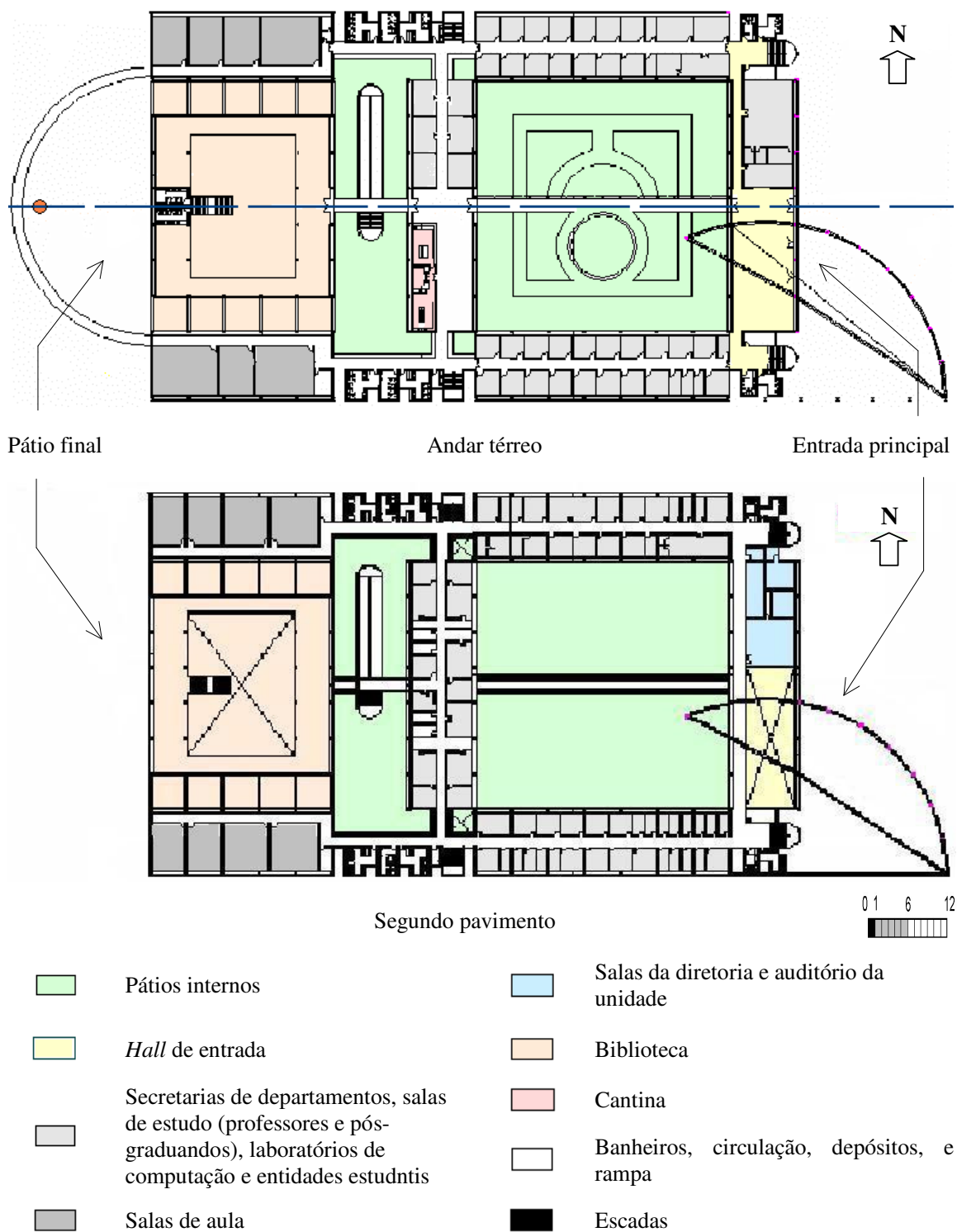


Figura 2.7 – Planta baixa esquemática da edificação

A fachada principal aponta para o leste e o eixo de simetria se orienta de leste a oeste, permitindo disposição ambiental ideal de luz e ventilação para as salas de aula e de estudos, cujas aberturas ficam orientadas para norte-sul. Os pátios internos também contribuem com a ventilação e a iluminação naturais no interior da edificação, além de proporcionar áreas de convívio.

Após o *hall* de entrada, um pátio central possui ao seu redor a administração central e o setor dos departamentos, área de grande atividade e dinamicidade, seguindo um conceito proposto para a escola, Figura 2.8 (OLIVEIRA *et al.*, 1996).



Figura 2.8 – Vista do pátio central

O volume transversal da biblioteca é cercado pelas unidades das salas de aula, preservando a área de acervo de insolação indesejada. Nos pátios finais do prédio, uma pérgola em perfil metálico também oferece um certo sombreamento ao volume da biblioteca. Para permitir ampliação da edificação, não foram previstas aberturas nas unidades das salas de aula a oeste (Figura 2.9).



Figura 2.9 – Pérgola

2.4.3. Sistemas de fechamento

O fechamento externo, no primeiro pavimento, é em alvenaria (tijolo laminado requemado a vista por fora e revestimento em reboco por dentro) até meia altura e vidro no restante da parede. No segundo pavimento, o fechamento externo é todo feito em esquadria de alumínio e vidro (Figura 2.10).



Figura 2.10 – Fechamento externo visto de fora e de dentro da edificação

As paredes internas da área administrativa, no primeiro bloco, onde encontram-se concentradas as salas de estudos de professores e de alunos de pós-graduação e salas de entidades estudantis, além de laboratórios de computação e secretarias de departamentos, face à necessidade de flexibilização e adaptação de sua área conforme o uso, são construídas com material de fechamento industrializado. Nesse bloco são utilizadas divisórias de fácil instalação e manutenção, indicadas para o planejamento de salas e escritórios, possibilitando melhor organização dos espaços e criação de ambientes privativos.

Seu painel é composto por duas chapas duras de fibras de eucalipto prensadas com acabamento em resina melamínica de baixa pressão, na cor gelo, intermediadas por uma camada de papelão em forma de colméia e encabeçamento em madeira tratada, sendo as dimensões dos painéis de $0,035 \times 1,20 \times 2,10 \text{ m}^3$ e de suas portas de $0,035 \times 0,82 \times 2,10 \text{ m}^3$ (Figura 2.11). A montagem desses painéis requer a fixação de guias compostas por perfis

leves de aço, que são parafusadas no teto, no piso e nas paredes de alvenaria. Na edificação em estudo, essas guias em aço estão pintadas com tinta epóxi na cor preta.



Figura 2.11 – Fechamento interno industrializado e recorte da divisória

No segundo bloco, onde estão as salas de aula, o fechamento interno é constituído por paredes de tijolo furado rebocado com argamassa nas duas faces.

Na entrada da edificação e entre os blocos, há uma passarela central coberta com telhas metálicas galvanizadas onduladas, em formato arredondado, presas por tirantes de aço de 0,01 m de diâmetro, fixados em pilares tubulares unilaterais, também de aço, distanciados entre si por 3,00 m. Essa configuração de estrutura presta uma certa leveza a essa cobertura, que possui cerca de 42 m de comprimento (Figura 2.12).

Passarelas menores e varandas permitem o acesso entre as unidades (Figura 2.13). Entre os pavimentos a circulação é feita por escadas e por uma rampa (Figura 2.14).

A iluminação e a ventilação naturais vêm de janelas do tipo máximo ar, que ocupam toda a largura das paredes. A modulação dessas janelas marca a fachada principal e as laterais da edificação. A fachada principal possui pé direito duplo e é envidraçada inteiramente, sem vigamento intermediário.



Figura 2.12 – Passarela central e detalhe do atirantamento



Figura 2.13 – Passarelas menores entre as unidades



Figura 2.14 – Rampa para circulação entre os pavimentos

O piso interno no primeiro pavimento possui elevação de aproximadamente 0,20 m em relação ao terreno e é em agregado cimentício de alta resistência, polido e escurecido, fundido sobre contrapiso de concreto, enquanto que os pátios internos e os arredores do prédio são gramados. O piso do segundo pavimento também é em agregado cimentício de alta resistência, polido e escurecido, sobre laje maciça de concreto.

A cobertura da edificação é feita em telhas de aço zincadas pré-pintadas em uma parte e telhas de fibra de vidro em outra, apoiadas sobre terças de perfis de chapas C dobradas e fixadas por parafusos também zincados. O forro é em PVC e reveste a laje maciça nos dois pavimentos, existindo entre o forro e a laje um espaço de aproximadamente 0,40 m (Figura 2.15).

A cobertura do volume da biblioteca é constituída por *sheds*, formados por treliças do tipo Pratt, de altura igual a 1,90 m, fechados com vidro transparente, o que permite iluminação natural desse setor (Figura 2.16).

Os volumes dos banheiros, escadas e rampa são revestidos externamente com pastilhas cerâmicas de $0,02 \times 0,02 \text{ m}^2$ com juntas de dilatação em perfis U de $0,040 \text{ m} \times 0,025 \text{ m}$ e espessura de 0,003 m em chapa galvanizada dobrada, fixadas com parafusos. Outro revestimento externo aplicado nos volumes dos banheiros e escadas é constituído por chapas metálicas galvanizadas onduladas presas por parafusos (Figura 2.17).

Internamente, os banheiros são revestidos com azulejo cerâmico e em compensado do tipo fórmica com acabamento texturizado. As divisórias dos banheiros também são em compensado do tipo fórmica de espessura 0,020 m e o acabamento é em perfis metálicos do tipo U, L e T, pintados com esmalte sintético (Figura 2.18).



Figura 2.15 – Cobertura da edificação

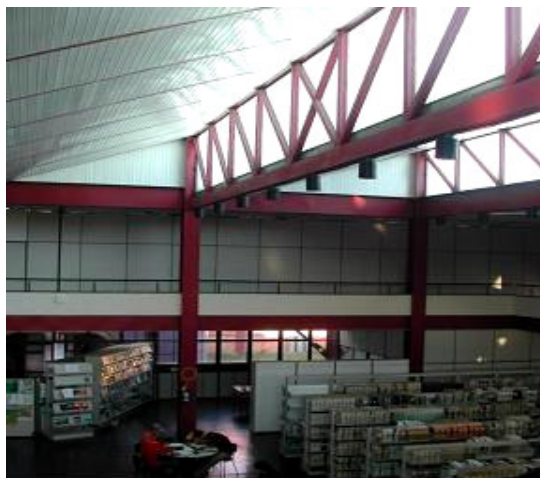


Figura 2.16 – *Sheds* da biblioteca

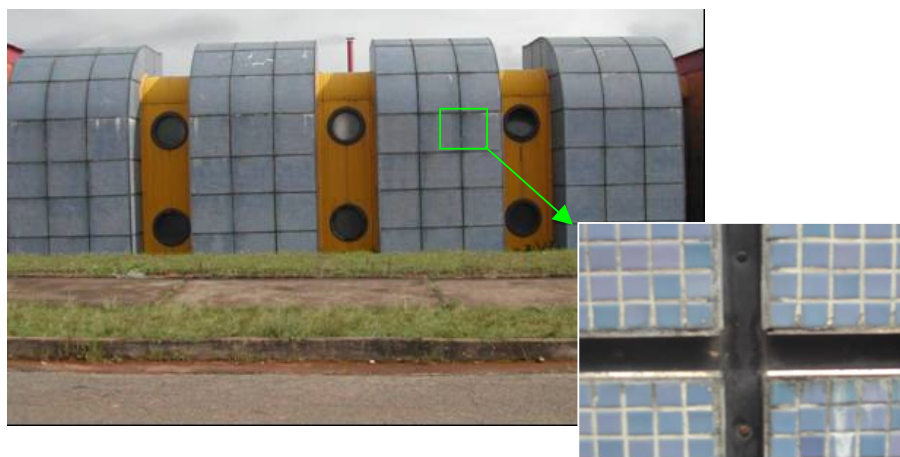


Figura 2.17 – Revestimento externo dos banheiros e escadas e detalhe das juntas de dilatação



Figura 2.18 – Revestimento interno dos banheiros

24.4. Concepção estrutural

A estrutura foi projetada com as seguintes características gerais:

- a) lajes em concreto armado maciço com resistência à compressão maior do que $2,00 \text{ kN/cm}^2$ (Figura 2.19);
- b) vigamento secundário, eixos e filas formando, em conjunto com a laje, um sistema misto interligado por conectores;
- c) estabilidade garantida por sistema aporticado, semi aporticado e pilares em balanço;
- d) vigamento perimetral protegendo a cobertura e fazendo com que os esforços horizontais provenientes da ação do vento estejam a favor da segurança.

Como carregamento foram consideradas a carga permanente, conforme peso específico dos materiais dos elementos estruturais, das telhas e paredes, e as ações variáveis, provenientes da sobrecarga da cobertura ($0,30 \text{ kN/m}^2$) e do piso ($3,00 \text{ kN/m}^2$), além das ações devidas ao vento. O cálculo estrutural foi feito aplicando-se nos pilares a ação das cargas permanentes, das sobrecargas e da ação do vento, e nas vigas a ação das cargas permanentes e das sobrecargas.

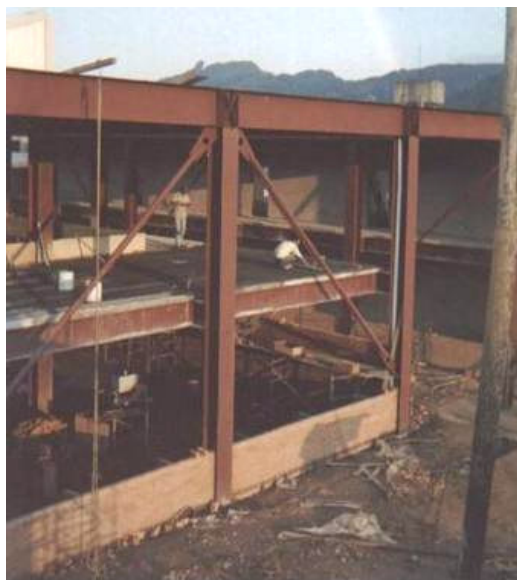


Figura 2.19 – Concretagem de laje

A estrutura em aço foi escolhida pelos arquitetos do projeto, Eliana M. B. Oliveira, Fernando Murilo Gontijo Ramos, Marcus Vinícius Rios Meyer e Marco Aurélio Ferreira da Silva, por oferecer rapidez de execução e outras vantagens, tais como (SILVA, 1997):

- Suas propriedades anti-corrosivas, eliminando-se a necessidade de manutenção constante e a incidência de patologias;
- As dimensões e forma da seção transversal seguindo uma tipologia não muito variada, facilitando a montagem das peças;
- A leveza reduzindo as cargas da fundação;
- A facilidade no transporte e na descarga das peças, devido à localização da construção ser fora do centro histórico da cidade;
- O fato de apresentar custos compatíveis com os sistemas convencionais de construção.

O cálculo estrutural foi executado pela empresa de construção MC Engenharia Ltda e o principal fornecedor de peças metálicas foi a Tecnologia de Montagens Industriais Ltda. O aço empregado na estrutura foi o USI-SAC-41, atualmente denominado de USI SAC 300, da empresa Usinas Siderúrgicas de Minas Gerais S.A. – USIMINAS. Esse aço possui

propriedades anti-corrosivas, boa resistência mecânica (limite de escoamento de 300 MPa e limite de ruptura entre 400 a 550 MPa), boa soldabilidade, conformabilidade e tenacidade, além de ótima aderência da pintura.

Os conectores e os ferros redondos são de aço SAE 1020 e os tubos são de ASTM 106 e DIN 2440. Para o cálculo das estruturas, foram observadas as normas AISC:1989, NBR 6123:1988 e NBR 8800:1986.

As ligações são soldadas na maior parte da estrutura, exceto em algumas vigas, bases de pilares e alguns pontos da passarela central (Figura 2.20), onde são parafusadas. As soldas foram aplicadas segundo normalização da AWS (*American Welding Society*), com eletrodos E 70. Os perfis foram soldados em fábrica, tendo-se executado apenas algumas emendas de peças em campo.

Parte da estrutura em aço é afastada do fechamento de vidro de aproximadamente 0,40 m (Figuras 2.13 e 2.22), o que forma um beiral na cobertura. As vigas e pilares formam uma sequência de dez pórticos na transversal e quatorze na longitudinal (Figura 2.21).



Figura 2.20 – Ligações soldada e parafusada

Para a composição da estrutura foram aplicados perfis soldados de seção transversal tipo H nos pilares, e de seção transversal tipo I e H nas vigas, cujas chapas possuem espessuras variando de 4,75 a 16,00 mm, conforme a função estrutural da peça (Tabela 2.1, Figura

2.22). Perfis de seção transversal tipo caixa também são encontrados em alguns pilares de canto. Outros perfis utilizados em peças mais leves possuem seções transversais tipo: L, T, U e tubular circular.



Figura 2.21 – Sistema aporticado

O sistema estrutural do edifício foi previsto com um sistema de vigas secundárias, calculadas como vigas simplesmente apoiadas em um sistema de vigas principais. Essas últimas transmitem os carregamentos provenientes das vigas secundárias, da cobertura e do segundo pavimento para os pilares, formando os pórticos que contornam toda a edificação. O vigamento principal que sustenta as cargas do segundo pavimento fica embutido no interior da edificação, entre o forro do teto e a laje, e é afastado de 0,5 m dos pilares externos (Figura 2.23 e 2.24).

No Anexo II, encontram-se esquematizados os principais elementos estruturais e os respectivos perfis aplicados nos níveis do segundo pavimento e da cobertura, nos dois blocos da edificação.

A modulação dos pilares dos pórticos é de 6,00 x 11,20 m². As placas de base dos pilares são fixadas nas fundações por chumbadores de aço SAE 1020, devidamente ancorados. Na montagem de algumas vigas foram aplicadas contra-flechas que chegaram a medir 0,05 m.

Tabela 2.1 – Dimensões dos perfis de seções transversais I e H soldados utilizados na construção do prédio da Escola de Minas e espessura do filete de solda

Perfil *	A	B	C	D	E
PS 200/16	200	120	4,75	4,75	3
PS 300/18	300	100	4,75	4,75	3
PS 300/22	300	150	4,75	4,75	3
PS 300/26	300	200	4,75	4,75	3
PS 300/31	300	200	6,35	4,75	3
PS 300/42	300	250	8,00	4,75	3
PS 300/48	300	250	9,50	4,75	3
PS 400/44	400	400	4,75	4,75	3
PS 400/54	400	400	6,35	4,75	3
PS 400/65	400	400	8,00	4,75	3
PS 400/79	400	400	9,50	6,35	4
PS 500/29	500	150	4,75	4,75	3
PS 500/33	500	200	4,75	4,75	3
PS 500/38	500	200	6,35	4,75	3
PS 500/43	500	200	8,00	4,75	3
PS 500/49	500	250	8,00	4,75	3
PS 500/55	500	250	9,50	4,75	3
PS 500/63	500	300	9,50	4,75	3
PS 500/78	500	400	9,50	4,75	3
PS 500/102	500	400	12,5	6,35	5
PS 500/124	500	400	16,00	6,35	5
PS 680/55	680	400	4,75	4,75	3
PS 680/73	680	400	6,35	6,35	4
PS 680/111	680	400	12,5	6,35	5
PS 500/34	500	150	6,35	4,75	3
PS 680/65	680	400	6,35	4,75	3
PS 500/57	500	200	12,5	4,75	3
PS 680/75	680	400	8,00	4,75	3
PS 680/36	680	150	4,75	4,75	3

* Dimensões em mm

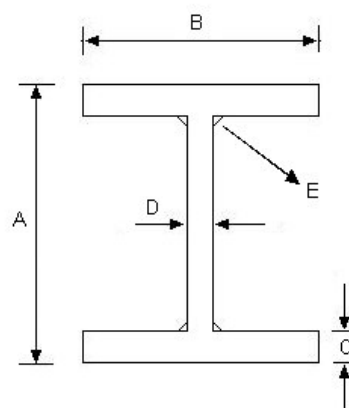


Figura 2.22 – Peças de espessuras diversas e estrutura afastada do fechamento de vidro

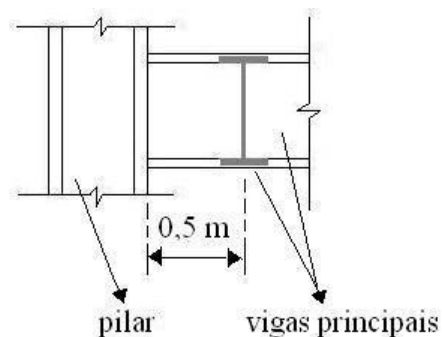


Figura 2.23 – Vigamento principal

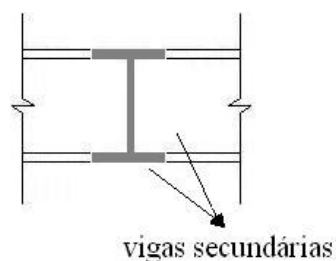


Figura 2.24 – Vigamento secundário

Uma treliça do tipo Pratt de 0,70 m de altura, cuja corda inferior é composta pela associação de dois perfis de seção transversal tipo U enrijecidos, unidos por meio de solda intermitente, e cujos montantes e diagonais são compostos por perfis de seção transversal tipo L, acompanha uma viga de seção transversal tipo I de 41,00 m de comprimento. Tal viga, que possui um dos vãos livres com 30,40 m, está localizada no pórtico da entrada da edificação. Essa estrutura contribui para a sustentação da cobertura dessa área (Figura 2.25) e, compondo esse pórtico, tem-se também uma viga curva que possui 33,75 m de raio (Figura 2.26).



Figura 2.25 – Viga treliçada compondo o pórtico de entrada



Figura 2.26 – Viga curva do pórtico de entrada

Na cobertura do pórtico de entrada, tem-se um contraventamento horizontal que promove a distribuição das cargas de vento atuantes nessa cobertura nos outros componentes da estrutura. Esse contraventamento é em forma de treliça do tipo X, onde foram utilizados perfis de seções transversais I, L e caixa (Anexo II). Contraventamentos verticais em aço tubular de 0,12 m de diâmetro seguem a estrutura no contorno do edifício, exceto na fachada posterior onde não há aberturas. Essas peças, concebidas arquitetonicamente, ressaltam a própria estrutura metálica e a importância da utilização desse reforço nesse tipo de construção (Figura 2.27).



Figura 2.27 – Contraventamento vertical e detalhe de sua ligação

Para prestar destaque ao prédio, o mesmo foi concebido externamente em cores fortes, realçadas pela textura do tijolo aparente: vermelho para os perfis estruturais, amarelo para as coberturas em aço arredondadas das passarelas, varandas e parte dos banheiros, azul para as pastilhas cerâmicas que recobrem as escadas, a rampa e parte dos banheiros (Figura 2.28).



Figura 2.28 – Pintura marcante no exterior da edificação

A escolha pela estrutura aparente pode ser justificada pela vontade de realçar a construção em aço e pela existência, no campus da UFOP, de outros prédios concebidos

arquitetonicamente em estrutura aparente e desvinculada do fechamento, só que de concreto armado (Figura 2.29).



Figura 2.29 – Estrutura aparente em concreto armado em outra edificação do campus da UFOP

CAPÍTULO III

3. O DESEMPENHO GLOBAL DE UMA EDIFICAÇÃO

3.1. Considerações iniciais

O conforto ambiental, caracterizado por fatores como qualidade do ar interno, condições de temperatura, umidade, ventilação, iluminação e acústica, possui influência direta no desempenho de um edifício e na produtividade dos usuários, e, mais particularmente, no aprendizado dos alunos, quando se trata de uma escola. No entanto, condições de conforto ambiental não são pontos de partida de projetistas e avaliações de desempenho possuem pouca referência no país (GRAÇA *et al.*, 2006). Estudos de caso, como o presente trabalho, constituem fontes importantes de identificação da qualidade ambiental de espaços construídos e evitam a repetição de erros em novos projetos.

3.2. Critérios de desempenho

Em 1998, o Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S/A estabeleceu critérios mínimos de desempenho para habitações térreas de interesse social. Esse estudo apresenta o que deve ser analisado em um sistema construtivo, objetivando obter uma habitação adequada no que diz respeito a segurança, qualidade e durabilidade, e visa oferecer subsídios para as entidades do setor na produção de normas técnicas permanentes que definam os padrões mínimos exigidos para uma habitação. Assim, desempenho estrutural, segurança ao fogo, estanqueidade à água, conforto térmico, conforto acústico e durabilidade são os temas abordados (IPT, 1998).

Em 2005, foi publicada a norma NBR 15220:2005, que trata especificamente do desempenho térmico de edificações e engloba os seguintes tópicos:

a) Definições, símbolos e unidades;

- b) Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações;
- c) Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social;
- d) Medição da resistência térmica e da condutividade térmica pelo princípio da placa quente protegida;
- e) Medição da resistência térmica e da condutividade térmica pelo método fluximétrico.

Ressalta-se que a caracterização do comportamento térmico de uma edificação no Brasil não deve ser feita apenas sobre parâmetros previamente definidos como a resistência térmica dos elementos de fechamento. É necessário também considerar as trocas térmicas dinâmicas que ocorrem nos ambientes. Vittorino (2005) comenta que a norma NBR 15220:2005 não é concebida para ser usada como uma ferramenta de avaliação de desempenho, conforme pode ser visto no objetivo e no caráter de seus anexos, onde as diretrizes construtivas são informativas e não normativas.

Em 2006, buscando atender exigências dos usuários, foi publicado o projeto de norma da ABNT 02:136.01-001/1, que trata do desempenho de edifícios habitacionais de até cinco pavimentos. Além dos critérios já citados, adotados pelo IPT, esse projeto de norma considera os seguintes itens como critérios de desempenho: segurança no uso e na operação; conforto lumínico; saúde, higiene e qualidade do ar; funcionalidade e acessibilidade, conforto tátil e antropodinâmico; adequação ambiental.

3.2.1. Desempenho estrutural

O desempenho estrutural da edificação deve ser avaliado sob dois aspectos: o da segurança, ou, do estado limite último, e o da utilização, onde se considera a deformação dos elementos, trincas e outras falhas que podem comprometer a estanqueidade à água e a durabilidade. Devem ser consideradas as ações de caráter permanente e acidentais, além de outros esforços mecânicos decorrentes do uso do edifício, como impacto, cargas suspensas e solicitações transmitidas por portas. Segundo o IPT (1998), para analisar o desempenho estrutural, são propostas três situações, relacionadas a seguir.

a) solicitações resultantes do peso próprio, cargas estáticas de ocupação, ação do vento e outras cargas acidentais, onde são avaliados critérios de estabilidade e resistência estrutural e são considerados coeficientes apropriados de majoração das ações, e estados de trincas ou de deformações inaceitáveis para componentes sujeitos a cargas verticais, cargas impostas por recalques de fundações e cargas horizontais;

b) ação de impactos, onde é avaliado o desempenho da edificação em relação a impactos de corpo mole em paredes e pisos e a impactos de corpo duro em paredes, pisos e coberturas;

c) cargas de ocupação, onde são avaliados os efeitos de peças suspensas, a sustentação de redes de dormir, a interação entre paredes e portas e as cargas concentradas em pisos.

Para todos os ensaios recomendados são indicados os procedimentos ou a norma técnica brasileira relacionada à situação.

3.2.2. Segurança ao fogo

Os objetivos da segurança ao fogo em edificações é analisar o risco de início do incêndio, o risco de propagação e a garantia da segurança do usuário, procurando-se minimizar os riscos associados ao desenvolvimento do incêndio e a sua gravidade. Torna-se necessário, então, estabelecer critérios relativos aos materiais empregados e aos elementos estruturais e de fechamento, para evitar a propagação do incêndio entre unidades minimizando os prejuízos materiais e humanos (IPT, 1998). Para alcançar esses objetivos, devem ser analisados os seguintes aspectos:

a) características físicas dos elementos construtivos, analisando os critérios de propagação de chamas, de desenvolvimento de fumaça e de resistência ao fogo;

b) aspectos construtivos, que analisam os critérios de propagação da fumaça e de propagação do incêndio;

c) instalações elétricas, onde são estabelecidas condições básicas, que devem ser atendidas, correto dimensionamento e execução e uso de materiais confiáveis;

- d) rotas de fugas, que devem estar claramente definidas com caminhos alternativos para o usuário alcançar, com segurança, o exterior da edificação;
- e) implantação de conjunto habitacional, para o qual devem ser analisados os critérios para distanciamento entre as habitações e para comunicação e acesso aos serviços de combate.

3.2.3. Estanqueidade à água

É importante a verificação da estanqueidade à água dos componentes e elementos da edificação, porque a umidade oriunda de infiltrações pode causar doenças bronco-pulmonares aos seus usuários e diversas manifestações patológicas que diminuem a durabilidade do edifício, tais como: trincas resultantes de movimentações higroscópicas, desagregações dos materiais, lixiviação, corrosão de metais, apodrecimento de madeiras. Além desses problemas, a água, incorporada aos materiais, modifica suas propriedades aumentando sua condutividade térmica. O IPT (1998) recomenda a análise da ação da umidade nos seguintes componentes da edificação: fundações, fachadas ou paredes externas, divisórias internas ou paredes em contato com áreas molháveis, pisos e cobertura.

3.2.4. Conforto Térmico

O conforto térmico dos usuários em uma edificação está diretamente ligado ao desempenho térmico dessa edificação. No Brasil, a avaliação do desempenho térmico é feita considerando a resposta global da habitação e não por um componente isolado da mesma, por meio de cálculos das interações térmicas entre o meio interno e o externo, que utilizam *softwares* de simulação numérica, ou por medições *in loco*.

Segundo Akutsu (1998), um processo de avaliação de desempenho térmico de uma edificação possui as seguintes fases:

- a) caracterização das exigências humanas de conforto térmico;
- b) caracterização das condições típicas de exposição ao clima;
- c) caracterização da edificação e sua ocupação;

d) caracterização do comportamento térmico da edificação (determinação das condições internas de conforto térmico);

e) avaliação do desempenho térmico da edificação.

3.2.5. Conforto acústico

A análise do desempenho da edificação quanto ao conforto acústico também deve ser feita considerando-se a resposta global da edificação, como um sistema integrado, e não somente dos elementos construtivos isolados. Uma edificação deve apresentar isolamento acústico adequado dos sistemas de fechamentos para ruídos externos, entre ambientes de seu interior e para ruídos por impactos e de equipamentos (IPT, 1998; ABNT, 2006).

A norma NBR 10151:1987 fixa condições exigíveis para avaliação da aceitabilidade do ruído em comunidades, fixa também um método para a medição de ruído, para a aplicação de correções nos níveis medidos e uma comparação dos níveis corrigidos, com um critério que leva em conta vários fatores ambientais. A norma NBR 10152:1987 fixa níveis de ruído compatíveis com o conforto acústico em ambientes diversos de uma edificação.

Assim, uma edificação, submetida aos limites de estímulos sonoros externos especificados na norma NBR 10151:1987, deve atender aos limites especificados pela norma NBR 10152:1987, no que se refere aos níveis de ruído em seus ambientes internos. Em salas de aula, por exemplo, o nível de ruído não deve ultrapassar 50 decibéis.

3.2.6. Conforto lumínico

Verificar o conforto lumínico de um ambiente consiste em analisar e controlar suas condições de iluminação, de modo que as pessoas possam desenvolver suas atividades visuais com o máximo de acuidade e precisão visual.

Atualmente as pessoas passam a maior parte do tempo em ambientes sujeitos à iluminação artificial e um ambiente bem iluminado além de proporcionar conforto tende a aumentar a produtividade dos usuários. É importante conjugar a luz natural com a luz artificial, pois

essa medida pode melhorar a eficiência da iluminação com economia. Tanto níveis muito elevados como níveis muito baixos de iluminação pode levar à fadiga visual. Mas, além de iluminação suficiente, são necessários ausência de ofuscamento e contrastes adequados para se alcançar o conforto lumínico.

Orientação geográfica da edificação, disposição e finalidade dos ambientes, dimensionamento e posição das aberturas, tipo de janela e de envidraçamento, rugosidade e cor de paredes, tetos e pisos, recursos como poços de ventilação e iluminação e domus de iluminação, interferências externas, como construções vizinhas, constituem premissas a serem consideradas na elaboração de projetos que visem proporcionar condições internas satisfatórias nos ambientes com conforto e segurança para o usuário (ABNT, 2006).

3.2.7. Durabilidade

Durabilidade é a capacidade de uma edificação e suas partes de desempenhar suas funções durante um período de tempo e sob a influência de vários agentes (KLEIN *et al.*, 2004).

O IPT (1998) considera que a análise da durabilidade de uma edificação é muito complexa, pois depende de muitos fatores que vão ocorrendo durante sua vida útil e vários desses aspectos são de difícil determinação. Diante das alterações sofridas pelo meio ambiente e das degradações dos materiais, que estão sujeitos a ações de vários agentes, é inviável elaborar todos os ensaios que correspondam às combinações identificadas. Portanto, como simular com ensaios e avaliações o desempenho de uma edificação ao longo de sua vida útil é muito complicado, torna-se necessário simplificar os problemas, prevendo-se o comportamento do produto ao longo do tempo. Os ensaios assim realizados possuem resultados com valores muito menores do que o real, devido à intensificação da ação do agente agressivo, o que torna esses ensaios de significado limitado, com indicações específicas. O IPT (1998) mostra requisitos e critérios de desempenho para os seguintes materiais: metais, proteção do aço por meio de pintura, PVC (policloreto de vinila), madeiras e materiais pétreos e seus revestimentos.

A vida útil dos componentes de uma edificação é então estimada, desde que sejam utilizadas técnicas adequadas para a construção, controle da mão de obra e produtos de boa qualidade, de preferência com garantia de qualidade dada pelo fabricante.

A avaliação prévia dos produtos e componentes de um prédio, se atenderem às normas técnicas, colabora para a determinação da durabilidade potencial da edificação. No entanto, ressalta-se que a soma das vidas úteis dos componentes da construção não determina a vida útil da edificação e que todas as avaliações e ensaios de qualidade devem ser acompanhados por uma análise de custo global, que inclua os custos iniciais e os custos que surgem durante a vida útil da construção, correspondentes aos serviços de manutenção.

3.3. Desempenho térmico de edificações

O desempenho térmico de uma edificação está relacionado ao seu conforto térmico interno e uma avaliação de desempenho térmico pode ser realizada ainda na fase de projeto, por meio de simulação numérica, ou na fase de ocupação da edificação, por meio de simulação numérica ou por medições *in loco* dos parâmetros climáticos e das condições internas de temperatura e umidade. Quando a avaliação é feita ainda na fase de projeto, há possibilidade de se evitar futuras intervenções arquitetônicas e/ou de instalação de sistema de condicionamento artificial, sem prévio planejamento.

A avaliação do desempenho térmico de um ambiente construído abrange tanto as edificações ventiladas naturalmente quanto as condicionadas mecanicamente e é realizada considerando-se a resposta global da edificação e não somente o comportamento térmico dos elementos do sistema de fechamento isoladamente.

No caso de uma edificação ventilada naturalmente, a avaliação consiste em verificar como os ambientes internos atendem a um conjunto de requisitos estabelecidos em função das exigências humanas de conforto térmico, ou seja, quanto melhores as condições de conforto térmico do ambiente, melhor o seu desempenho térmico. Quando a edificação é condicionada artificialmente, a avaliação é feita sobre a demanda de cargas térmicas para o condicionamento de ar dos ambientes, isto é, quanto menores as cargas térmicas, melhor o desempenho térmico da edificação. Para isso consideram-se as exigências humanas em relação ao conforto, a influência do clima local e o perfil de ocupação do ambiente construído (AKUTSU, 1998).

Quando se projeta uma edificação, para se obter economia no condicionamento do ambiente interno, deve-se procurar tirar o máximo de proveito das condições naturais locais de insolação, ventilação (renovação de ar), iluminação e outros.

3.3.1. Caracterização das condições de exposição ao clima

As condições climáticas no Brasil são caracterizadas por valores horários de temperatura e da umidade relativa do ar e da radiação solar global e pela velocidade média do vento predominante nos dias típicos de verão e de inverno.

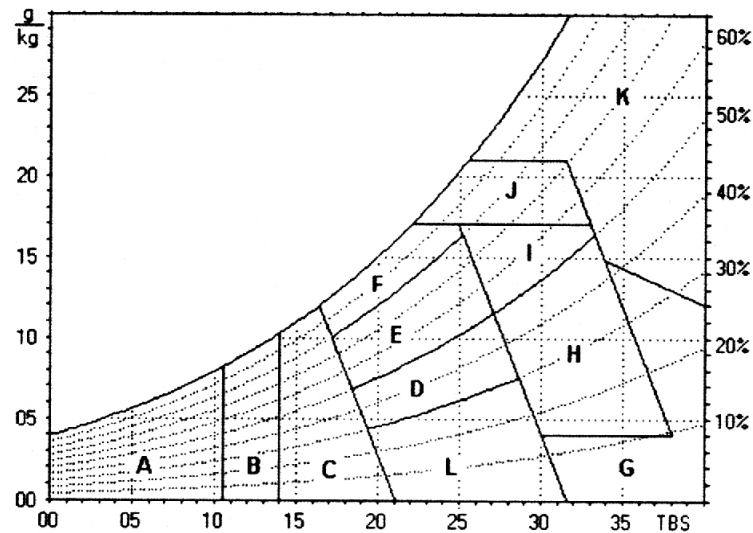
Dias típicos de verão representam dias com frequência de ocorrência de 10%, ou seja, 10% dos dias do período de verão apresentam temperatura máxima diária maior que a do “dia típico de verão”. E, para o inverno, 10% dos dias de inverno apresentam temperatura mínima diária menor que a do “dia típico de inverno” (IPT, 1998; AKUTSU, 1998).

A norma NBR 15220:2005, parte 3, adota uma carta bioclimática adaptada a partir da sugerida por Givoni (1992), (Figura 3.1). As alterações efetuadas sobre a carta de Givoni consideram, além de experiências acadêmicas e profissionais de especialistas de comissões de estudo, alguns aspectos da cultura construtiva inerente a cada região (RORIZ *et al.*, 2000).

Os dados mensais de temperatura e umidade do ar são então representados por uma reta sobre a carta para cada mês do ano e para cada localidade. Assim, por meio da plotagem dos dados das normais climatológicas de cada cidade, é possível obter-se as percentagens de cada estratégia acumuladas ao longo de um ano, permitindo classificar o clima de uma cidade em uma das oito zonas bioclimáticas definidas. Para as cidades cujos dados climáticos não estão medidos, o clima pode ser obtido por meio de interpolação.

Posteriormente, foi estabelecido um zoneamento bioclimático que dividiu o território brasileiro em oito zonas relativamente homogêneas quanto ao clima (Figura 3.2). Para cada região delimitada no zoneamento está formulado um conjunto de recomendações técnico-construtivas, que objetivam otimizar o desempenho térmico de habitações unifamiliares de interesse social, com até três pavimentos, por meio de uma melhor adequação ao clima local. Foram considerados o tamanho das aberturas para ventilação, a proteção das

aberturas, os fechamentos externos e as estratégias de condicionamento térmico passivo. (ABNT, 2005).



- | | |
|-------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|
| A – Zona de aquecimento artificial (calefação) | G+H – Zona de resfriamento evaporativo |
| B – Zona de aquecimento solar da edificação | H+I – Zona de massa térmica de refrigeração |
| C – Zona de massa térmica para aquecimento | I+J – Zona de ventilação |
| D – Zona de conforto térmico (baixa umidade) | K – Zona de refrigeração artificial |
| E – Zona de conforto térmico | L – Zona de umidificação do ar |
| F – Zona de desumidificação (renovação do ar) | |

Figura 3.1 – Carta bioclimática adaptada
Fonte: NBR 15220: 2005

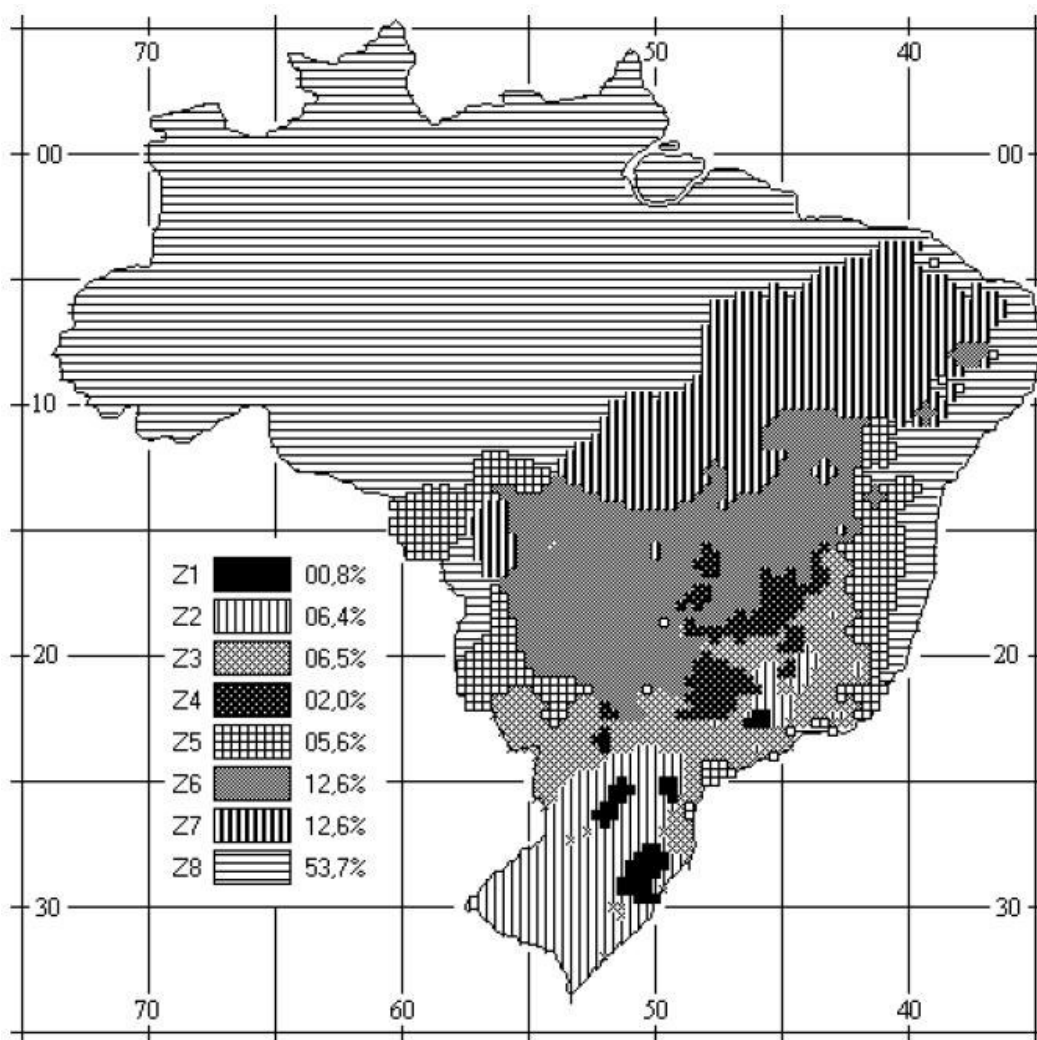


Figura 3.2 – Zoneamento bioclimático brasileiro
Fonte: NBR 15220:2005

3.3.2. Caracterização das exigências humanas de conforto térmico

Não há uma temperatura exata para definir conforto térmico, pois um indivíduo pode sentir conforto numa faixa de temperatura, que ao ser modificada, poderá não causar sensação de desconforto imediata. A sensação de conforto térmico percebida por uma pessoa depende de sua personalidade, sexo, estado de saúde, idade, condições econômicas, além da atividade que está desenvolvendo, do tipo de roupa que está usando, da temperatura, da

umidade relativa e da velocidade do ar em contato com o corpo, e também das temperaturas das paredes da edificação.

As normas ASHRAE 55:1992 e ISO 7730:1994 apresentam critérios para a avaliação das condições de conforto térmico de ambientes com condições térmicas moderadas e consideram que há conforto térmico quando pelo menos 80% dos ocupantes expressam satisfação com as condições ambientais internas. Estabelecem ainda que, para ambientes ventilados naturalmente, pode-se admitir uma temperatura limite máxima de 29 °C no verão e uma temperatura limite mínima de 17 °C no inverno, para atividades leves exercidas no ambiente (escritório, salas de aula, residências). Para o Brasil, esses valores e faixas também podem ser considerados, com uma maior flexibilidade nos valores das temperaturas máxima e mínima.

O estudo do IPT (1998) estabelece níveis A, B e C de desempenho térmico para habitações térreas não condicionadas nos dias típicos de inverno e de verão. Assim, uma habitação será classificada, no verão, como nível A, quando seu ambiente interno apresentar temperatura inferior a 29 °C. Será classificada como nível B, se o valor máximo diário da temperatura do ar interior não ultrapassar o valor máximo diário da temperatura do ar exterior, adotada como temperatura máxima de referência. E, será classificada como nível C, quando o valor máximo diário da temperatura do ar interior for superior ao valor máximo diário da temperatura do ar exterior.

No inverno, uma habitação será considerada como nível A quando o ambiente interno tiver temperatura maior ou igual a 17 °C. Se isso não ocorre, ela será classificada como nível B, quando o valor mínimo diário da temperatura do ar interior for maior ou igual a 12 °C, temperatura mínima de conforto no inverno à noite, para uma pessoa dormindo. O nível C ocorre quando o valor mínimo diário de temperatura do ar interior for menor do que esse valor de referência, não sendo aceitas edificações com desempenho classificado dentro do nível C, tanto para o inverno quanto para o verão (IPT, 1998).

O projeto de norma da ABNT 02:136.01-001/1 estabelece que há condições de conforto térmico quando os valores máximos diários da temperatura do ar interior de recintos de permanência prolongada, sem a presença de fontes internas de calor (ocupantes, lâmpadas, outros equipamentos em geral), são menores que os dados apresentados na Tabela 3.2, no verão, e os valores mínimos diários da temperatura do ar interior de recintos de

permanência prolongada são maiores ou iguais aos dados apresentados na Tabela 3.3, no inverno.

Tabela 3.2 – Critério de avaliação de desempenho térmico para condições de verão

Nível de desempenho	Limites de temperatura do ar no verão
M	Valor máximo diário da temperatura do ar interior < valor máximo diário da temperatura do ar exterior (zonas bioclimáticas 1 a 8)
I	Valor máximo diário da temperatura do ar interior < 29 °C (zonas 1 a 7) Valor máximo diário da temperatura do ar interior < 28 °C (zona 8)
S	Valor máximo diário da temperatura do ar interior < 27 °C (zonas 1 a 7) Valor máximo diário da temperatura do ar interior < 26 °C (zona 8)
M – mínimo aceitável I – nível intermediário S – limite superior	

Fonte: ABNT, 2006

Tabela 3.3 – Critério de avaliação de desempenho térmico para condições de inverno

Nível de desempenho	Limites de temperatura do ar no inverno	
	Zonas bioclimáticas 1 a 5	Zonas bioclimáticas 6, 7 e 8
M	Valor mínimo diário da temperatura do ar interior $\geq 12\text{ }^{\circ}\text{C}$	Dispensa verificação
I	Valor mínimo diário da temperatura do ar interior $\geq 15\text{ }^{\circ}\text{C}$	
S	Valor mínimo diário da temperatura do ar interior $\geq 17\text{ }^{\circ}\text{C}$	
Observação: Nas zonas 1 e 2 o critério deve ser verificado considerando-se fonte interna de calor de 1000W.		

Fonte: ABNT, 2006

Tanto quanto a temperatura, a umidade relativa do ar constitui fator de importância na determinação das condições climáticas de um local, por estar relacionada à amplitude da temperatura diária. Quanto mais seco for o clima, mais acentuadas serão suas temperaturas externas máximas e mínimas. Isso acontece porque as partículas de água em suspensão no ar possuem a capacidade de se aquecerem sob o calor do sol. O ar úmido acarreta mais quantidade de água em suspensão, essa água se aquecendo funciona de dia como barreira da radiação solar que atinge o solo, e à noite como barreira ao calor emanado pelo solo (FROTA e SCHIFFER, 1988).

3.3.3. Caracterização da edificação e de sua ocupação

As condições térmicas de uma edificação são, então, verificadas fazendo-se uma abordagem dinâmica que busca equacionar o equilíbrio entre perdas e ganhos de energia que ocorrem simultaneamente e variam ao longo de um dia. Consideram-se as trocas térmicas que acontecem nos ambientes e as possibilidades de perda e/ou de ganho de energia por meio da ventilação, convecção e por condução através dos elementos da edificação.

Dessa forma, para a avaliação de desempenho térmico são necessários, além das propriedades termo-físicas dos elementos e componentes da edificação, dados como direção e velocidade dos ventos predominantes, dados climáticos locais e informações de ambientes típicos da edificação, que caracterizem sua capacidade térmica, tais como condições de ocupação da edificação durante um período de ocupação (de 24 horas), número de ocupantes, atividades típicas dos ocupantes, número e tipos de equipamentos e número e tipos de lâmpadas.

Para os materiais e componentes são levantados dados que são, geralmente, encontrados em manuais e publicações de instituições de pesquisa, tais como capacidade térmica específica, densidade de massa e condutividade térmica dos materiais, transmitância, absorptância e refletância à radiação solar, emissividade, resistência térmica dos espaços de ar, forma, dimensões e orientação dos elementos e componentes.

3.3.4. Avaliação do desempenho térmico da edificação

O desempenho térmico de uma edificação não condicionada é dado pela resposta térmica da edificação e de seus componentes diante das condições típicas de exposição ao clima e de sua ocupação. Como dito anteriormente, o estudo do desempenho térmico pode ser realizado na fase de projeto, por meio de simulação numérica, ou na fase de ocupação da edificação, por meio de simulação numérica ou por medições *in loco* dos parâmetros climáticos e das condições internas de temperatura e umidade.

As medições seguem os procedimentos e as recomendações apresentadas pelas normas ASHRAE 55:1992 e ISO 7730:1994, que apresentam critérios para a avaliação das condições de conforto térmico de ambientes com condições térmicas moderadas.

Na simulação numérica utilizam-se *softwares* adequados, que consideram o caráter dinâmico de trocas de energia e massa entre a edificação e o ambiente externo no entorno. As informações climáticas e a caracterização da edificação e dos materiais de fechamento (propriedades térmicas dos materiais componentes) são dados de entrada para as interações térmicas, que fornecem como resposta variações diárias de temperatura.

CAPÍTULO IV

4. PATOLOGIAS DAS CONSTRUÇÕES METÁLICAS

4.1. Algumas considerações

No Brasil, o estudo das patologias nas construções tomou impulso quando ocorreram os acidentes com o pavilhão de exposições da Gameleira, em Belo Horizonte, e com o viaduto Paulo Frontin, no Rio de Janeiro, em 1971 (LICHENSTEIN, 1985).

Apesar de ser uma área recente de pesquisa aqui e em outros países, esse estudo apresenta a vantagem de abordar tanto o aspecto da segurança, quanto o desempenho da obra acabada frente a seus usuários, abordando problemas estruturais e problemas dos demais componentes da construção (CASTRO, 1999).

Conforme Helene (1988), apud Cândido (2005), os problemas patológicos surgem devido à ação de agentes agressivos, aos quais a edificação não é capaz de se adaptar no momento oportuno, e raramente a ação do agente agressivo possui valor absoluto. Assim, edificações expostas à ação das mesmas condições de exposição apresentam comportamentos distintos quanto às patologias e ao seu grau de gravidade. A tendência da estrutura, como um todo ou em parte, de apresentar problemas patológicos pode ser originada durante a fase de projeto, de construção ou ser adquirida durante a fase de ocupação.

A determinação das causas das patologias constitui um passo importante na definição de seu diagnóstico, o qual é o resultado de um procedimento de inspeção, levantamento e análise de dados, e permite identificar a natureza, as conseqüências, o alcance e as origens dos fenômenos patológicos.

Uma construção sistêmica está menos sujeita a falhas quando seu gerenciador possui uma visão global de todo o processo construtivo. Esse coordenador deve conhecer e dominar todas as etapas relacionadas, projetos e soluções implementadas durante o desenvolvimento dos serviços. Para uma maior otimização da construção, cada detalhe

deve ser pensado da forma como será executado, evitando-se improvisos no canteiro de obras (SALES, 2001; HENRIQUES, 2005).

Na fase de elaboração e detalhamento de um projeto, avaliações devem acontecer continuamente. Durante a construção, são necessários mecanismos de controle de qualidade, além de sério acompanhamento da obra. E, no período pós-construção e ocupação, outras avaliações asseguram qualidade no ambiente e evitam a repetição de erros.

A construção em estrutura metálica possui uma metodologia própria pouco conhecida e bastante diferenciada da construção em concreto armado, a qual é muito estudada e difundida no ramo da construção civil. A falta de domínio dessa nova técnica construtiva acarreta problemas patológicos que comprometem o desempenho, durabilidade e a vida útil de uma edificação. Outros fatores que levam ao aparecimento de patologias nas construções são: a concepção incorreta de projetos, o emprego de materiais impróprios, a simples utilização da edificação e a falta de manutenção.

Apesar das origens das falhas estarem ligadas às várias fases de uma obra, a etapa de projeto ainda é a maior fonte delas (PRAVIA e BETINELLI, 2003). Erros de concepção estrutural (projeto, detalhamento e dimensionamento), fabricação e montagem são os principais responsáveis pelos danos localizados e pela degradação de uma estrutura antes do previsto. Meseguer (1991), apud Pravia e Betinelli (2003), mostra graficamente a distribuição da origem das falhas em edificações (Figura 4.1), com dados de países europeus.

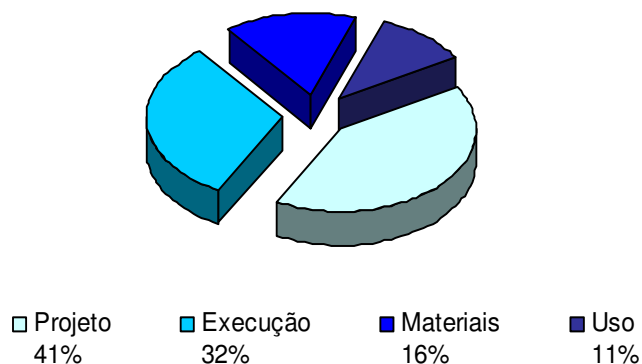


Figura 4.1 – Distribuição da origem das falhas em edificações
Fonte: MESEGUER, 1991

Dentre os agentes causadores de patologias mais comuns estão as sobrecargas, as variações térmicas, as variações de umidade, a água (vapor, líquido, sólido), os agentes da atmosfera, os agentes incorporados, os materiais, a infestação biológica e as operações de transporte (CÂNDIDO, 2005).

Apresentam-se a seguir as principais patologias decorrentes das estruturas em aço e uma abordagem simplificada a respeito de cada fenômeno, os quais sejam: corrosão; patologias das tintas; patologias das ligações; falhas estruturais; falhas devidas a incêndio; patologias dos fechamentos.

4.2. Corrosão

Processo de formação natural e espontânea, a corrosão é o fenômeno patológico de ocorrência mais comum, que acomete os metais ferrosos e não ferrosos como zinco, manganês, alumínio, prata, ouro e platina e outros. Ao atuar, essa patologia origina um elemento de características diferentes daquelas do material original, fazendo com que esse perca suas propriedades, tais como resistência mecânica, elasticidade, ductilidade, estética, etc, comprometendo a durabilidade da obra. Assim, são fatores que influenciam no processo de corrosão as características químicas e físicas do metal e o meio ambiente com suas condições de atuação (RAMANATHAN, 1990; PANOSSIAN, 1993; GENTIL, 1996).

A vida útil de uma estrutura afetada pela corrosão pode ser dividida em duas fases, uma fase inicial constituída pelo tempo antes de qualquer perda de seção do aço, e outra de propagação, que é o período durante o qual ocorre perda de material (BRINCK, 2004).

Gonçalves *et al.* (1989) comentam que essa perda da seção transversal causada pela corrosão tende a aumentar a concentração de tensões em razão da diminuição da área efetiva, reduzindo a capacidade portante da estrutura, podendo levar à ruína da peça por insuficiência da seção ou perda de estabilidade.

Quase todos os casos de formação de corrosão se caracterizam pela transferência de elétrons de um ânodo para um cátodo por meio de uma ligação elétrica em um meio eletrólito que envolve os eletrodos, constituindo a corrosão eletroquímica. Para que esse

fenômeno tenha início, são necessárias então as presenças do ânodo, do cátodo, da ligação elétrica e do eletrólito. Na maioria das situações, o próprio metal se torna o elemento de ocorrência dos três primeiros. No entanto, o eletrólito pode aparecer sob diferentes condições, sendo que, no caso de edificações, ele é formado pela atmosfera, água ou pelo solo, os quais são responsáveis por grande parte dos ataques nas estruturas metálicas.

Um processo corrosivo em estruturas metálicas pode se instalar de maneira uniforme ou localizada. Essa última pode ocorrer em forma de frestas, pites ou corrosão sob tensão fraturante. Outro tipo de corrosão que merece destaque é a corrosão galvânica.

4.2.1. Corrosão uniforme

A corrosão uniforme ocorre quando toda a superfície metálica em contato com o meio corrosivo é tomada por uma camada de óxido pouco aderente, mas capaz de provocar uma diminuição gradual da espessura da peça. Esse tipo de corrosão é o mais comum e aparece principalmente em estruturas expostas à atmosfera e, por ser facilmente detectável, é menos perigosa do que as outras formas (Figura 4.2). Essa corrosão surge quando o aço é empregado sem proteção, com proteção deficiente ou inadequada, juntamente com a falta de manutenção, sendo agravada em decorrência de erros de projeto, tais como disposição inadequada dos perfis possibilitando o acúmulo de água e poeira, inexistência ou insuficiência de furos de drenagem, perfis semi-enterrados ou semi submersos, e transporte, carga e descarga inadequados das peças. A recuperação da peça é feita aplicando-se jato de areia ou outro esquema de limpeza mecânica, que permita a total eliminação do óxido formado, seguida de aplicação de tinta de boa aderência e compatível com a já existente. Se a peça estiver sujeita a um nível de corrosão mais avançado, comprometendo a segurança da estrutura, procede-se ao seu reforço ou até mesmo à sua substituição (CASTRO, 1999).

4.2.2. Corrosão em frestas

A corrosão em frestas surge quando duas superfícies estão em contato ou muito próximas entre si e se forma em consequência do tipo de ligação adotada no sistema ou do contato

do metal com outros elementos, propiciando a formação de depósitos de poeira ou umidade que funcionam como eletrólitos (Figura 4.2). Desse modo, locais com presença de frestas propiciam intenso ataque corrosivo, pois produtos de corrosão atuam como concentradores de tensão, provocando deformação e até ruptura de peças componentes dos elementos estruturais. Às vezes esse tipo de corrosão não é percebida em estado inicial e, por ocorrer em locais de difícil manutenção e acesso, como ligações, bases de colunas e vedações, nem sempre há possibilidade de avaliação do estado de deterioração da peça. Se o processo estiver em estado inicial, recomenda-se limpeza para eliminar a umidade local, vedação da entrada da fresta e aplicação de revestimento protetor. Porém, se a corrosão estiver em estado mais avançado, procede-se ao reforço ou à substituição do elemento. De toda maneira, frestas em juntas soldadas com chapas sobrepostas, juntas rebitadas, ligações flangeadas, ligações rosqueadas e revestimentos com chapas aparafusadas devem ser evitados (CASTRO, 1999).



Figura 4.2 – Corrosão uniforme em vigamento; solda intermitente formando frestas susceptíveis à corrosão localizada

4.2.3. Corrosão por pites

A corrosão por pites é característica dos materiais metálicos formadores de películas protetoras ou passiváveis. A camada passiva é rompida, ficando o metal exposto ao agente agressivo, iniciando um processo localizado de corrosão, que consiste na formação de cavidades de pequena extensão e razoável profundidade. Essa corrosão é de difícil

acompanhamento, principalmente quando ocorre no interior de equipamentos e instalações (CÂNDIDO, 2005).

4.2.4. Corrosão sob tensão fraturante

A corrosão sob tensão acontece quando um material resistente à corrosão generalizada, submetido a tensões de tração, aplicadas ou residuais, é colocado em contato com um meio corrosivo específico, havendo a formação de trincas próximas à região solicitada. A propagação dessa trinca é geralmente lenta, até atingir um tamanho crítico, podendo ocorrer uma ruptura brusca (CÂNDIDO, 2005).

4.2.5. Corrosão galvânica

A corrosão galvânica ocorre quando há contato elétrico entre materiais metálicos diferentes. Esse tipo de corrosão será tão mais intenso, quanto maior for a diferença de potencial eletroquímico entre eles. Por exemplo, o contato do aço inoxidável com o cobre, por serem metais cujos potenciais eletroquímicos são próximos, não propicia a formação de corrosão galvânica.

Por outro lado, o par galvânico formado com o aço carbono e o cobre induz a formação desse tipo de corrosão no cobre, por serem materiais de potenciais eletroquímicos distantes. Esse recurso é utilizado de maneira benéfica em um processo chamado corrosão seletiva, onde a deterioração é desviada para o metal menos nobre, o qual atua como material de sacrifício, protegendo-se o metal principal (CÂNDIDO, 2005).

Elementos galvanizados, ou seja, perfis e chapas de aço revestidos por zinco, são comumente encontrados nas edificações. A função do zinco é estabelecer um par galvânico com o aço, funcionando como metal de sacrifício, formando uma barreira protetora contra os agentes agressivos ao aço. Nas construções o zinco está presente no revestimento de telhas galvanizadas, chapas das lajes *steel deck*, parafusos zincados e chaparias que compõem os rufos, arremates, calhas e outros.

Os elementos galvanizados também sofrem corrosão, a chamada ferrugem branca, resultado da reação do zinco com o oxigênio, formando óxido ou hidróxido de zinco, que se apresenta sob a forma de um composto pulverulento de cor esbranquiçada, sendo comum seu aparecimento em peças armazenadas por longos períodos e ou submetidas a repetidas formações de condensação.

Castro (1999) esclarece que essa corrosão pode ser evitada utilizando-se lonas de proteção no transporte das peças, as quais devem ser protegidas das intempéries, guardadas dispostas com uma leve inclinação, ventiladas, livres de cargas e sem contato direto com o piso e as paredes quando estocadas.

4.2.6. Prevenção contra a corrosão

O aço patinável empregado na confecção dos perfis das estruturas metálicas apresenta boa resistência à corrosão. Mesmo assim, devido à presença e condições da atmosfera atuante, processos corrosivos podem se instalar em estruturas expostas, principalmente.

Alguns cuidados básicos adotados nas etapas de projeto, fabricação e montagem da estrutura podem contribuir significativamente para prevenir o início dessa patologia (INABA, 2005):

- i) Evitar regiões de empoçamento de água e deposição de resíduos;
- ii) prever furos de drenagem em quantidade e tamanho suficientes;
- iii) permitir a circulação de ar por todas as faces dos perfis para facilitar a secagem;
- iv) garantir espaço suficiente e acesso para realização de manutenção (pintura, etc.);
- v) impedir o contato direto de outros metais com o aço para evitar o fenômeno de corrosão galvânica;
- vi) evitar peças semi-enterradas ou semi-submersas.

Acrescenta-se a essas recomendações, a armazenagem adequada das peças antes da montagem das estruturas (Figura 4.3).



Figura 4.3 – Peças estruturais armazenadas inadequadamente e sujeitas à corrosão

4.3. Sistemas de pintura

Embora a corrosão seja espontânea, a proteção dos metais contra ela não é natural, possui um custo e deve ser aplicada de maneira adequada para ter durabilidade (BRINCK, 2004).

Tipos de corrosão diferentes exigem técnicas de proteção adequadas, que dependem do metal, de sua aplicação e do ambiente no qual o mesmo está inserido. Assim, dentre os sistemas de proteção disponíveis, os mais utilizados em estruturas metálicas são (CASTRO, 1999):

- i) revestimentos metálicos (galvanização);
- ii) revestimentos obtidos por conversão química (fosfatização, cromatização);
- iii) revestimentos orgânicos (tintas, vernizes, lacas, esmaltes, resinas, imersões e emulsões).

Dentre esses, os revestimentos orgânicos, ou, as tintas, por oferecerem proteção eficiente, facilidade de aplicação e manutenção, efeito estético agradável e menor custo são os mais empregados. As tintas formam uma barreira entre o meio corrosivo (eletrólito) e o metal, impedindo as reações catódicas entre esses dois elementos e retardando o efeito da corrosão. Há também tintas que possuem algum tipo de pigmento inibidor, o qual funciona como um segundo mecanismo de proteção, como, por exemplo, as tintas de fundo contendo zarcão, cromato ou fosfato de zinco. Essas tintas podem ainda oferecer um

terceiro mecanismo de proteção, conhecido por proteção catódica, semelhante ao que ocorre em elementos galvanizados (NUNES e LOBO, 1990).

Conforme a posição do elemento de pintura, há diferentes classificações e propriedades entre as tintas. O *primer*, primeira demão aplicada sobre uma superfície metálica, é um produto que contém pigmentos anticorrosivos com função de conferir proteção ao substrato e corrigir suas pequenas imperfeições. As tintas intermediárias, tintas neutras de alta espessura, melhoram a proteção do sistema de pintura pelo aumento da camada protetora. E a tinta de acabamento, a qual fornece espessura e aparência final ao substrato, tais como cor e textura, e é a que efetivamente está em contato direto com o meio agressivo. Assim, conforme as condições do ambiente, se agressivo ou não, observa-se um esquema de pintura diferente (NUNES e LOBO, 1990).

As tintas convencionais são suspensões homogêneas de partículas sólidas (pigmentos) dispersas em um líquido (veículo) e outros componentes em menores proporções, chamados de aditivos. Assim, são componentes das tintas os pigmentos, os solventes, os ligantes (veículos) e os aditivos (CÂNDIDO, 2005).

Os pigmentos ficam em suspensão na tinta líquida, são aglomerados pela resina após a secagem, formam uma camada uniforme sobre o substrato e promovem cor, opacidade, coesão e inibição do processo corrosivo, além de conferir consistência, dureza e resistência à película. Nas tintas utilizadas para a pintura do aço, os pigmentos mais encontrados são: zarcão, fosfato de zinco, zinco metálico, cromato de zinco, óxido de ferro e alumínio.

Os solventes possuem por finalidade dissolver a resina e, pela diminuição da viscosidade, facilitar a aplicação da tinta. Em geral, os líquidos orgânicos e a água são os solventes mais comuns.

Os ligantes (veículos) mais comuns são as resinas e os óleos. Sua função é envolver as partículas de pigmento, mantendo-as unidas entre si e o substrato. A resina proporciona impermeabilidade, continuidade e flexibilidade à tinta, além de permitir aderência entre essa e o substrato, solidificando-se pela evaporação do solvente ou pela polimerização, com ou sem intervenção do oxigênio do ar.

Os aditivos são compostos plastificantes não voláteis empregados em pequenas concentrações nas formulações das tintas com o objetivo de lhes conferir características específicas.

4.3.1. Tipos de tintas usadas na proteção de estruturas metálicas

As estruturas metálicas utilizam basicamente três tipos de tinta anticorrosiva em suas diversas aplicações: tintas à base de resinas alquídicas, tintas à base de resinas epoxídicas e tintas à base de resinas de poliuretano, respectivamente em ordem crescente de nobreza e custo (CASTRO, 1999). A seguir são descritas as características dessas tintas.

a) Tintas à base de resinas alquídicas modificadas com óleo

De baixo custo e indicadas para a pintura de estruturas em ambiente sem poluição e com clima ameno, são as mais utilizadas nas estruturas metálicas, mas não possuem boa aderência quando aplicadas sobre elementos galvanizados.

b) Tintas a base de resinas epóxi

São tintas de alta performance, custo médio e boa resistência química. Uma variação de tinta epóxi é denominada “Mastic”, que serve tanto para tinta de fundo quanto para acabamento e possui alta aderência ao substrato. O problema das tintas epóxi é sua deterioração se exposta aos raios ultravioletas, quando sofrem empoeamento, perdendo o brilho superficial e a eficiência.

c) Tintas à base de resina de poliuretano

Tintas de alta performance, alta resistência a agentes químicos, resistentes à abrasão, de ótimo efeito estético e retenção de brilho, são empregadas como acabamento, na forma de esmaltes e vernizes, em atmosferas altamente agressivas. As poliuretânicas alifáticas possuem excelente resistência ao intemperismo, sem perda do brilho e da cor, com flexibilidade, dureza e aderência satisfatórias.

4.3.2. Preparação da peça metálica e métodos de aplicação da tinta

Uma preparação da superfície para receber a pintura possui como objetivos remover impurezas e defeitos superficiais, além de proporcionar certa rugosidade ao metal para permitir uma boa ancoragem da tinta. A limpeza por ação mecânica é a mais usada e pode ser:

- a) limpeza manual (escovas de aço, raspadores e lixas);
- b) limpeza com ferramentas mecânicas manuais (escovas rotativas, martelinhos de agulhas e lixadeiras);
- c) limpeza com jateamento abrasivo (aplicação de jatos de areia, granalha de aço ou escória de cobre).

A seleção adequada do método de aplicação influencia no desempenho do esquema de pintura tanto quanto as tintas utilizadas. Dentre os métodos de aplicação de tintas destacam-se: trincha, rolo, pistola convencional (a ar comprimido), pistola sem ar (*air less*), pintura eletrostática e pintura eletroforética, sendo a aplicação com pistola convencional (a ar comprimido) a técnica mais empregada (NUNES e LOBO, 1990).

4.3.3. Patologias das tintas empregadas em edificações

As tintas, como qualquer outro componente de uma edificação, também estão suscetíveis à ação das intempéries e sofrem processos de deterioração, que podem ser acelerados ou não, de acordo com o tipo de tinta empregado e as condições ambientais. Assim, há necessidade de se programar repinturas periódicas, conforme recomendações do fabricante ou de acordo com o estado de degradação da peça. Castro (1999) e Cândido (2005) apresentam as patologias das tintas sob três pontos de vista: patologias de ordem estética, de ordem geral e de ordem econômica.

4.3.3.1. Patologias de ordem estética

As patologias de ordem estética são patologias de película que deixam um aspecto visual desagradável, mas não chegam a comprometer sua eficiência e são normalmente provocadas devido a problemas durante a aplicação. Podem ter diversas causas, mas a maioria delas está vinculada à ação do homem:

i) Impregnação do abrasivo

A impregnação do abrasivo ocorre quando há proximidade entre a região onde é feito o jateamento e o local onde a pintura é executada. As partículas de abrasivo dispersas no ar são incorporadas às superfícies pintadas que não atingiram o tempo de secagem suficiente, o que compromete a estética e pode prejudicar a proteção anticorrosiva da peça.

ii) Escorrimento

O escorrimento da tinta sobre a superfície metálica pode ocorrer por causa do acúmulo excessivo de tinta na superfície, de uma formulação errada (baixa viscosidade e consistência), da aplicação sobre superfície muito fria ou da aproximação excessiva da pistola de aplicação.

iii) Pele ou casca de laranja

A pele surge quando a película torna-se rugosa, semelhante a uma casca de laranja, e ocorre normalmente na aplicação com pistola em decorrência de uso de solvente muito volátil, de atomização inadequada (pouca pressão na pistola) ou de aproximação excessiva da pistola em relação à superfície pintada.

iv) Sobreaplicação (overspray)

A película fica com um aspecto fosco e pulverulento em razão da tinta ter sofrido uma pré-secagem, provocada pela evaporação do solvente antes de atingir a superfície metálica, por causa de: pressão excessiva na pistola (excesso de atomização), temperaturas ambiente e da chapa elevadas, solvente muito volátil, distância grande entre pistola e superfície metálica.

4.3.3.2. Patologias de ordem geral

As patologias de ordem geral são defeitos cuja ocorrência pode prejudicar a eficiência da película de tinta, dando início a processos corrosivos, provocados geralmente por problemas de aplicação ou de composição da tinta, que necessitam de intervenção rigorosa para serem solucionados.

i) Empolamento

O empolamento é provocado pela formação de nódulos (ou bolhas) sob a película devido ao aprisionamento de algum fluido e está relacionado às condições inadequadas de aplicação da tinta, causado por: umidade relativa superior a 85% e temperatura da chapa inferior a 10 °C, retenção de solvente ou processos corrosivos acelerados causando o aparecimento das bolhas. Esse defeito leva ao rompimento da película de tinta e à formação de vários pontos de corrosão na superfície metálica.

ii) Empoamento ou calcinação

O empoamento, também conhecido como engisamento, é característico de certas resinas e consiste na sua degradação pela ação dos raios ultravioletas, quando se tem a liberação dos pigmentos, a perda de brilho e da cor. Pode manifestar-se, ou ser agravado, pela degradação dos pigmentos, em especial os orgânicos.

iii) Fendilhamento

O fendilhamento, também conhecido como fraturamento, craqueamento ou gretamento, é um defeito que consiste na quebra da película devido à perda de flexibilidade, ocasionada por formulações mal balanceadas e pela falta de plastificante na tinta.

iv) Descascamento

O defeito de descascamento da pintura é o mais comum dos problemas que ocorrem em estruturas metálicas e é devido à perda de aderência entre a película e o aço, ou entre películas de diferentes demãos. Várias são as causas responsáveis pelo seu aparecimento: limpeza inadequada da superfície do aço, contaminação da superfície a ser pintada após a limpeza, contaminação da superfície entre demãos, pouca rugosidade, incompatibilidade entre tintas e inobservância dos intervalos para repintura.

v) Enrugamento

O enrugamento da pintura é a ondulação da película ocasionada por uma secagem irregular e está normalmente associado à formulação das tintas. Suas causas são as películas muito espessas e os solventes muito voláteis.

vi) Sangramento

O sangramento da pintura consiste no manchamento da película de tinta e ocorre devido ao afloramento da cor da tinta de fundo, causado pela ação de solventes fortes da tinta de acabamento, que provocam a dissolução dessa tinta de fundo. Tem esse nome por ocorrer com frequência na cor vermelha.

4.3.3.3. Patologias de ordem econômica

As patologias de ordem econômica não causam problemas em relação ao sistema de proteção, posto que a espessura da película é maior do que o necessário, mas geram prejuízos financeiros devido ao consumo exagerado de tinta:

i) Consumo elevado

O consumo elevado em uma pintura está vinculado basicamente ao setor de limpeza e pintura do construtor e ocorre pelo fato do rendimento da tinta ficar muito abaixo do esperado, devido a: rugosidade excessiva da superfície do aço, equipamento de aplicação da tinta inadequado para aquele tipo de estrutura, inabilidade do aplicador, condições de vento excessivo para aplicação à pistola, desperdício de tinta pelo não aproveitamento total do conteúdo do recipiente, desperdício da tinta devido ao seu endurecimento por não ter sido aplicada no tempo recomendado pelos fabricantes.

ii) Espessura excessivamente desuniforme

Uma espessura excessivamente desuniforme de tinta está relacionada ao aplicador e a solução é refazer a pintura até atingir a espessura mínima e treinar ou substituir o aplicador da tinta.

4.3.4. Recomendações gerais

Para se prevenir as patologias, o tipo de tinta ou resina a ser utilizado e a maneira de sua aplicação e preparação da superfície metálica devem ser determinados na fase de projeto. Entretanto, uma vez instalada a patologia, uma inspeção irá definir as medidas a serem adotadas: se necessária uma remoção da película deficiente por lixamento ou outro meio ou se basta apenas uma reaplicação da camada de tinta adequada devidamente preparada. Além dos cuidados usuais, tais como manutenção dos equipamentos, treinamento dos trabalhadores, atendimento das recomendações do fabricante de tintas e escolha adequada da tinta ainda durante a etapa de projeto, levando em conta que nesse momento as condições ambientais devem ser consideradas, recomenda-se, ainda:

- i) não pintar sobre superfícies sujas, molhadas ou corroídas;
- ii) pintar somente se a umidade estiver abaixo de 85% (ideal: inferior a 60%) e se a temperatura estiver acima de 10 °C;
- iii) aplicar esquema especial de pintura à base de *primer* epóxi e acabamento em poliuretano alifático sobre perfis expostos ao sol.

4.4. Patologias das ligações

As ligações são os detalhes construtivos que promovem a união de partes da estrutura entre si, ou sua união com elementos externos, tais como as fundações. Esse arranjo deve ser capaz de transmitir esforços, como peso próprio, sobrecarga e ações variáveis entre os vários elementos estruturais (RIBEIRO, 2004).

Entre os tipos de ligações utilizadas em estruturas metálicas destacam-se as ligações rígidas e as ligações flexíveis. A imposição de um ou outro tipo depende da concepção estrutural proposta pelo projetista, sendo que o modelo de ligação adotado deve simular as condições de rigidez ou de flexibilidade de projeto. Os sistemas de ligações devem ser previstos na estrutura antes da obtenção dos esforços de cálculo para satisfazer algumas hipóteses de cálculo, pois o comportamento da estrutura metálica depende das características de suas ligações. Desse modo, tem-se uma ligação rígida ou engastada,

quando se garante a continuidade da estrutura e as rotações relativas são totalmente restringidas, ou admitem restrição no mínimo igual a 90% da rotação teórica verificada sob condição de rótula ideal. E a ligação será flexível ou rotulada, quando as rotações relativas entre os elementos conectados não são restringidas ou admitem uma restrição máxima igual a 20% da rotação relativa teórica, verificada sob condição de rótula ideal (Figura 4.4). As outras ligações situadas entre esses dois extremos constituem as ligações semi-rígidas (CASTRO, 1999).

Na escolha do tipo de ligação a ser adotada entram fatores de ordem econômica e estrutural, pois ligações rígidas são mais caras e mais difíceis de serem executadas quando comparadas às flexíveis. Por outro lado, ligações flexíveis nem sempre oferecem total estabilidade à estrutura, necessitando, em vários casos, do auxílio de um sistema de contraventamento.



Figura 4.4 – Ligação rígida e ligação flexível

As ligações, nas primeiras construções em aço no Brasil, eram feitas por rebites, que, após aquecidos numa forja, eram arremessados, ainda incandescentes, até um operário, que os aparava no ar com um funil. Então, eram cravados nos furos das ligações ainda rubros e, na face oposta do perfil, um martetele era usado para formar a cabeça do rebite (DIAS, 1993). Esse processo foi usado por muito tempo, porém, os parafusos de alta resistência foram sendo desenvolvidos e a técnica de soldagem sendo aprimorada. Atualmente, as ligações

mais comuns são as soldadas e as parafusadas, cada uma com suas particularidades e patologias.

Os problemas patológicos mais comuns encontrados em ligações estão relacionados a erros de concepção, corrosão, defeitos de fabricação das soldas e montagem inadequada das ligações parafusadas.

4.4.1. Patologias das ligações soldadas

A solda utilizada em construção metálica é um meio de ligação onde duas chapas de aço são unidas pela fusão de um outro metal chamado de eletrodo, obtendo-se uma peça na qual as tensões atuantes são transmitidas diretamente pelo meio de ligação. O calor de fusão é produzido por um arco voltaico entre a chapa (metal base) e o material a ser depositado (eletrodo). Como o metal de adição possui resistência superior à do metal base, garante-se que uma solda bem feita não entra em colapso antes do metal base (CÂNDIDO, 2005).

As ligações soldadas são, em geral, realizadas em fábrica, pois a execução de soldagem em campo é dificultada devido a fatores tais como: acesso ao local da soldagem, necessidade de andaimes, posição desfavorável, proteção do local contra vento e chuva, além de dificuldade no controle de qualidade da solda. Entretanto, desde que sejam verificados os devidos cuidados, é possível desenvolver-se a soldagem em campo, simplificando-se as ligações.

Normalmente, a soldagem de peças estruturais pode ser realizada por meio de: soldagem manual (eletrodo revestido), soldagem semi-automática (MIG/MAG) ou soldagem automática (arco submerso). Nos dois primeiros processos o homem é o agente principal de manipulação do equipamento durante toda a operação de soldagem e no terceiro são utilizados equipamentos automatizados próprios. Castro (1999) e Cândido (2005) apresentam as particularidades para cada processo conforme a seguir.

4.4.1.1. Soldagem manual

A soldagem manual apresenta como vantagens equipamentos que trabalham com eletrodos revestidos e que possuem pequeno porte. Além disso, são menos suscetíveis à ação de correntes de ar e ideais para trabalho de campo, podendo atuar em todas as posições de soldagem e não dependem de outros insumos. Como desvantagens, essa soldagem apresenta menor taxa de deposição, produção de escória relativamente aderente, qualidade da solda dependente da habilidade do soldador, além de respingos, perdas de material (pontas dos eletrodos), gases e radiação (ultravioleta e infravermelha). Nesse processo, por existir uma grande variedade de metais que podem ser utilizados, tanto metais de base como metais de adição, é importante uma avaliação detalhada do responsável pela soldagem, que deve conhecer as especificações de cada uma dessas combinações.

4.4.1.2. Soldagem semi-automática

No processo de soldagem semi-automática, o arco elétrico e a poça de fusão são protegidos por um gás alimentado externamente, que pode ser inerte (MIG - *Metal Inert Gás*) ou não (MAG - *Metal Active Gas*). Os equipamentos de soldagem MIG/MAG possuem uma alta taxa de deposição, dificilmente produzem escória, também podem trabalhar em todas as posições, produzem cordões de solda de ótimo acabamento, são menos suscetíveis às deficiências do soldador e quase não apresentam perdas. É o tipo de soldagem ideal para trabalho dentro da fábrica de estruturas. Em contrapartida, esse processo é muito suscetível a correntes de ar, produz respingos, gases e altas taxas de radiação (ultravioleta e infravermelha). O equipamento possui porte médio e depende de insumos, tais como argônio ou dióxido de carbono.

4.4.1.3. Soldagem automática

Na soldagem automática, o equipamento de arco submerso se restringe mais à produção de perfis soldados. Possui a maior taxa de deposição e descontinuidades entre os três, não sofre influência de correntes de ar, não produz radiação, nem respingos, gera poucas

perdas. O cordão de solda apresenta um acabamento de ótima qualidade e aparência e quase não sofre interferência do homem por ser automatizado. No entanto, o equipamento é de grande porte, ficando restrito à oficina, e só trabalha na posição plana. A poça de fusão fica escondida pelo fluxo, o equipamento depende do fluxo para operar e produz escória durante a solda.

A maioria dos problemas que pode ocorrer em uma soldagem é comum aos três tipos de equipamentos, pois as causas principais também são comuns. Uma boa soldagem exige qualificação e treinamento do soldador, além de preparação das superfícies, as quais devem estar livres de contaminantes como ferrugem, restos de pintura e graxa. Também o tipo de junta, a escolha adequada de eletrodos, a preparação da superfície e até a composição do metal base podem influenciar substancialmente na qualidade da solda. As principais patologias das soldas são (CASTRO, 1999):

- i. velocidade incorreta de soldagem e preparação da união e do material inadequados;
- ii. projeto concebido errado;
- iii. corrente elétrica muito baixa;
- iv. eletrodo de diâmetro muito grande;
- v. inclusões de escória;
- vi. falta de fusão e de penetração;
- vii. mordeduras, concavidade e sobreposição;
- viii. porosidade, trincas;
- ix. empenamentos das chapas;
- x. superposição ou excesso de solda;
- xi. pernas desiguais;
- xii. cordão com mal acabamento;
- xiii. excesso de respingos.

Cada defeito de soldagem possui suas causas e prevenções particulares e Castro (1999) as relata uma a uma, mas aqui são apresentadas apenas as recomendações de prevenção:

- i) dimensionar e promover manutenção na instalação elétrica utilizada;
- ii) fazer manutenção também dos equipamentos de solda;
- iii) permitir instrução e treinamento do soldador;
- iv) utilizar técnica de soldagem correta e planejar o processo;
- v) utilizar eletrodos compatíveis com o metal base, de boa qualidade e conservação;
- vi) preparar o metal base por meio de limpeza e chanframentos adequados.

Além de cordão de solda bem feito e de boa qualidade, é importante um bom acabamento em todo o conjunto soldado, evitando-se encaixes inadequados e peças instáveis devido à introdução de tensões não previstas em projeto (Figura 4.5).

Na norma NBR 8800:1986, item 7.1.10, são especificados os casos nos quais as soldas são empregadas. Ressaltam-se a seguir os defeitos de execução das ligações soldadas em campo (MESEGUER, 1991):

- a) falta de usinagem nas extremidades das ligações, causada pelo corte irregular das peças;
- b) mistura de ligações soldada e parafusada em uma mesma junção, provocada por projeto inadequado ou despreparo do pessoal;
- c) amassamento das extremidades das peças, em consequência de falha no projeto de detalhamento da ligação ou falha durante a execução;
- d) incompatibilidade entre as dimensões dos perfis, causada por erro de projeto ou de fábrica.



Figura 4.5 – Cordão de solda de boa qualidade

4.4.2. Patologias das ligações parafusadas

Na ligação parafusada, o mecanismo de transmissão das tensões se dá por meios indiretos, tornando-o bastante diferente da ligação soldada (CÂNDIDO, 2005).

Por ser de custo elevado, em razão da utilização de parafusos e da furação das peças, esse processo de ligação é praticamente limitado às ligações de campo. Para que haja redução de custo, procura-se diminuir o número de bitolas de parafusos. O ideal é empregar somente um diâmetro, o que facilita também o processo de montagem das peças (AÇOMINAS, 1982).

Outras desvantagens, além do custo elevado em relação à ligação soldada, são que as seções das peças ficam diminuídas pelos furos e, como, os parafusos comuns são instalados com aperto, eles são causadores de atrito entre as chapas. Por outro lado, como vantagem, os elementos estruturais parafusados podem ser desmontados e remontados em outro local.

Os parafusos após a montagem das peças estão sujeitos a solicitações como: tração, cisalhamento e tração combinada com cisalhamento. Os principais tipos de parafusos utilizados nas estruturas metálicas de edifícios são os parafusos comuns, os de alta resistência e as barras rosqueadas.

Os parafusos comuns possuem baixa resistência mecânica, usados em ligações onde são solicitados a esforços de cisalhamento e/ou tração e utilizados em estruturas leves, elementos secundários, plataformas, passadiços, terças, vigas de tapamento, pequenas treliças, etc. As cargas são de pequena intensidade e de natureza estática.

Os parafusos de alta resistência possuem alta resistência mecânica e a norma NBR 8800:1986 estabelece os casos de ligações em que devem ser utilizados: ligações de vigas e treliças das quais depende o sistema de contraventamento, ligações de vigas e treliças com pilares e emendas de pilares, nas estruturas com mais de 30 m de altura, ligações e emendas de treliças de cobertura, ligações de treliças com pilares, emendas de pilares, ligações de contraventamento de pilares, ligações de mãos francesas ou mísulas usadas para reforços de pórticos, e ligações de peças suportes de pontes rolantes, nas estruturas com pontes rolantes com capacidade superior a 0,5 kN, emendas de pilares nas estruturas com menos de 30 m de altura, caso a menor dimensão horizontal da estrutura seja inferior a 25% da altura, ligações de peças suportes de maquinário ou peças sujeitas a impactos ou cargas cíclicas, qualquer ligação que for especificada nos projetos da estrutura.

As barras rosqueadas são utilizadas na execução dos chumbadores e contraventamentos, apenas se fazendo as roscas e alguns serviços de dobramento para se unir as estruturas às fundações.

As patologias das ligações parafusadas são causadas pela concentração de tensões, pela presença de umidade junto aos parafusos e pela presença dos furos e em geral são devidas ao colapso das ligações, à corrosão das ligações e ao detalhamento incorreto.

4.4.2.1. Patologias devidas ao colapso das ligações

As patologias que provocam o colapso das ligações ocorrem quando há dimensionamento incorreto dos parafusos ou das chapas de ligação, onde tensões atuantes são maiores do que tensões de cálculo previstas. Salmon e Johnson (1990) relacionam 7 causas de ruínas que podem surgir em ligações parafusadas:

- i) cisalhamento do fuste do parafuso;
- ii) rasgamento da chapa junto ao parafuso;

- iii) esmagamento/estriccionamento do fuste do parafuso;
- iv) esmagamento da chapa;
- v) tensionamento axial do fuste do parafuso;
- vi) dobramento do parafuso, no caso de parafusos com fustes longos;
- vii) rasgamento global da chapa na ligação.

4.4.2.2. Patologias devidas à corrosão da ligação

O fenômeno da corrosão aparece em ligações parafusadas quando há presença de umidade e existência de frestas entre os parafusos e os elementos de ligação e merecem destaque porque esse problema tende a diminuir a resistência da estrutura no local da ligação (Figura 4.6). Para combatê-la, são apropriados aplicação de uma boa pintura anticorrosiva, uso de mastique na borda da fresta, impedindo a penetração da umidade, e limpeza adequada.

Atenção especial deve ser dispensada a porcas e arruelas, pois são em geral fabricadas de metais diferentes do aço dos perfis e podem facilitar a formação de corrosão galvânica e o colapso da ligação pelo surgimento de tensões diferentes daquelas previstas em projeto.



Figura 4.6 – Ligação parafusada susceptível à corrosão

4.4.2.3. Patologias em função de projeto com detalhamento incorreto

Esse tipo de patologia, que pode ser originada no projeto ou na fabricação das peças, é comum de acontecer em ligações parafusadas, porque deve haver alto grau de precisão para que haja o perfeito encaixe entre os diversos elementos estruturais. Entretanto, o número de casos tende a diminuir com a utilização da tecnologia computacional. Havendo indício da patologia, procede-se à recuperação da ligação, verificando-se sempre aspectos de sua resistência. Os problemas mais encontrados são (CASTRO, 1999):

- i) dificuldade de aperto, causada pela falta de espaço para colocar a peça no lugar, colocar os parafusos de um lado dos furos, colocar as arruelas e porcas do outro lado e para encaixar e girar as chaves de aperto;
- ii) gabarito errado, gerado por furos detalhados de forma incorreta para os elementos estruturais de uma mesma ligação;
- iii) erro no cálculo do comprimento dos elementos incluindo os parafusos, quando os elementos estruturais são projetados com comprimentos maiores ou menores do que o necessário, resultando em remendos ou cortes durante a montagem e dificuldade de encaixar os parafusos;
- iv) erros de fabricação e montagem, que incluem diâmetro errado do furo ou do parafuso, parafuso incompatível com a ligação, erros na locação dos furos durante a fabricação, falta de aperto ou aperto inadequado dos parafusos.

4.5. Falha estrutural

A industrialização da construção acarreta a modulação do sistema construtivo e a fabricação padronizada de peças que são levadas prontas para a montagem no canteiro de obras. Para fugir à monotonia arquitetônica, arquitetos buscam desenvolver projetos criativos e sofisticados, que empregam estruturas arrojadas e de soluções estruturais cada vez mais difíceis. Além disso, o aproveitamento máximo do espaço disponível, um dos fatores favoráveis à escolha do sistema construtivo em estrutura metálica, gera grandes vãos a serem vencidos por vigas e pilares esbeltos. O desenvolvimento dessas estruturas

passa pela interação entre projeto e análise estrutural, que garanta resistência, estabilidade e economia às edificações.

Deformações excessivas não previstas em projeto, causadas por sobrecargas, vento e efeitos térmicos, podem condenar uma edificação levando-a ao colapso. No Brasil, deformações excessivas em estruturas metálicas são causadas pelo vento ou pela perda de estabilidade estrutural. O avanço da informática, de novas metodologias de cálculo e de formulações numéricas mais precisas torna viável essa interação entre projeto e análise estrutural, reduzindo o número de simplificações nos processos de análise e projeto, proporcionando mais segurança ao sistema estrutural de aço sob as mais diversas e complicadas formas e diminuindo o risco de falhas.

4.5.1. Deformações causadas pelo vento

A ação do vento em uma edificação tende a aumentar os esforços atuantes na cobertura e nos fechamentos laterais. O carregamento resultante da ação do vento não é uniforme em toda a edificação, por depender principalmente da geometria do elemento de fechamento, da posição relativa dos edifícios e da direção e velocidade do vento. Mas esse tipo de esforço é considerado pela norma NBR 6123:1988 como carga estática afetada por diversos coeficientes. As falhas devido à ação estática do vento podem ser analisadas sob os seguintes aspectos: coeficientes aerodinâmicos e pressão interna, velocidade do vento, objetos carregados pelo vento e vibrações devidas ao vento.

4.5.1.1. Coeficientes aerodinâmicos e pressão interna

Uma edificação deve ser projetada levando-se em consideração os coeficientes aerodinâmicos, tendo em vista que uma rajada de vento provoca em uma estrutura pontos de sucção e sobrepressão, os quais ocorrem em diversos locais da edificação e com intensidades diferentes, dependendo do ângulo de incidência do vento e da inclinação da cobertura, dentre outros. A norma NBR 6123:1988 institui zonas de sucção em certas áreas da edificação. Por exemplo, em pontos das bordas e próximos da cumeeira, o valor dos coeficientes aerodinâmicos é bem maior do que o valor utilizado no cálculo estrutural, o

que deve ser observado no dimensionamento, evitando-se o arrancamento de peças como telhas, terças, tesouras etc. A pressão interna é relevante em edifícios com grandes vãos internos, que devem possuir aberturas, de emergência ou permanentes, nas zonas de sucção (Figura 4.7).

4.5.1.2. Velocidade do vento

A norma NBR 6123:1988 mostra um gráfico de isopletas da velocidade básica do vento, a qual varia entre 30 e 50 m/s para uma rajada de três segundos, a 10 m do solo em campo aberto e plano, tendo período médio de recorrência de 50 anos. Contudo, sendo o vento um fenômeno aleatório, que depende de fatores tais como topografia local, rugosidade do terreno, dimensões do edifício e das aberturas e probabilidades, pode acontecer de sua velocidade exceder os valores dados pelas isopletas. Mas, esse é um fenômeno raro no Brasil e as construções não são calculadas para resistirem a ventos cuja velocidade básica vá muito além da prevista em norma, devido ao alto custo dessa prevenção. Assim, com exceção de obras peculiares como pontes, túneis, usinas nucleares, usinas hidroelétricas e outras, que são superdimensionadas por segurança, construções comuns são simplesmente colocadas em seguro.



Figura 4.7 – Estragos em esquadrias causados pelo vento
Fonte: CASTRO, 1999

4.5.1.3. Objetos carregados pelo vento e vibrações devidas ao vento

Há possibilidade de que ventos de altas velocidades, vindos de tempestades e furacões, carreguem objetos como telhas metálicas e de fibrocimento, pedaços de vidro, esquadrias, portas, galhos de árvores, dentre outros, que podem provocar quebra de vidro em fachadas de edificações.

Além disso, o vento forte em uma edificação de muitos andares ou de estrutura flexível pode não provocar deformações, mas é capaz de produzir vibrações e ranger da estrutura de modo a gerar desconforto aos usuários. A norma NBR 8800:1986 estabelece providências a serem tomadas em casos onde o movimento causado pelo vento seja significativo.

4.5.2. Deformações causadas pela perda de estabilidade estrutural

Falhas localizadas ou globais podem surgir quando alguma peça atingir um dos estados limites de resistência último ou de utilização, provocando perdas humanas e econômicas e prejudicando o desempenho estrutural do edifício. A utilização correta de normas ou especificações reconhecidas, além da consideração de todos os estados limites possíveis e de todas as possibilidades de carregamento, permitem que, ainda na etapa de projeto, a perda da estabilidade estrutural seja evitada. As normas brasileiras atuais referentes ao dimensionamento das estruturas metálicas de edificações são a norma NBR 8800:1986 e a norma NBR 14762:2001. A norma NBR 6123:1988 também é importante para o cálculo da ação do vento nas estruturas.

O Método dos Estados Limites, proposto pela norma NBR 8800:1986, adota o cálculo das cargas atuantes em uma estrutura pela combinação das cargas permanentes, variáveis e excepcionais, cujos efeitos podem levar a estrutura à deformação excessiva ou ao colapso.

As ações permanentes compreendem o peso próprio da estrutura e o peso de todos os outros elementos da construção, tais como pisos, paredes permanentes, revestimentos, acabamentos, instalações e equipamentos fixos. As ações variáveis incluem as sobrecargas decorrentes do uso e ocupação da edificação, equipamentos, divisórias, móveis, sobrecargas em coberturas, pressão hidrostática, empuxo de terra, vento e variação de

temperatura. As ações excepcionais vêm de explosões, choques de veículos, efeitos sísmicos e outros.

Como em uma estrutura atuam várias ações, sendo a maioria delas variáveis, para evitar um superdimensionamento pela aplicação dos valores extremos e simultâneos dessas ações, faz-se uma combinação das ações utilizando-se coeficientes que minoram os valores das cargas atuantes. Entretanto, devido às várias incertezas relativas aos valores das ações, às propriedades mecânicas dos elementos estruturais e ao comportamento desses elementos diante da estrutura, os valores das ações são corrigidos por coeficientes de segurança adequados.

A estrutura como um todo, as barras individuais, os elementos e os meios de ligação aplicados devem ser verificados para os estados limites de utilização. Enumerando os estados limites pelos quais uma edificação pode entrar em colapso, tem-se:

- i) perda de equilíbrio;
- ii) ruptura por qualquer tipo de solicitação;
- iii) instabilidade total ou parcial;
- iv) flambagem global de barras;
- v) flambagem local de elementos de barras.

As causas desses estados limites são falhas de concepção e projeto, falhas nos processos e detalhes construtivos, falhas ou ausência de manutenção preventiva, uso de materiais de má qualidade ou utilizados inadequadamente e mudança de atividades ou alterações ambientais (GALAMBOS *et al.*, 1996).

4.5.2.1. Falhas de concepção e projeto

Em geral, os problemas que acompanham as obras estruturadas em aço estão vinculados à falta de visão global do sistema construtivo desde a sua concepção. As falhas são atenuadas se existirem projetos específicos para cada sistema onde se apresentam as respectivas compatibilizações, além de planejamento adequado (SALES, 2001).

De forma a serem facilmente compreendidos, os projetos devem incluir detalhamentos precisos e dados necessários à fabricação e montagem da estrutura. A falta de informações em projetos pode acarretar na construção problemas do tipo:

- i) não colocação de elementos estruturais tais como contraventamentos, mãos francesas, enrijecedores, conectores de cisalhamento, dentre outros;
- ii) não ancoragem de telhas sobre terças, de terças sobre tesouras, de tesouras sobre a estrutura e da estrutura sobre a fundação;
- iii) dimensionamento inadequado, levando a estrutura ou seus componentes ao colapso;
- iv) dimensionamento inadequado das fundações ou dos parafusos de ligação;
- v) ocorrência de deformações acima das estabelecidas pela norma NBR 8800:1986, danificando os fechamentos.

4.5.2.2. Falhas nos processos e detalhes construtivos

As empresas que lidam com estruturas metálicas, sejam elas de projeto, fabricação ou montagem, devem estar em constante interação e prever revisões de projetos conscientes e minuciosas. Nas fábricas, o controle dimensional rigoroso e pré-montagens asseguram o mínimo de falhas na montagem definitiva. Importante ainda é a interação que deve existir entre os projetistas da área de estruturas metálicas e da área de estruturas em concreto, pois o concreto está presente pelo menos nas fundações e bases de colunas das obras em aço e as dimensões dos elementos em aço e de concreto devem se ajustar na montagem das peças (PRAVIA e BETINELLI, 2003).

A obediência ao detalhamento das ligações também é preponderante na montagem das estruturas e modificações feitas de improviso no campo criam pontos críticos que podem gerar falhas súbitas e comprometer o desempenho do sistema estrutural.

Outros fatores que comprometem esse desempenho são o armazenamento impróprio das peças, que leva ao acúmulo de água, propiciando o fenômeno da corrosão mesmo antes da construção, e a falta de planejamento durante a montagem, que deve prever estabilização das peças por causa da ação da gravidade e do vento.

4.5.2.3. Falhas ou ausência de manutenção preventiva

Uma manutenção preventiva adequada é um processo mais simples e de custo mais baixo quando comparada à manutenção corretiva e, quando ela não é incluída na fase de projeto, a edificação estará sujeita a uma vida útil reduzida. Toma-se como exemplo uma coluna metálica sujeita a umidade em sua base. Se não for devidamente preparada, as agressões do meio podem promover um processo corrosivo, que se não for reparado no início, pode comprometê-la a ponto de haver risco de colapso de toda a estrutura que ela sustenta.

É comum, quando aparecem falhas em uma edificação, que elas sejam sanadas pelos próprios usuários, muitas vezes utilizando materiais e técnicas inadequados, com soluções de caráter provisório. Entretanto, essas soluções se tornam definitivas e, se forem acumuladas, resultam em modificação no desempenho estrutural do edifício, chegando a afetar a segurança de seus usuários. Uma manutenção preventiva planejada e executada com antecedência, por meio de ações que evitem a ocorrência de falhas e atendam as necessidades e exigências dos usuários, ajuda a economizar recursos que seriam gastos em reformas repetitivas e desgastantes (GOMIDE *et al.*, 2006).

4.5.2.4. Uso de materiais de má qualidade ou utilizados inadequadamente

A economia de material tem que ser feita com responsabilidade e conhecimento das propriedades dos componentes escolhidos. A relação custo/benefício deve ser projetada para o futuro de modo a não se ter prejuízo com o desempenho e durabilidade da edificação. Além de usar materiais com garantia de procedência, deve-se atentar também para a sua correta utilização. Exemplificando, uma tinta de alto poder de proteção contra a corrosão não fará muito efeito se for aplicada, sem prévia preparação, em uma peça que já sofre dessa patologia (CASTRO, 1999; CÂNDIDO, 2005).

4.5.2.5. Mudança de atividades ou alterações ambientais

A alteração das atividades previstas para determinado edifício torna-se nociva quando se aplica um carregamento maior do que o calculado no projeto original e também quando são

feitas mudanças ambientais sensíveis tais como aumento da umidade, de poluentes, produtos químicos, vibrações e outros.

4.5.3. Flambagens dos elementos estruturais

A perda da estabilidade dos perfis estruturais é notada pela ocorrência de flambagem localizada do elemento, mas essa deformação aparece de maneira diferenciada conforme os seguintes fatores: tipo de solicitação, propriedades do aço, forma geométrica, concepção estrutural, interação com as outras peças etc.

As falhas devidas a esforços de flexão e a esforços cisalhantes são de destaque porque quando acentuadas podem provocar o colapso estrutural e são regidas pela norma NBR 8800:1986, que apresenta cinco tipos de deformações às quais um elemento estrutural pode estar sujeito quando submetido a momento fletor:

- i) escoamento ou plastificação da seção do perfil;
- ii) flambagem local da mesa;
- iii) flambagem local da alma;
- iv) flambagem lateral por torção;
- v) falha por cisalhamento.

Se qualquer uma dessas cinco deformações ultrapassar os limites impostos pela norma NBR 8800:1986, é prudente reforçar a estrutura ou substituí-la. Além desses casos, pode-se ter ainda:

- a) falha por enrugamento da alma;
- b) falhas em elementos submetidos a esforço normal de compressão (flambagem global, flambagem localizada dos elementos não enrijecidos e flambagem localizada dos elementos enrijecidos).

As flambagens locais ou globais são causadas pelo uso de modelos estruturais incorretos para verificação da estabilidade, ou por deficiências no enrijecimento local de chapas, ou ainda, por efeitos de imperfeições geométricas não considerados no projeto e cálculo.

4.6. Falhas devidas à situação de incêndio

Os materiais estruturais como aço e concreto perdem progressivamente sua resistência e rigidez, com o aumento da temperatura em caso de incêndio, sendo que o aço estrutural, a 550 °C, chega a possuir cerca de 60% da sua resistência a 20 °C. Portanto, os elementos de uma estrutura podem entrar em colapso e as conseqüências da falha dependem da função desses componentes no controle do comportamento da estrutura. Por exemplo, a falha de uma coluna situada na base de um edifício pode levar ao colapso todo um conjunto, enquanto que a falha de uma viga secundária pode resultar em dano menor, pois as cargas serão transferidas para outros elementos estruturais não diretamente afetados pelo fogo (PANNONI, 2002).

Para se evitar essas falhas é necessário que se tenha um projeto de segurança contra incêndio adequado, o qual deve conter sistemas de proteção ativa e de proteção passiva. A probabilidade de ocorrência do incêndio, o risco à segurança humana e a extensão do dano à propriedade devem definir a escolha desse sistema de segurança.

Os equipamentos de proteção ativa, como detectores de fumaça com alarmes e chuveiros automáticos, limitam o desenvolvimento do incêndio e asseguram que os serviços de combate ao fogo possam chegar à cena.

Os sistemas de proteção passiva são usados para prevenir o desenvolvimento de altas temperaturas nas estruturas metálicas e são caracterizados pela aplicação de materiais de proteção passiva e pela realização de um projeto da edificação em que a estrutura metálica tenha uma proteção natural dos pisos, tetos e paredes, ou mesmo aproveitando do concreto e alvenarias que revestem os elementos estruturais.

A temperatura que causa o colapso da estrutura pode ser obtida por meio de ensaios para cada elemento estrutural. Porém, como essa medida não é muito viável economicamente e demanda muito tempo, geralmente, um valor convencional de temperatura crítica, que

garanta com certa margem de segurança a integridade estrutural, é recomendado por normas. As normas brasileiras que tratam da segurança estrutural frente ao fogo são a norma NBR 14432:1999 e a norma NBR 14323:1999.

Há segurança estrutural garantida quando a temperatura do aço em situação de incêndio atinge um valor menor do que a temperatura crítica da estrutura. Para que se possa verificar a segurança estrutural, deve-se conhecer a exigência de resistência ao fogo para cada tipo de elemento (viga, pilar, laje), conforme as normas vigentes no país.

O desempenho requerido para os elementos utilizados na estrutura, sejam eles concreto, madeira ou aço, ou de compartimentação prescritos na norma NBR 14432:1999, procura prevenir o colapso estrutural tornando possível a retirada dos ocupantes da edificação, além de reduzir os danos aos edifícios vizinhos e permitir o rápido acesso do Corpo de Bombeiros (PANNONI, 2002).

Na tabela 4.1 apresenta-se um resumo das recomendações de tempos requeridos de resistência ao fogo (TRRF) dados pela norma NBR 14432:1999. Assim, tem-se que, quanto maior a resistência requerida, maior será a temperatura a que a estrutura deve resistir. À medida que o risco à vida humana é considerado maior, devido à ocupação, altura do edifício etc, a exigência torna-se mais rigorosa e maior será o tempo requerido de resistência.

Contudo, a norma prevê isenções, baseadas na pequena probabilidade da ocorrência de acidentes em pequenos edifícios, cuja evacuação seja simples, tais como estruturas de pequena área ou de um pavimento, edifícios industriais ou depósitos. Para esses edifícios pode-se dispensar a verificação da segurança estrutural, exceto quando há interesse de proteção patrimonial. Isso acontece porque as falhas nos elementos estruturais em edificações térreas, por exemplo, possuem menos influência nas perdas do conteúdo do prédio do que em edifícios de múltiplos andares, pois nesse há risco de danos em partes do prédio que estão distantes do local do incêndio (PANNONI, 2002). Na Tabela 4.2 apresenta-se um resumo das edificações isentas de verificação estrutural para situação de incêndio. Para uso em projeto é recomendável consultar a NBR 14432:1999.

Tabela 4.1 – Recomendações de TRRF, em minutos, para alguns tipos de edificações

Ocupação/Uso	Altura da Edificação				
	$h \leq 6 \text{ m}$	$6 \text{ m} < h \leq 12 \text{ m}$	$12 \text{ m} < h \leq 23 \text{ m}$	$23 \text{ m} < h \leq 30 \text{ m}$	$h > 30 \text{ m}$
Residência	30	30	60	90	120
Hotel	30	60	60	90	120
Supermercado	60	60	60	90	120
Escritório	30	60	60	90	120
Shopping	60	60	60	90	120
Escola	30	30	60	90	120
Hospital	30	60	60	90	120

Fonte: NBR 14432:1999

Tabela 4.2 – Edificações isentas de verificação estrutural

Área	Uso	Carga de incêndio específica	Altura	Meios de proteção contra incêndio
$\leq 750 \text{ m}^2$	Qualquer	Qualquer	Qualquer	-
$\leq 1.500 \text{ m}^2$	Qualquer	$\leq 1.000 \text{ MJ/m}^2$	≤ 2 pavimentos	-
Qualquer	Centros esportivos, terminais de passageiros	Qualquer	$\leq 23 \text{ m}$	-
Qualquer	Garagens abertas	Qualquer	$\leq 30 \text{ m}$	-
Qualquer	Depósitos	Baixa	$\leq 30 \text{ m}$	-
Qualquer	Qualquer	$\leq 500 \text{ MJ/m}^2$	Térrea	-
Qualquer	Industrial (5)	$\leq 1.200 \text{ MJ/m}^2$	Térrea	-
Qualquer	Depósitos (5)	$\leq 2.000 \text{ MJ/m}^2$	Térrea	-
Qualquer	Qualquer	Qualquer	Térrea	Chuveiros automáticos
$\leq 5.000 \text{ m}^2$	Qualquer	Qualquer	Térrea	Fachadas de aproximação

Fonte: NBR 14432:1999

4.7. Patologias dos fechamentos

Os sistemas de fechamentos são os componentes que formam as superfícies que definem os espaços de uma edificação e podem ser divididos em verticais, aqueles destinados às paredes e aberturas, e horizontais, aqueles destinados aos pisos e coberturas. Ainda na etapa de projeto devem ser definidos os diversos tipos de materiais a serem empregados, os detalhes de conexão e de funcionamento de cada sistema e a posição do fechamento em relação à estrutura. Assim, os sistemas de fechamento horizontal e vertical, os subsistemas de esquadrias, o sistema estrutural, os sistemas hidrosanitários e elétricos, os sistemas de automação e monitoramento etc, são escolhidos e detalhados. Em face disso, a construção civil industrializada deve ser vista como uma atividade multidisciplinar, que requer a interação e a integração dos vários profissionais e fabricantes envolvidos no processo (SOUZA e SALES, 2005).

O aço é um material flexível e possui uma superfície pouco rugosa e pouco porosa e os elementos estruturais possuem seções mais complexas. Conseguir uma interface entre estrutura e fechamento que seja ao mesmo tempo estanque e resistente constitui um grande problema do uso da estrutura metálica nas edificações. Os projetistas acabam por adotar soluções que muitas vezes não compatibilizam perfeitamente estrutura em aço e fechamentos. Há várias alternativas de sistemas de fechamento no mercado, mas as soluções para a sua correta aplicação são inerentes a cada caso e pouco conhecidas pelos profissionais da área. Além disso, soluções de custos elevados são importadas sem adaptações para a realidade nacional e condições climáticas locais. Uma medida que evita patologias consiste em utilizar o fechamento como invólucro, desvinculada da estrutura metálica, e em painéis independentes por níveis (COSTA, 2004).

Desse modo, apesar de existirem várias alternativas de sistemas de fechamento, o não conhecimento das características de cada material e a falta de mão-de-obra qualificada fazem com que haja resistência à utilização dos sistemas de fechamento industrializados. Os fechamentos convencionais são ainda muitas vezes preferidos, levando a interfaces construtivas de solução complicada e a velocidades de execução diferenciadas, em geral, atrasando o cronograma da obra e levando a uma semi-industrialização.

É possível utilizar-se das várias alternativas de fechamento existentes, desde as convencionais até as inovadoras, dependendo do tipo de projeto e de suas características

específicas, quão sejam, exigências econômicas, estéticas, necessidade de rapidez de execução etc. Para tanto, é importante que o profissional esteja sempre se aperfeiçoando para acompanhar e buscar soluções para as compatibilizações entre os elementos construtivos promovendo assim o desempenho global da edificação.

Por outro lado, qualquer que seja o sistema de fechamento escolhido, haverá sempre condições desfavoráveis tais como a transmissão de carregamento da estrutura para os fechamentos, os quais não devem exercer nenhuma função estrutural, e a interferência das intempéries, que promovem o aparecimento de patologias, as quais surgem sob a forma de trincas, descascamentos de revestimento, deformações excessivas em paredes, mau funcionamento de portas e janelas, além de infiltrações que causam bolor, limbo e corrosão. Essas patologias não constituem risco estrutural, mas afetam o desempenho da edificação e aumentam os custos de construção e manutenção (CASTRO, 1999; SALES, 2001; BASTOS, 2004).

4.7.1. Fechamentos verticais

Dentre as soluções de fechamentos verticais disponíveis e compatíveis com construções em estruturas metálicas preferidas pelos projetistas estão as alvenarias, as quais podem ser de tijolos cerâmicos, blocos de concreto ou de concreto celular, que caracterizam uma semi-industrialização da construção metálica, pois o fechamento precisa ser construído *in loco*.

Também são preferidos os painéis em gesso acartonado ou *dry-wall*, em placas cimentícias, em placas de microconcreto recheadas por poliestireno expandido (EPS) ou isolite, os pré-moldados de concreto maciço ou com alma de poliestireno e os de concreto celular autoclavado, que são produtos industrializados e de montagem rápida (KRUGER, 2000; SALES, 2001).

Os produtos industrializados possuem técnica própria de fixação e ligação com a estrutura e exigem mão de obra especializada e treinada. Geralmente, os painéis devem ser montados após a elaboração de todos os outros projetos, elétrico, hidráulico, de telefonia etc, pois não admitem improvisos na fase de execução.

4.7.2. Fechamentos horizontais

É possível também compatibilizar as estruturas metálicas com os vários tipos de lajes disponíveis, cada uma com características adequadas para determinada situação. Dentre as mais utilizadas, destacam-se as lajes de concreto moldadas *in loco*, e as pré-fabricadas, que podem ser de painel pré-moldado de concreto, de painel alveolar de concreto extrudado, *steel deck* e de concreto celular autoclavado (KRUGER, 2000).

Os grandes vãos vencidos pela estrutura metálica trazem vantagens como redução do número de vigas, colunas e ligações, mas apresenta o inconveniente de gerar lajes também com grandes vãos, fazendo com que elas fiquem submetidas a esforços e deformações acima do permitido, gerando algumas patologias, tais como: trincas, descolamento no caso de lajes *steel deck*, vibração excessiva, dentre outras.

4.7.3. Principais patologias detectadas nos fechamentos

4.7.3.1. Fechamentos verticais

Nos fechamentos verticais destacam-se as trincas, as infiltrações, que causam bolor, limbo e corrosão, e os descascamentos de revestimentos.

a) Trincas

As trincas são os fenômenos de maior ocorrência nos fechamentos, causam efeito estético desagradável, instalam infiltrações e provocam descascamento do revestimento. Elas podem surgir quando os fechamentos verticais ficam solicitados a esforços de tração ou de cisalhamento, mas também podem ser resultantes de movimentações causadas por coeficientes de dilatação térmica distintos dos materiais (movimentação higrotérmica) e de movimentação excessiva da estrutura causada pelo vento (Figura 4.8). Outra causa da ocorrência de trincas são as infiltrações (CASTRO, 1999; SALES, 2001).

Quando se utiliza alvenaria comum como fechamento de edificações em aço, torna-se necessário que o projetista detalhe as uniões entre os diferentes materiais para evitar o surgimento desse fenômeno. No caso de fechamentos industrializados a técnica de montagem das juntas são inerentes a cada tipo de fechamento adotado, mas normalmente

são utilizadas juntas telescópicas, que isolam a estrutura do fechamento por meio de borrachas, silicones, mastiques especiais, telas galvanizadas, dentre outros. *Inserts* metálicos, formados por cantoneiras, pinos, parafusos e rebites podem ser utilizados como elementos de fixação entre estrutura e fechamento. Desvincular o fechamento da estrutura é outra alternativa adotada pelos projetistas para evitar trincas (CAIXA, 2003).

No caso de haver trincas vindas de deformações, vale salientar que essas últimas em excesso são efeitos de sobrecargas não consideradas no cálculo estrutural, dimensionamento inadequado e falta de detalhamento. Uma análise, seguida de reforço ou substituição dos perfis estruturais, se faz necessária antes do fechamento da patologia em questão. No caso de trincas decorrentes de infiltrações, deve-se investigar qual é a causa dessa última e eliminá-la antes da reparação das trincas (THOMAZ, 1989).



Figura 4.8 – Trincas em fechamento de alvenaria

b) Infiltrações

As infiltrações nas edificações em estruturas metálicas surgem devido a trincas causadas pela movimentação da estrutura e devido a frestas presentes nas ligações principalmente.

Edificações com estruturas aparentes são mais propensas à existência de frestas, que comprometem a estanqueidade do fechamento e contribuem para o desenvolvimento da corrosão nas peças metálicas e para o descolamento de revestimentos, além de causar desconforto e comprometer a estética.

Normalmente, usa-se o mastique, produto impermeável e flexível, para vedar as frestas. Outras soluções para as infiltrações são a utilização de produtos isolantes a base de silicone e a facilitação do escoamento da água com a utilização de rufos, pingadeiras, calhas, tubulações, e outros, que devem ser aplicados em locais como juntas de dilatação, ligações, coberturas etc (CASTRO, 1999, VON KRÜGER, 2000; SALES, 2001).

c) Descascamentos de revestimentos

O descascamento do revestimento ocorre no contato entre estrutura e fechamentos em consequência das trincas causadas pela dilatação térmica diferenciada desses elementos e das infiltrações em revestimentos externos que levam a descascamentos no interior da edificação (Figura 4.9). Também em regiões sujeitas a respingos de água continuamente pode ocorrer descascamento do revestimento.



Figura 4.9 – Infiltrações causando descascamento de revestimento

Antes de corrigir esse fenômeno devem-se eliminar as causas das trincas e das infiltrações, conforme informado anteriormente, e dos respingos de água promovendo-se escoamento e drenagem adequados no local.

4.7.3.2. Fechamentos horizontais (lajes)

As lajes, coberturas geralmente utilizadas nas construções de estrutura metálica, estão sujeitas a patologias como corrosão, trincas, descolamento e vibração excessiva.

a) Corrosão

Esse fenômeno facilmente se instala nas frestas que existem nas interfaces entre vigas metálicas e lajes de concreto, as quais, diante da permeabilidade do concreto, são regiões susceptíveis à umidade, podendo atingir até a armadura da laje. Para tratar o problema, deve-se identificar a causa da infiltração, que pode estar nas instalações hidrossanitárias ou na própria cobertura, e eliminá-la, antes de tratar a corrosão.

No caso de lajes *steel deck*, as quais são compostas por concreto e chapas de aço com nervuras, que servem de forma para o concreto inicialmente e de armadura positiva após o endurecimento, pode surgir corrosão quando houver infiltração de água entre o concreto e a chapa.

b) Trincas

Provenientes do dimensionamento inadequado ou da escolha incorreta do tipo de laje empregado, as trincas surgem nas lajes de concreto armado devido a esforços e deformações excessivos da estrutura em aço, ao enfraquecimento localizado em regiões de passagem de eletrodutos, ao efeito de retração ou ao puncionamento próximo a uma coluna. As trincas podem também aparecer quando se apóiam fechamentos diretamente sobre as lajes, sem que elas estejam dimensionadas para isso.

As trincas podem surgir ainda em lajes *steel deck* pela falta de armadura negativa ou pela retração do concreto durante a cura. As lajes nervuradas ou pré-moldadas costumam apresentar trincas resultantes de deformações excessivas e de movimentação diferenciada entre as nervuras e os componentes inertes de enchimento, ou entre o rejuntamento e os painéis. As lajes dispostas em formato retangular, de modo a serem armadas em uma direção somente, tendem a uma redução de deformações e trincas.

c) Descolamento

O descolamento ocorre em lajes *steel deck* quando o concreto se destaca da chapa de aço devido à sollicitação cisalhante entre chapa e concreto estar acima de sua resistência, em presença de sobrecarga excessiva e corrosão da chapa metálica.

d) Vibração excessiva

Edificações mais leves e esbeltas estão sujeitas a frequências naturais e taxas de amortecimentos mais baixas, o que deixa os pisos das construções susceptíveis a vibrações maiores. Dessa maneira, locais sujeitos a carregamentos dinâmicos, tais como ação externa de tráfego rodoviário e ferroviário e ação interna de grande movimentação de pessoas e atividades rítmicas de grupos, estão sujeitos à vibração excessiva das lajes de pisos.

Esse fenômeno, embora não signifique dano às estruturas, pode trazer sensação de insegurança aos usuários da edificação, causando-lhes desconforto. Se as vibrações forem causadas por fontes externas, como tráfego rodoviário e ferroviário, é possível fazer-se o isolamento entre a fonte e a edificação criando-se barreiras no meio de propagação da vibração, reduzindo-se assim a transmissão da onda vibratória.

Vibrações excessivas causadas por fontes internas, como movimentação de pessoas e atividades rítmicas, podem ser evitadas projetando-se as lajes e os vigamentos, que irão sustentá-las, de modo a reduzir a um nível desprezível as possibilidades de qualquer risco e danos provocados pela vibração. Isso é conseguido assegurando-se ligações rígidas das lajes e das vigas com seus respectivos apoios. Outros fatores que influenciam na vibração são as dimensões e disposição da laje e a flexibilidade relativa da estrutura. Assim, distâncias das vigas de piso das lajes pré-moldadas e entre pilares no caso de outros tipos de lajes constituem fatores que contribuem para a vibração de lajes (SALES, 2001).

Em geral as patologias das lajes são eliminadas na fase de projeto, por meio do correto dimensionamento e escolha do tipo de laje a ser aplicado. Nem todos os problemas apresentados estão relacionados à estrutura metálica, mas, seja qual for a patologia detectada, sua intensidade deve ser cuidadosamente avaliada e suas causas eliminadas, antes de se proceder a um reforço ou substituição da laje.

4.7.4. Tratamentos de interfaces

O tratamento dispensado às interfaces entre estrutura e sistema de fechamento influi diretamente na qualidade de uma edificação, principalmente no que diz respeito ao acabamento final.

A fixação, as quinas e as junções dos painéis de fechamento industrializados, entre si e com a estrutura em aço, devido à deformabilidade dessa estrutura, apresentam dificuldades que são contornadas com recursos adequados a cada tipo de fechamento adotado. O tratamento dessas junções deve permitir a dilatação térmica diferenciada da estrutura e do fechamento e ainda garantir a estanqueidade necessária (COSTA, 2004).

O nivelamento e o prumo das peças estruturais, principalmente dos pilares metálicos, devem ser os mais exatos possíveis para que não haja necessidade de improvisações no canteiro, tais como deslocamentos de painéis de fechamento e de esquadrias. Mesmo assim, juntas e folgas devem ser previstas para absorver as pequenas tolerâncias dimensionais e as movimentações higrotérmicas inerentes aos sistemas envolvidos.

Sales (2001) apresenta uma edificação onde, na união entre paredes de alvenaria e estrutura metálica não aparente, são aplicadas telas galvanizadas do tipo *ancofix*, as quais são fixadas na alvenaria e na estrutura antes do recobrimento da estrutura e do acabamento da parede com argamassa de reboco. Outro recurso utilizado na união de estruturas metálicas aparentes com fechamento em alvenaria são as cantoneiras metálicas. É possível ainda projetar a alvenaria externa totalmente desvinculada da estrutura metálica, construindo-a sobre balanços de laje previstos em cálculo estrutural. Essa solução pode ser aplicada tanto em paredes moldadas *in loco* quanto em painéis industrializados (Figura 4.10).

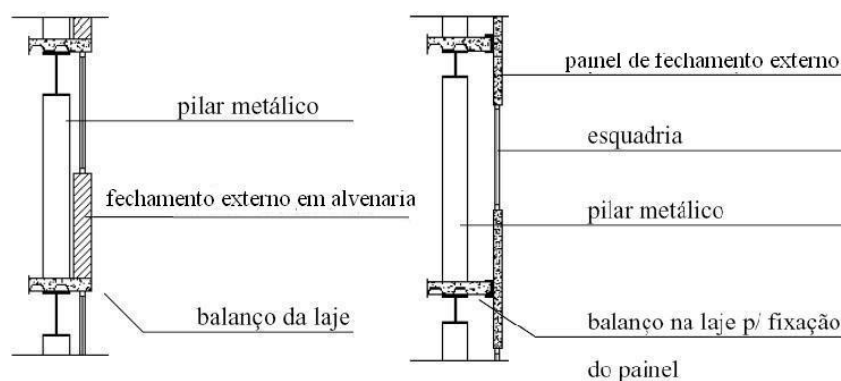


Figura 4.10 – Esquemas de desvinculação entre alvenaria externa e estrutura metálica
Fonte: SALES, 2001

Quando se utilizam painéis de fechamento industrializados, o tipo de painel e de fixação a serem adotados devem ser definidos ainda na fase de projeto. A fixação dos painéis pode

ser feita em lajes, vigas e pilares, aplicando-se *inserts* que sejam resistentes às movimentações diferenciais entre estrutura e fechamento, resistentes aos esforços de ancoragem, dúcteis e resistentes à corrosão. Esses elementos devem ser em geral de aço inoxidável, por ser esse um material resistente mecanicamente e exigir menos cuidados de manutenção. Os parafusos e pinos de fixação utilizados também devem ser de aço inoxidável ou aço galvanizado (Figura 4.11), (SALES, 2001; COSTA, 2004).

No caso de se ter painéis de fechamento fixados diretamente na laje e na viga de borda, o peso desse painel e a carga de vento atuante sobre ele farão com que as vigas necessitem de reforço, seja pelo aumento da área de sua seção transversal, seja pelo uso de enrijecedores ou de vigamento secundário, para que sejam evitados o deslocamento e/ou a deformação excessivos da viga de borda.

A fixação da base do painel pode ser feita por pinos verticais adequadamente solidarizados à laje pelo preenchimento do furo que o comporta por meio de argamassa fluida ou *grout*. Pinos horizontais também podem ser utilizados. No topo dos painéis, cantoneiras permitem sua fixação à via de borda. (Figura 4.11), (COSTA, 2004).

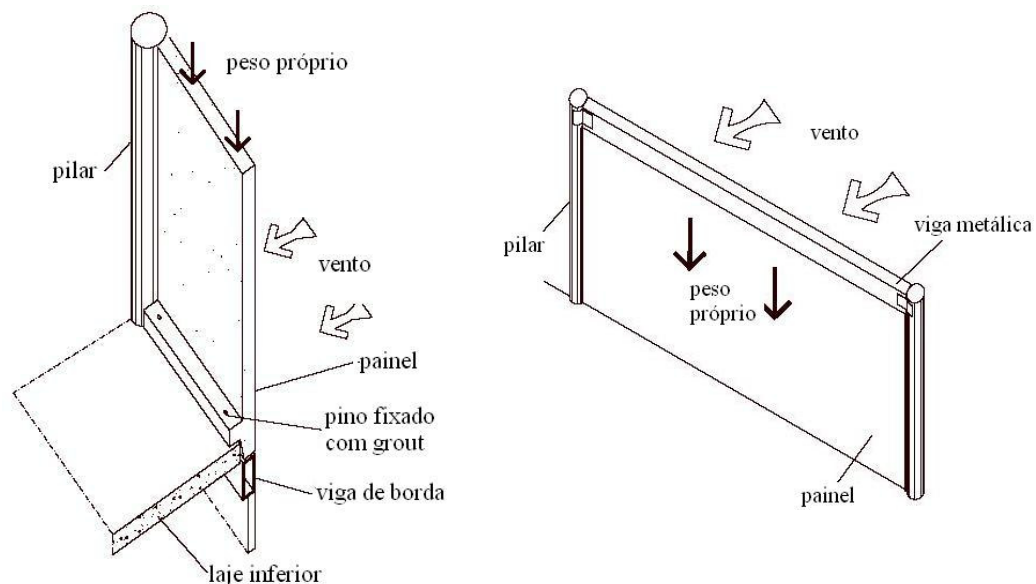


Figura 4.11 – Esquemas de fixação de painel de concreto em laje e viga de borda e em pilares
Fonte: COSTA, 2004

As fixações em pilares também devem ser previstas e bem dimensionadas, posto que a fixação irá transmitir as cargas devidas ao peso próprio e ao vento diretamente para os pilares e desses para a fundação. Deve haver fixação em pelo menos dois pontos de cada lado do painel para que não ocorra a rotação dessa peça. Os *inserts*, que podem ser cantoneiras contínuas ou outros elementos, são soldados aos pilares e fixados nos painéis de fechamento por argamassa colante ou parafusos (Figura 4.12), (COSTA, 2004).

As juntas são previstas para permitir dilatação e movimentação do material dos painéis de fechamento e da estrutura. As juntas e quinas entre painéis e as interfaces entre painel e elemento estrutural, para garantir estanqueidade, devem ser vedadas com materiais que apresentem capacidade de deformação e aderência ao material do painel. Esses materiais são os selantes (silicone de baixo módulo de elasticidade e polissulfeto acrílico) ou os mastiques (gaxetas). O dimensionamento dessas junções deve estar em conformidade com o tipo de selante a ser aplicado e as recomendações do fabricante do painel (COSTA, 2004).



Figura 4.12 – *Inserts* metálicos aplicados na união de painéis de concreto e laje, e de painéis de isolite e pilar
Fonte: SALES, 2001

O selante deve aderir somente às faces adjacentes dos elementos para poder se deformar. Assim, para garantir a profundidade ideal da junta, usa-se um limitador, o qual pode ser de EPS, que impede a aderência do material selante no fundo da junta (Figura 4.13).

Em juntas abertas entre painéis, pode ser utilizada uma faixa de neoprene na junta vertical, complementada pela proteção da região da junta horizontal com uma faixa de manta betuminosa ou butílica (Figura 4.14).

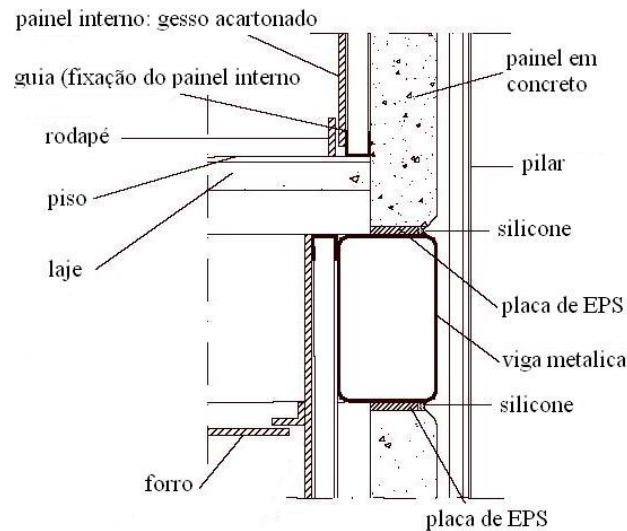


Figura 4.13 – Junção entre painel de concreto e viga metálica
Fonte: COSTA, 2004



Figura 4.14 – Esquema de proteção de junta aberta entre painéis de concreto em corte e em planta
Fonte: COSTA, 2004

Os painéis de gesso acartonado exigem, em sua fixação, que sejam aplicados *inserts* metálicos de sustentação dos painéis. Após a montagem, esses *inserts* ficam embutidos nas paredes. Exigem também que estejam prontas, além das instalações elétricas, hidráulicas etc, o revestimento das paredes externas da edificação e a fixação das esquadrias de fechamento de aberturas e janelas, posto que esse tipo de painel não pode receber umidade (Figura 4.15).



Figura 4.15 – *Inserts* metálicos de sustentação de fechamento em gesso acartonado; detalhe de fixação dos *inserts* em fechamento externo
Fonte: SALES, 2001

CAPÍTULO V

5. A AVALIAÇÃO DAS CONDIÇÕES FÍSICO-CONSTRUTIVAS DO PRÉDIO DA ESCOLA DE MINAS E PATOLOGIAS

5.1. Considerações iniciais

Visando determinar as condições físico-construtivas da edificação, são realizadas análise de projeto e investigação exploratória *in loco* na estrutura e nos fechamentos, ou seja, uma inspeção visual do estado da estrutura e das ligações entre os elementos estruturais e entre esses elementos com os fechamentos utilizados. Essa análise permite avaliar a concepção estrutural e suas interferências no processo construtivo e na utilização da edificação.

Para a identificação dos problemas existentes, das patologias e suas causas, são realizadas investigação exploratória e coleta de dados *in loco*, além de um levantamento fotográfico, documentando os principais fenômenos decorrentes do uso do edifício.

5.2. Concepção estrutural e suas interferências no processo construtivo e na utilização da edificação

5.2.1. Segurança estrutural

Os perfis utilizados foram dimensionados adequadamente, seguindo as normas mencionadas no item 2.4.4, conforme observado *in loco* e na memória de cálculo.

As ligações, tanto as parafusadas quanto as soldadas, foram executadas corretamente, sem nenhum erro aparente de fabricação, projeto ou montagem. Não foram encontrados problemas de dimensionamento ou de ajuste das peças (Figura 5.1).

As peças soldadas possuem cortes regulares. Os cordões de solda são de boa qualidade, sem defeitos como porosidades, trincas, inclusões de escória ou outros. Os conjuntos soldados possuem encaixes adequados e compatibilidade de dimensões. Nas ligações

parafusadas, não foram detectados problemas como rasgamento ou esmagamento das chapas ou indícios de cisalhamento ou dobramento de parafusos.



Figura 5.1 – Ligações soldada e parafusada bem executadas; piso interno pouco elevado em relação ao terreno

A estrutura não apresenta nenhuma falha que signifique risco para os usuários da edificação. O uso de reforços estruturais é verificado em algumas peças. Por exemplo, a viga armada do pórtico de entrada da edificação, que possui um dos vãos livres com 30,40 m de comprimento e é acompanhada por uma treliça em todo o seu comprimento. O perfil de seção transversal tipo I compõe a corda superior dessa viga e a treliça praticamente duplica sua altura, reforçando e realçando-a. Outras vigas mais solicitadas recebem reforço estrutural por meio de enrijecedores no meio do vão (Figura 5.2).



Figura 5.2 – Reforços estruturais em vigas no pórtico de entrada e no segundo pátio

Vê-se que em várias uniões de vigas com pilares foram colocados reforços de chapas para favorecer o enrijecimento e evitar o excesso de deformação nesses pontos (Figura 5.3).

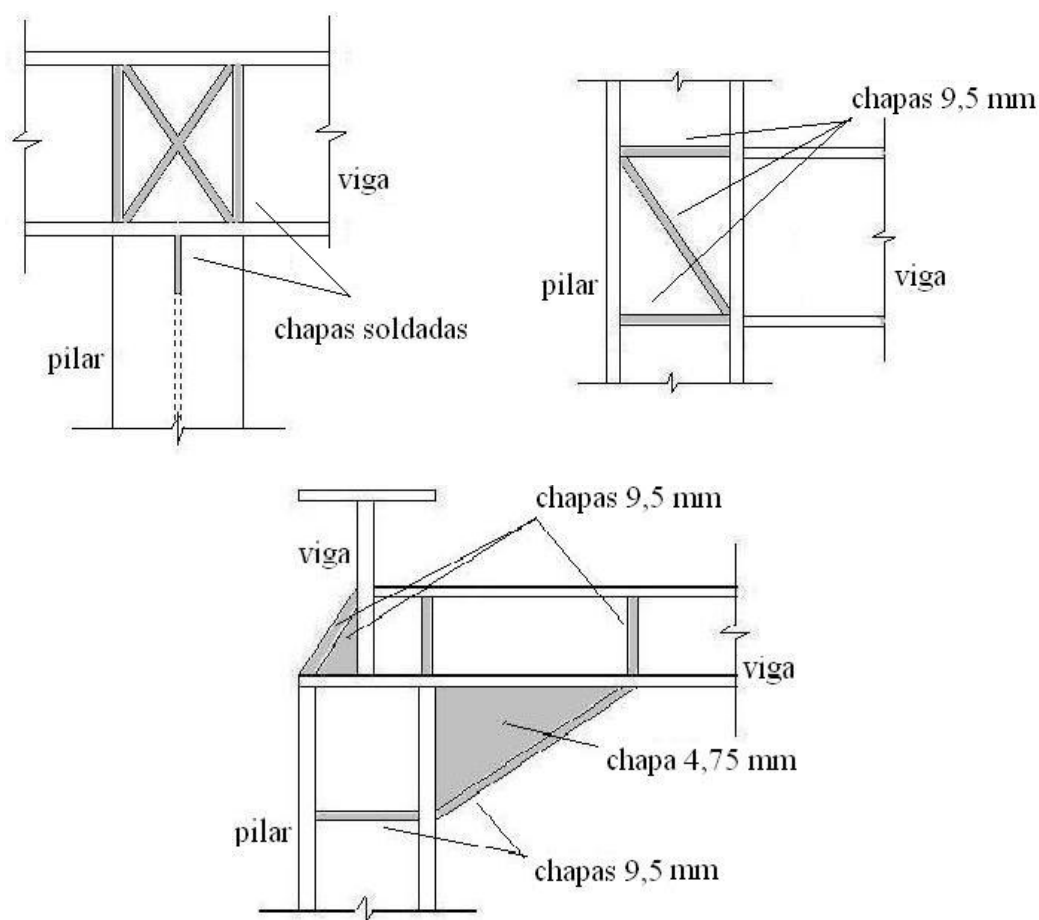


Figura 5.3 – Esquemas de reforços de ligações vigas-pilares por meio de chapas soldadas

Apenas observa-se que algumas vigas da cobertura apresentam um aspecto ondulado em suas mesas. Essas ondulações são evidentes tanto ao longo das vigas, quanto nas ligações das vigas com os pilares. Como essas vigas da cobertura são de chapas relativamente finas, algumas de espessura igual a 4,75 mm, é possível que essas deformações sejam devidas ao processo de soldagem, que causou o empenamento nas chapas, na fase de fabricação dos perfis e na fase de montagem dos pórticos (Figura 5.4).



Figura 5.4 – Ondulações em mesas de vigas

As interfaces entre as peças estruturais receberam tratamento adequado, conforme verificado em projeto e mostrado em esquemas apresentados na Figura 5.5 e descritos a seguir:

- No contato entre lajes e vigas, em alguns casos, as lajes receberam ancoragens constituídas por barras de aço colocadas a cada 0,25 m;
- em alguns contatos entre vigas de aço, a solda não foi aplicada para permitir a dilatação das peças metálicas;
- em contatos de apoio entre piso ou lajes de concreto com vigas metálicas, foram colocadas placas de neoprene, de 0,015 m de espessura, para acomodar movimentos horizontais, garantindo a não transmissão de esforços nesse sentido;
- também no contato entre lajes e vigas, em outros casos, onde as vigas foram tratadas como vigas mistas, foram previstos conectores formados por chapas metálicas;
- os parafusos de contato entre placas de base de pilares e fundação são constituídos por barras rosqueadas ou chumbadores, em número de 2, 4 ou 6 parafusos, conforme o carregamento aplicado, ancorados no concreto, em alguns casos, por mais de 1,00 m de profundidade e com o reforço de barras de cisalhamento;
- após a execução das lajes, foi recomendado fazer-se uma vedação nas mesas e alma das vigas com um filete de silicone antes da pintura de retoque.

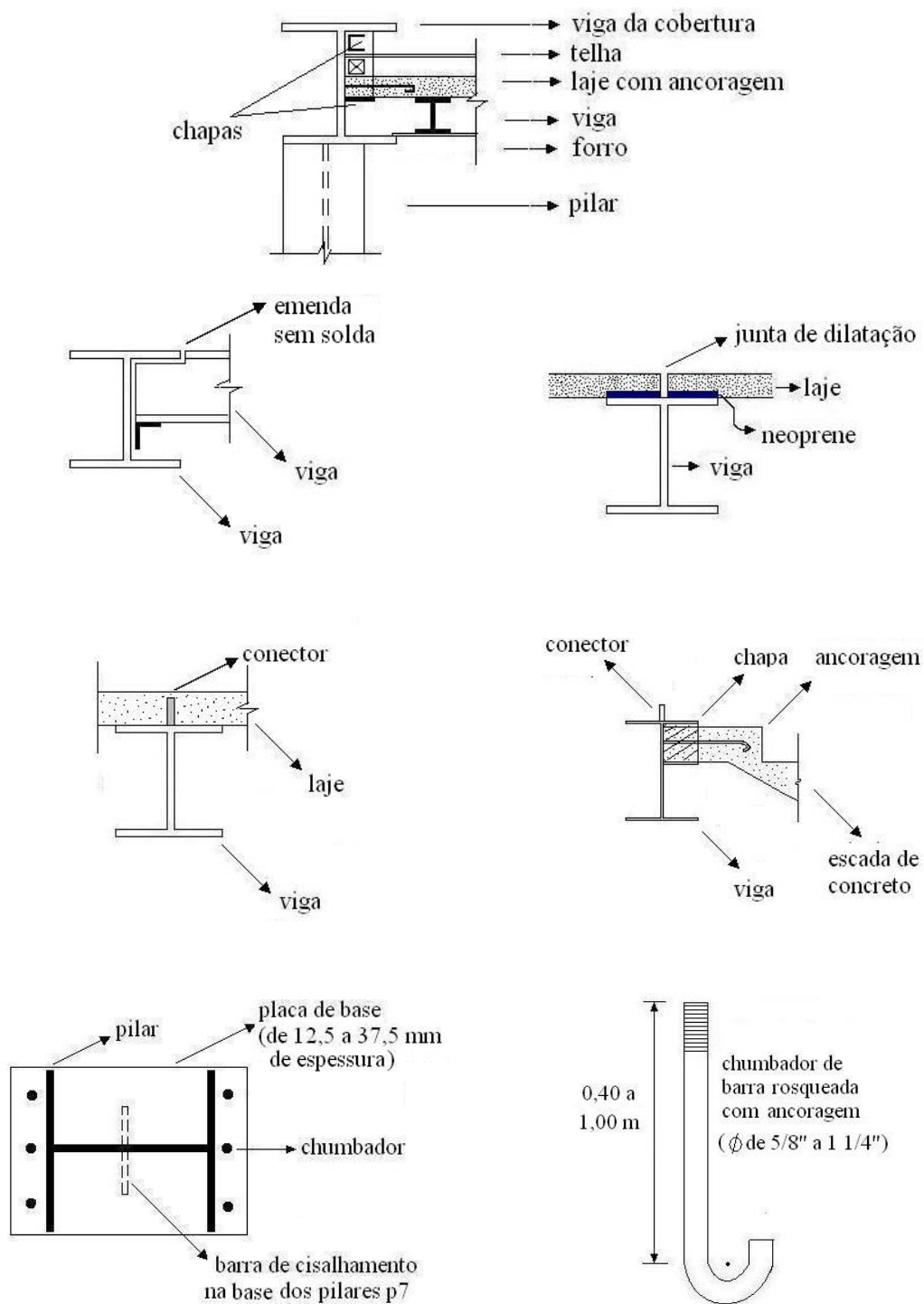


Figura 5.5 – Esquemas de uniões entre elementos estruturais

5.2.2. Fechamentos

Em busca de uma edificação de desempenho estrutural e termo-acústico adequados, devem-se adotar sistemas de fechamento que proporcionem estanqueidade à água, além de isolamento acústico e térmico. Esse último é inerente das características termofísicas dos sistemas de fechamento aplicados. A estanqueidade e o isolamento acústico são provenientes, principalmente, do tratamento adequado das interfaces entre estrutura e sistemas de fechamento. Nas edificações estruturadas em aço, essa associação é dificultada devido ao fato de que os sistemas estrutural e de fechamento, mesmo estando unidos, atuam isoladamente (SALES, 2001).

5.2.2.1. Estanqueidade

O emprego da alvenaria de tijolos cerâmicos como fechamento de estruturas metálicas, bastante comum, apesar de não caracterizar uma construção industrializada, quando é realizado de maneira inadequada, pode acarretar patologias como trincas e infiltrações, principalmente nas interfaces entre estrutura e fechamento, que podem vir a comprometer a estética e a estanqueidade da edificação.

Para minimizar os problemas de contato, em alguns pontos, os projetistas do prédio em estudo adotaram a solução de desvincular a estrutura metálica do fechamento em alvenaria e do fechamento em esquadria de vidro. A laje de piso do segundo pavimento também está desvinculada do fechamento em esquadria de vidro (Figuras 5.6 e 5.7).



Figura 5.6 – Estrutura x alvenaria



Figura 5.7 – Estrutura x fechamento em vidro

Em locais onde a desvinculação não foi possível, por exemplo, no contato entre pilares metálicos e fechamento em alvenaria, tendo-se aplicado argamassa somente, vê-se que essa última está se soltando, o que no futuro poderá comprometer a estanqueidade no interior da edificação, se essa interface não for reparada (Figura 5.8). Ressalta-se que atualmente são empregadas técnicas mais apropriadas no tratamento desse tipo de interface.



Figura 5.8 – Contato entre estrutura e fechamento em alvenaria

Além disso, a desvinculação entre a laje de piso do segundo pavimento e o fechamento externo em esquadria de vidro constitui fator que compromete a estanqueidade das salas localizadas no primeiro pavimento, em decorrência da fresta de 0,05 m de largura gerada entre laje e fechamento externo. Esse problema é sentido principalmente em áreas laváveis como nos banheiros (Figura 5.9).

A pouca elevação do piso interno do primeiro pavimento do prédio em relação ao terreno, de aproximadamente 0,20 m, é outro fator que eleva a falta de estanqueidade da edificação (Figura 5.1).

Soluções de projeto tenderiam a garantir maior estanqueidade, tais como a elevação do piso interno e a adoção de outras alternativas de fechamento externo disponíveis no mercado, mais compatíveis com a industrialização, tais como painéis em placas cimentícias e painéis pré-moldados de concreto. Esses fechamentos poderiam ser fixados diretamente na estrutura, desde que fosse executada técnica adequada no tratamento das interfaces, obtendo-se um melhor aproveitamento de espaço no interior da edificação.

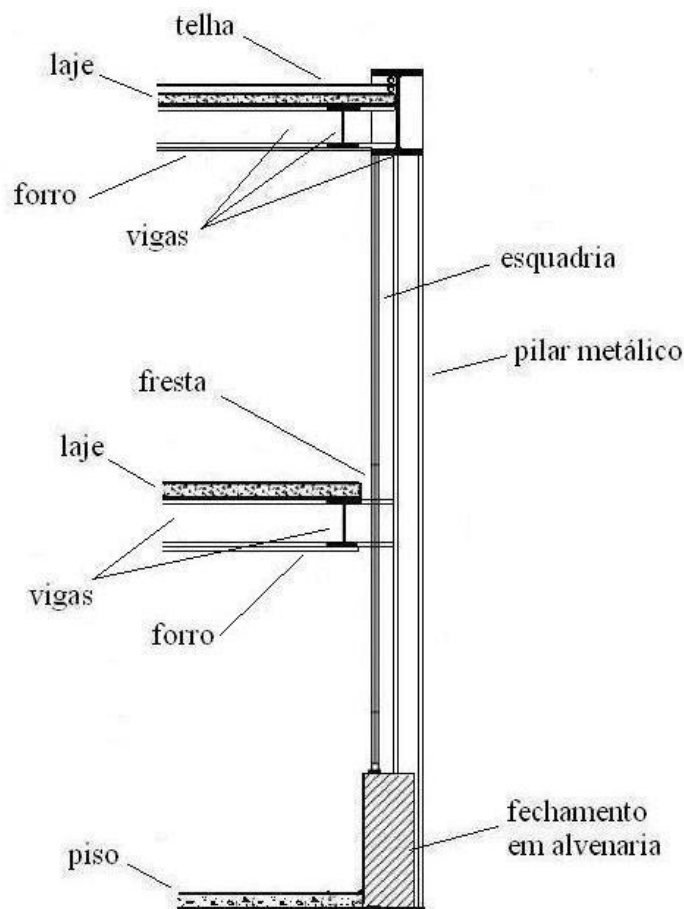


Figura 5.9 – Esquema da disposição estrutura metálica x fechamento externo

5.2.2.2. Isolamento térmico

O uso de fachadas inteiras envidraçadas proporciona à edificação o aproveitamento máximo da iluminação natural da luz solar. As janelas de máximo ar promovem ventilação natural necessária, condicionando, com economia, o ambiente interno. Essa ventilação constitui recurso importante para a melhoria das condições de conforto térmico em qualquer edificação, no verão (Figura 5.10).

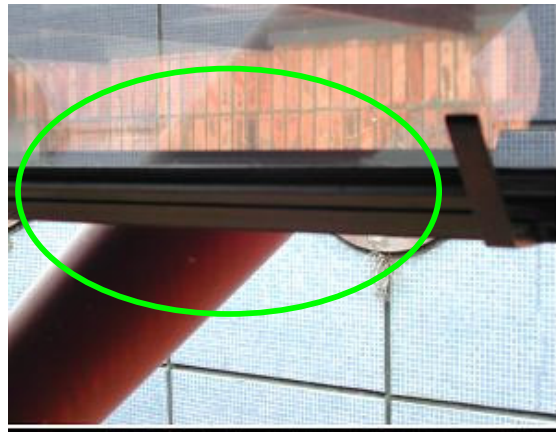
Porém, o efeito térmico proveniente da radiação solar, quando ela atua diretamente sobre o vidro, causa bastante desconforto em dias quentes, aos usuários do segundo andar do edifício, principalmente. Beirais maiores e varandas cobertas voltadas para as fachadas mais ensolaradas são soluções de projeto que evitariam a incidência direta dos raios solares sobre os vidros.

Mas, como esses recursos não foram previstos, a radiação solar penetra nos ambientes através dos vidros e é absorvida pelas superfícies internas, aumentando a sua temperatura e emitindo radiação de onda longa, para a qual o vidro é opaco, causando o chamado efeito estufa, que implica na elevação da temperatura no interior da edificação (Figura 5.10).

Películas de controle solar foram aplicadas sobre o vidro e minimizam esse fenômeno. No entanto, em alguns pontos, os contraventamentos existentes na edificação, peças de função apenas arquitetônica, impedem que seja aproveitada a máxima abertura das janelas (Figura 5.11), dificultando a ventilação em alguns ambientes.



Figura 5.10 – Janelas de máximo ar



5.11 – Janela impedida de abrir completamente

Soluções arquitetônicas são propostas para amenizar os efeitos da radiação solar: a instalação de persianas ou de *brises* na parte externa das janelas mais ensolaradas, recurso que permite a ventilação e ainda protege do sol, e uma arborização adequada nos arredores do prédio. A arborização, apesar de ser uma solução cujos resultados virão a longo prazo, tende a amenizar naturalmente o clima no entorno da edificação, além de ser de aspecto agradável e estético.

Os corredores existentes entre as salas do primeiro bloco possuem comprimento aproximado de 41 m, sem ventilação cruzada, o que, além de onerar o gasto com iluminação artificial, contribui para aumentar a sensação interna de calor nessas alas. O uso de lanternins na cobertura ou o recurso de ventilação cruzada poderiam diminuir a temperatura interna e consistiriam em soluções de projeto propostas no sentido de

contornar esses problemas e criar condições de ventilação e iluminação naturais adequadas com economia e conforto aos usuários. A ventilação cruzada poderia ser obtida colocando-se pequenas aberturas, na parte superior da parede oposta às janelas, voltadas para o corredor, sem nenhum prejuízo à acústica das salas (Figura 5.12).

Um estudo do comportamento térmico, conforme proposto no capítulo 6, permite avaliar, para essa edificação, o nível de desempenho térmico, na tentativa de alertar sobre a necessidade ou não de intervenções para a melhoria do conforto interno.



Figura 5.12 – Locais onde poderiam ser feitas aberturas de modo a promover ventilação cruzada nos corredores

5.2.2.3. Isolamento acústico

O desempenho acústico de um ambiente depende de vários fatores, dentre os quais destacam-se o posicionamento do edifício e de suas dependências, as características acústicas dos sistemas de fechamento adotados e o tratamento de suas interfaces entre si e com a estrutura, pisos, coberturas, forros e esquadrias, além de especificações de equipamentos e instalações possíveis geradores de ruído.

Sales (2001), considerando que estruturas e fechamentos mais leves possuem menor massa para isolamento de ambientes e maior fragilidade em termos de isolamento sonora, realizou avaliações qualitativas de capacidade de isolações sonoras, por meio da lei de massa,

determinando perdas de transmissão sonora em função da frequência do som, com fechamentos verticais externos e internos.

Assim, foram comparados fechamentos externos constituídos por alvenaria, placa cimentícia, painel simples de concreto recheado de poliestireno (isopor), painel duplo de concreto recheado de poliestireno (isopor), painel de concreto celular autoclavado, painel de concreto maciço, painel simples de EPS e painel duplo de EPS. E fechamentos internos constituídos por alvenaria, divisórias de gesso com faces simples, divisórias de gesso com faces duplas, painel simples de EPS, painel duplo de EPS e painel de concreto celular.

Entre esses, o fechamento externo em alvenaria, com espessura de 25 cm, material utilizado como fechamento vertical no primeiro pavimento do prédio da Escola de Minas, possui desempenho acústico superior à maioria dos fechamentos industrializados do mercado, sendo que apenas os painéis duplos de concreto recheados de isopor e os painéis duplos de EPS apresentam desempenho melhor, Figura 5.13 (SALES, 2001).

Nas dependências da edificação em estudo, onde foi utilizado o fechamento com divisórias pré-fabricadas moduladas, observa-se que esse tipo de fechamento apresenta pouca isolamento sonora e os ruídos de uma sala interferem em outra. Além disso, as frestas existentes entre a laje de piso do segundo pavimento e a esquadria do fechamento externo, agravadas pela falta de rodapés de borracha, contribuem para a passagem do som de um andar para o outro.

Para o sistema de fechamento interno, paredes de painéis duplos em gesso acartonado, recheados, ou não, de materiais isolantes acústicos, e paredes em painéis duplos de EPS proporcionam desempenho acústico superior ao da alvenaria de 15 cm de espessura, utilizada como fechamento interno das salas de aula, Figura 5.14 (SALES, 2001).

Os painéis de gesso acartonado, ou *dry wall*, que também são de montagem rápida, poderiam ser utilizados como fechamento interno. Esses painéis, como as divisórias, possuem as vantagens de permitirem flexibilidade e adaptação dos espaços conforme o uso, serem de montagem rápida, oferecerem limpeza à obra durante a montagem e, diferentemente das divisórias utilizadas, permitirem o embutimento de dutos de maior volume para a fiação e admitirem reforço para fixação de bancadas, estantes e pias, podendo ser aplicados em áreas molháveis. Por outro lado, como desvantagens, também

necessitam de estrutura auxiliar em perfis leves metálicos, que ficam embutidos na parede, não podem ser molhados durante a montagem, exigem mão de obra especializada e devem ser aplicados de forma planejada após a instalação de todos os dutos de energia, telefonia, água e esgoto.

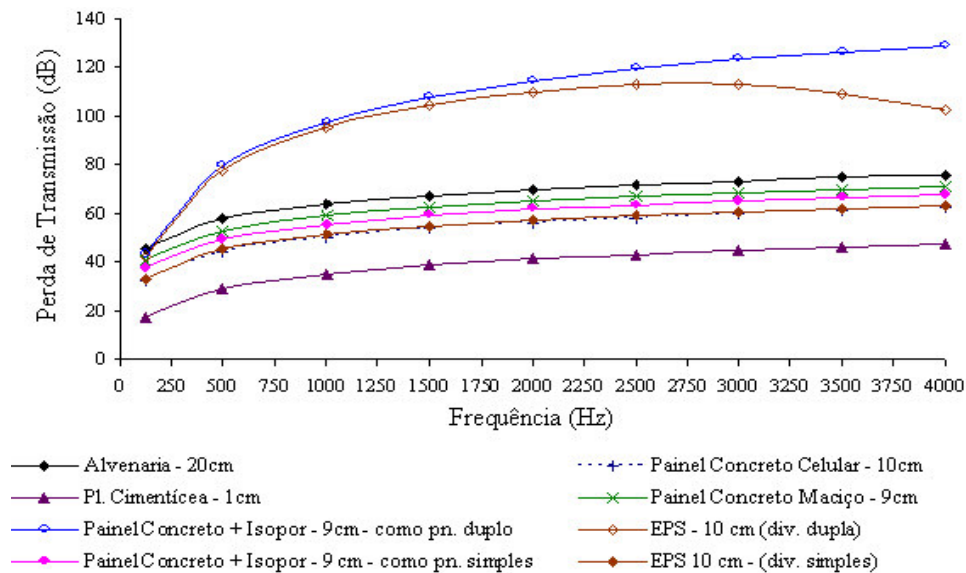


Figura 5.13 – Variação de perda de transmissão sonora para paredes externas
Fonte: SALES, 2001

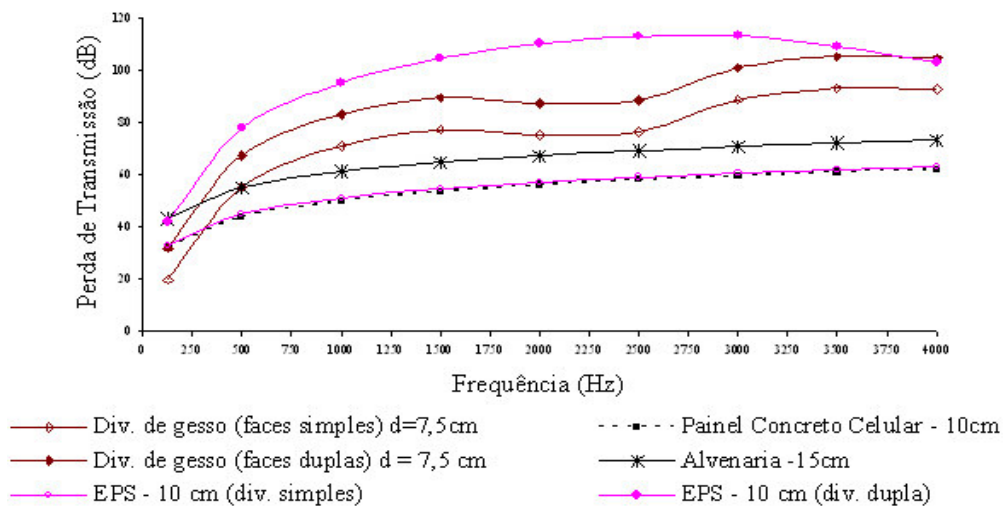


Figura 5.14 – Variação de perda de transmissão sonora para paredes internas
Fonte: SALES, 2001

Na edificação em estudo, para proporcionar melhor isolamento acústico, as paredes de duas salas de aula, que ficam localizadas no primeiro bloco, com fechamento interno em divisórias, foram modificadas, passando a ser paredes duplas com adição de uma manta de lã de vidro entre elas. Outra modificação ocorreu no auditório de eventos do prédio, sala 110, que foi reformado em 2005 e a divisória foi trocada por painéis duplos de gesso acartonado recheados com lã de vidro, totalizando uma parede de espessura igual a 0,25 m, com revestimento interno em feltro, para garantir melhor isolamento acústico.

Vê-se que, como fechamento externo, a alvenaria proporciona condições de conforto ambiental satisfatória, mas a falta de isolamento sonora nas interfaces geradas pelas frestas entre o piso do segundo pavimento e a esquadria do fechamento causa desconforto. Esse problema poderia ser atenuado por meio da colocação de rodapés de borracha em todo o edifício. Na sala 110, o isolamento acústico teve uma melhoria após a colocação dos painéis duplos de gesso acartonado. Mas, como existe a fresta, em decorrência da não colocação do rodapé, esse isolamento ainda não está otimizado.

Além disso, como nas dependências onde foi utilizado o fechamento com divisórias pré-fabricadas moduladas, a isolamento sonora é baixa, a adoção do sistema de fechamento interno em gesso acartonado com paredes duplas e espessura de 7,5 cm poderia constituir uma solução satisfatória.

Ressalta-se que, para a escolha do sistema de fechamento mais adequado quanto ao isolamento acústico é necessário o conhecimento das propriedades isoladas de seu material, considerando-se a execução e a montagem de cada sistema e suas interferências com o meio (SALES, 2001).

Mas, além de uma escolha dos sistemas de fechamento e tratamento adequado das juntas, é necessária a compatibilização dos outros sistemas componentes de uma obra, pois todos eles apresentam interfaces entre si, as quais devem ser executadas de maneira que a edificação alcance o desempenho global esperado. Os projetos, sua compatibilização, bem como o planejamento dos processos de concepção e de execução da obra geram uma visão sistêmica da construção, que exige uma abordagem multidisciplinar e integrada de todos os projetos e etapas constituintes (SOUZA e SALES, 2005).

5.3. Manutenção da edificação e patologias identificadas

Para identificar as patologias existentes e suas causas, uma investigação exploratória, coleta de dados *in loco* e levantamento fotográfico são realizados, visando documentar os principais fenômenos patológicos decorrentes do uso e da falta de manutenção do edifício. Esse levantamento, feito entre novembro e dezembro de 2005, ou seja, após nove anos de ocupação, mostra que as patologias não comprometem estruturalmente a edificação, mas prejudicam seu desempenho global e causam desconforto visual. Vê-se também que alguns dos problemas estão relacionados à concepção do projeto, enquanto outros, às interfaces entre os componentes construtivos e à falta de manutenção.

A construção dessa edificação foi realizada em uma época na qual não havia ainda, por parte de alguns dos profissionais envolvidos nos processos construtivos, a conscientização atual de se fazer um projeto final racional e integrado que considerasse todas as interferências dos vários subprojetos envolvidos (arquitetônico, de cálculo, hidráulico, elétrico, de telefonia, etc), em todas as etapas da obra. Assim, fatores tais como a falta de visão sistêmica, os tratamentos dados a algumas interfaces, a adoção de alguns sistemas de fechamentos e revestimentos, que na época eram os disponíveis na região, mas que com o tempo se mostraram ineficientes, e a falta de manutenção fizeram com que patologias se instalassem no prédio.

5.3.1. Processos Corrosivos

Processos de corrosão uniforme foram detectados em vários pontos da estrutura metálica, da passarela central e em outras áreas da edificação. Em alguns locais faz-se necessária uma intervenção no sentido de interromper o fenômeno que poderá futuramente comprometer a estrutura de aço, o qual apesar de ser resistente à corrosão, face à umidade da atmosfera local e ao contato dos pilares com o solo (Figura 5.1), está bastante deteriorado em pontos específicos (Figura 5.15 e 5.16).

Essa intervenção consiste em remoção da camada de óxido e outras substâncias como poeira, por meio de lixamento ou outro esquema de limpeza que permita sua eliminação, seguida de aplicação de tinta adequada de boa aderência e compatível com a existente.



Figura 5.15 – Corrosão uniforme em vigas da cobertura

Todos os elementos da passarela, calhas, tubos e tirantes, deveriam ser galvanizados, conforme indicação de projeto. Mas, devido ao acentuado processo de corrosão instalado, essa requisição parece não ter sido atendida, sendo recomendável fazer-se manutenção periódica com limpeza e repintura com tinta adequada (Figura 5.16).



Figura 5.16 – Corrosão uniforme em elementos da passarela

Na união de perfis de chapa dobrada com solda intermitente, diante da exposição das intempéries e de fezes de aves, e junto a parafusos localizados nas bases dos pilares tem-se instalado o processo de corrosão em frestas (Figura 5.17). Recomenda-se, então, uma

limpeza, de modo a eliminar a umidade e poeira, seguida de vedação da entrada das frestas, antes de nova aplicação de tinta protetora.

Os parafusos de fixação da cobertura metálica que forma o fechamento externo dos banheiros, das varandas e das passarelas, que deveriam ser em aço galvanizado ou inoxidável, e os perfis de sustentação das coberturas das varandas também se encontram corroídos, aconselhando-se a substituição das peças que estiverem em pior estado, limpeza das outras e pintura.

As bases dos pilares dos pórticos por estarem no nível do terreno, devem ser mantidas limpas e livres de material orgânico, ou receber uma proteção de concreto que fique alguns centímetros acima do solo (Figura 5.17).

Uma revisão no processo de drenagem do terreno, que é gramado nos pátios internos e no contorno do prédio, também é necessária, para impedir que a água fique empochada nessa região, o que sempre acontece em períodos de chuva.



Figura 5.17 – Corrosão em frestas em viga com solda intermitente e em parafusos da base de pilar

Os pilares tubulares das passarelas possuem base de concreto, mas além dessas bases serem rentes ao chão, as pingadeiras da calha da cobertura deságuam bem junto de cada pilar, respingando de cima, sem um condutor que escoie a água até o solo, o qual deveria estar devidamente drenado, ou até as canaletas do sistema de coleta de água pluvial. Esses fatos contribuem para a presença de corrosão nas bases desses pilares e para o desmanche

da proteção de concreto das placas de base, que já estão visíveis e expostas às intempéries em alguns pontos (Figura 5.18).

Nas mesas das vigas da cobertura, devido às chuvas e poeira, a corrosão é bastante acentuada. Os rufos foram instalados de maneira que ocorre infiltração entre eles e as mesas das vigas, favorecendo a corrosão das peças estruturais ali situadas (Figura 5.19). Sugere-se que novos rufos galvanizados sejam instalados. Eles devem cobrir inteiramente as mesas das vigas e possuir uma pequena dobra na extremidade para contribuir com o escoamento da água de chuva.



Figura 5.18– Pingadeira sobre pilar da passarela e placa de base à amostra

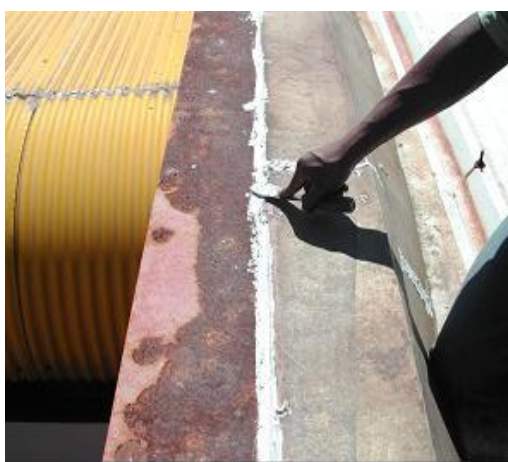


Figura 5.19 – Corrosão em viga da cobertura

5.3.2. Desgaste da pintura

A estrutura metálica foi pintada em tom avermelhado, sendo que no projeto de arquitetura foi especificada a utilização de tinta automotiva brilhante, de cor estável e resistente ao intemperismo. Mesmo assim, observa-se o desbotamento da pintura em locais sujeitos à ação dos raios ultravioletas. Essa degradação da resina, denominada de empoamento, faz a pintura perder o brilho superficial, tornando-se fosca, e diminui a eficiência da película, comprometendo a estética e favorecendo a corrosão (Figura 5.20). Ressalta-se que, em áreas sujeitas à insolação, a estrutura metálica deve receber pintura com tinta poliuretânica alifática que, apesar do custo elevado, possui como vantagem a excelente resistência ao intemperismo, sem perder o brilho e a cor, além de boa flexibilidade, dureza e aderência, podendo ser aplicada diretamente sobre a pintura antiga (CASTRO, 1999).

Durante esse levantamento, uma repintura da estrutura metálica encontrava-se em andamento. Estava sendo aplicado um esmalte sintético de alto brilho, boa durabilidade e ótima resistência, indicado para pintura e proteção de superfícies internas e externas constituídas por metais ferrosos, galvanizados, alumínio e madeira.



Figura 5.20 – Estado da pintura da estrutura metálica

5.3.3. Trincas nos fechamentos

Em alguns pontos do prédio da Escola de Minas ocorrem trincas em razão da infiltração que ocorre na cobertura. Essas trincas aparecem tanto em coberturas, quanto em

fechamentos verticais. Para sua correção, a terapia seria a eliminação das infiltrações da cobertura, seguida de reconstituição da parede (Figura 5.21).



Figura 5.21– Trincas causadas por infiltração em laje arredondada de cobertura e em parede de alvenaria

Em outros pontos, geralmente em faces opostas de paredes comuns de salas de aulas, aparecem trincas em consequência da passagem de eletrodutos, mostrando que houve falta de sincronismo entre projeto elétrico e de fechamento. A parede, apesar de ter apenas seu peso como carga atuante, ficou com sua resistência diminuída quando foram realizadas as interligações dos pontos de tomadas (Figura 5.22).



Figura 5.22 – Trincas em fechamento de alvenaria causadas por incompatibilidade de projetos

Aparecem trincas também em fechamento de alvenaria devidas a esforço de cisalhamento. Essas trincas não comprometem a estabilidade do fechamento, mas a estética fica bastante prejudicada. Esse tipo de patologia é de ocorrência bastante comum em fechamento de alvenaria, mesmo em edificações estruturadas em concreto armado, e normalmente surgem em consequência da movimentação higrotérmica entre os elementos estruturais e de fechamento da edificação (Figura 5.23).



Figura 5.23 – Trincas devidas a cisalhamento

Em uma mureta, de tijolo aparente em uma face e revestida com argamassa em outra, que há no segundo pavimento do *hall* de entrada, existe uma trinca que pode ser originada por deformação por flexão da estrutura, por ser essa viga de sustentação da mureta (v18) apoiada por vigas em balanço (v23), (Anexo II), ou, pode ser originada por falha de detalhamento construtivo, que não previu juntas de controle ao longo dessa mureta, a qual possui cerca de 24 m de comprimento. Se ficar constatada que a trinca é ocasionada pelo esforço de flexão da peça estrutural, é necessário analisar se a trinca está estabilizada. Caso não esteja, deve-se reforçar o perfil estrutural de sustentação dessa parede, antes da reparação da trinca. Entretanto, se ficar constatada sua estabilização, basta uma recomposição da alvenaria (Figura 5.24).

A reparação das paredes de alvenaria, revestidas em argamassa, com trincas pode ser realizada de duas maneiras. Se a trinca for superficial e pequena, recomenda-se limpar a superfície, umedecê-la, fazer o seu enchimento com algum produto selador de trincas ou

massa corrida, fazer seu acabamento com espuma umedecida, lixar, selar e pintar essa superfície que deve estar bem seca.

Para trincas maiores e mais profundas, a recuperação deve ser feita retirando-se parte do reboco até encontrar a alvenaria e fazendo-se um recorte formando um “V”, tendo a trinca como referência central, com 10 mm de espaçamento e 5 mm de profundidade na alvenaria. Com um pincel aplica-se *primer* sobre o sulco que deve estar limpo e seco. Deve-se aguardar o tempo necessário, para aplicar algum produto selador de trincas e esperar sua cura. Após essa etapa, recomenda-se colar tela de poliéster sobre a região aberta, com cola a base de PVA, e esperar a secagem da cola, para se preencher a região com argamassa, e fazer seu acabamento, lixando, selando e pintando.

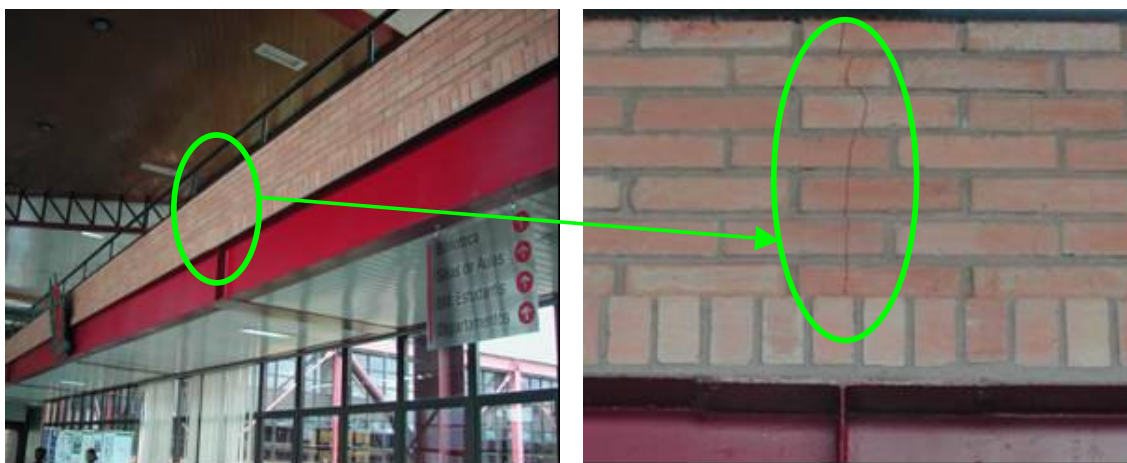


Figura 5.24 – Trinca em fechamento sobre viga contínua apoiada em vigas em balanço

5.3.4. Infiltrações na cobertura e no revestimento

As telhas da cobertura possuem, por imposição arquitetônica, um pequeno caimento, que é inadequado para chuvas fortes. Para impedir a penetração da água de chuva sobre a laje de forro, foram empregados rufos metálicos de chapa zincada, apoiados sobre as vigas metálicas e nas calhas, que foram dimensionadas para dar vazão à água pluvial. Tubos de 100 mm de diâmetro, que passam pelos cantos de alguns pilares, recebem a água proveniente das calhas, desembocando-a na rede pluvial (Figura 5.25).

Apesar desses cuidados, há várias infiltrações de água de chuva pela edificação que causam desconforto, umidade, bolor e trincas em paredes. A água escorre entre os rufos e

as mesas das vigas, infiltrando-se nas frestas entre a laje e as vigas, escorrendo pelo forro de PVC, o qual já se encontra abalroado em alguns pontos, e pingando em determinadas salas e, mais gravemente, na biblioteca, comprometendo o acervo (Figura 5.26).



Figura 5.25 – Calha e tubo condutor de água de chuva

As causas dessa patologia, que favorece a corrosão do aço, seriam a falta de capacetes nas muretas de contorno da cobertura, impermeabilização ineficiente ou de má qualidade no telhado e instalação incorreta dos rufos sobre as mesas das vigas (Figura 5.27).



Figura 5.26 – Infiltração de água de chuva no forro de PVC e na cobertura da biblioteca



Figura 5.27 – Corrosão de peças metálicas causada por infiltração e evidências de infiltração na cobertura da biblioteca

Além de infiltrações entre os rufos e as mesas das vigas, ocorre infiltração na cobertura metálica que recobre as lajes das passarelas do segundo pavimento e nas paredes da rampa e escadas revestidas externamente por pastilhas, causando bolor, descascamento de revestimento interno e corrosão das luminárias desses locais (Figura 5.28).

Esse fenômeno está presente ainda na interface da estrutura metálica com o fechamento em esquadria, em dias de chuva forte, quando penetra água em alguns pontos da edificação (Figura 5.29).

Entre 1999 e 2000 foi feita uma troca de calhas, que eram de fibra de vidro e apresentavam rachaduras, e passaram a ser de zinco com pintura anticorrosiva para prolongar sua vida útil. Mas, atualmente outra manutenção se faz urgente para eliminar as infiltrações da cobertura do prédio.

As medidas a serem tomadas podem ser: troca ou recuperação das peças da estruturas metálicas que sustentam o telhado, troca de telhas e calhas que estiverem em mau estado, limpeza periódica das calhas para evitar transbordamentos e entupimentos dos tubos condutores, nova aplicação de silicone ou outro produto entre os rufos e as mesas das vigas, entre telhas da cobertura metálica e entre estrutura e fechamento em esquadria (Figura 5.30).



Figura 5.28 – Bolor no revestimento e corrosão na luminária causados por infiltração



Figura 5.29 – Infiltração de água de chuva entre estrutura e fechamento



Figura 5.30 – Calha suja

5.3.5. Descascamentos

O descascamento do revestimento ocorre no contato entre estrutura de concreto e laje e entre estrutura de aço e fechamento de alvenaria no exterior da edificação (Figura 5.31).



Figura 5.31 – Descascamentos de revestimento em laje e em parede externa

Essa patologia ocorre também em locais de infiltração como se observa nas paredes internas das escadas e da rampa, as quais são de alvenaria revestidas externamente com pastilhas, tendo perfis leves como juntas de dilatação. Esses perfis, na posição em que foram instalados servem de calha para a água de chuva. Nessas juntas, na face posterior, situada no interior da edificação, várias infiltrações, bolores e conseqüentes descascamentos são notados (Figura 5.32).

O descascamento do revestimento, provocado pela freqüência e gravidade dos problemas de infiltração, que com o tempo tendem a comprometer a estrutura das paredes de alvenaria, sugere uma reparação imediata que deve começar pela eliminação da infiltração, seguida de raspagem do local afetado, recomposição do revestimento e nova pintura das paredes.

Ocorre também o descascamento de tijolos que compõem as fachadas, principalmente em regiões que recebem respingos de água de chuva. A qualidade dos tijolos e da película de impermeabilizante que a parede recebeu são outros fatores que ocasionaram esse fenômeno, que causa também limbo nas paredes externas (Figura 5.33).

Revisão nos sistemas de captação das águas do telhado e de drenagem, replantio de grama junto às paredes, limpeza dos tijolos e aplicação de produto hidrofugante, o qual impermeabiliza impedindo a absorção de água pelos tijolos sem formar película, são medidas aconselháveis. Um sistema de drenagem adequado é primordial, principalmente

para evitar o acúmulo de água nas bases dos pilares, as quais se encontram em contato direto com o solo (Figura 5.34).



Figura 5.32 – Infiltração nas juntas de dilatação provocando o descascamento do revestimento no interior da edificação



Figura 5.33 – Descascamento e limbo em paredes de alvenaria



Figura 5.34 – Estrutura metálica em contato direto com água de chuva

5.3.6. Problemas nos fechamentos internos

As divisórias apresentam as vantagens já mencionadas no Capítulo 2, sendo que as principais são a rapidez e facilidade de instalação. Contudo, destacam-se desvantagens, além da falta de isolamento acústico, tais como: são combustíveis por serem de chapas de eucalipto, os perfis metálicos que as compõem se soltam facilmente e apresentam dificuldade de embutimento de fiação volumosa.

Na época de construção dessa edificação, não foi previsto e nem se imaginava a quantidade de cabeamento exigido pela rede *web*, sendo necessárias intervenções e colocação de eletrodutos aparentes, sendo comum o uso de canaletas de PVC. Esse problema de dificuldade de embutimento de fiação também é encontrado no fechamento em tijolo aparente (Figura 5.35).



Figura 5.35 – Dificuldade de embutimento de fiação

Outro problema que ocorre é no contato do vidro com as vigas transversais do *hall* de entrada. Há locais onde foi possível fazer recortes no vidro de modo a compatibilizar seu contato com a estrutura. Por outro lado, no caso da viga que entra de maneira oblíqua, foram deixados espaços abertos, que facilitam a entrada de aves e água de chuva no interior do edifício (Figura 5.36).



Figura 5.36 – Compatibilização e incompatibilização entre fechamento e estrutura

5.3.7. Problemas de ordem geral

Nos itens anteriores foram apresentadas as patologias observadas pelo uso da estrutura metálica e dos fechamentos aplicados e sugeridas recomendações para uma manutenção da edificação. Nesse item são relacionados problemas de ordem geral detectados, sendo, alguns deles, conseqüências do uso da estrutura metálica, outros não. Alguns desses problemas não chegam a configurar patologias, mas comprometem a estética, o conforto, a saúde e a segurança do usuário.

Esses problemas estão relacionados a aspectos construtivos, ao uso da edificação e à falta de manutenção preventiva, em função de patologias já apontadas, ou simplesmente são resultados de improvisos para contornar outras situações.

Alguns problemas são de fácil solução, como os que surgiram com o uso e a falta de manutenção, os que são conseqüências de patologias que apareceram ao longo do uso e de improvisações. Outros problemas, relacionados a aspectos construtivos, nem sempre são fáceis ou possíveis de resolver, pois demandam quebra-quebras, modificação da concepção do edifício, tais como embutimento da estrutura metálica, elevação do piso interno, etc.

5.3.7.1. Problemas relacionados a aspectos construtivos

a) Má utilização de espaços e espaços inadequados

Alguns espaços originados por vãos debaixo de escadas não são aproveitados adequadamente, servindo de depósito de material e móveis não utilizados de maneira desordenada. Como não foi prevista iluminação nesses locais e ocorre infiltração das paredes externas das escadas, são espaços escuros e úmidos, que podem favorecer a infestação de animais peçonhentos no interior da edificação (Figura 5.37).

Por outro lado, os nichos gerados pelo distanciamento das paredes de tijolo laminado com o fechamento em esquadria, no interior da edificação, foram fechados formando armários embutidos nos corredores e nas salas do primeiro pavimento (Figura 5.38). No entanto, somente os armários localizados nas salas são utilizados. Os armários dos corredores não possuem nenhum uso.

A área que existe debaixo da rampa é aproveitada como depósito de equipamentos utilizados em aulas de topografia, mas como não foram previstos recursos de ventilação nesse espaço e há infiltração nas paredes externas do local, diante das razões apontadas no item 5.3.5, o ar local é bastante insalubre.

b) Infestação de aves nos arredores

A estrutura metálica em perfil de seção transversal tipo I propicia espaços possíveis para aves se alojarem, inclusive formando ninhos. Os arredores da edificação estão infestados de pombas e é de conhecimento que as fezes dessas aves podem sofrer contaminação por fungos causadores de enfermidades graves do sistema nervoso e, eventualmente, infecção pulmonar, nos seres humanos (Figura 5.39).

c) Animais peçonhentos

O fato de a edificação ser quase nivelada com o terreno, além de comprometer a estanqueidade, pode contribuir com a entrada de animais peçonhentos em seu interior. Não se vê com frequência esse tipo de animal no interior da edificação, provavelmente, devido à presença dos pombos. Portanto, a retirada desses últimos pode favorecer a infestação dos primeiros. Um estudo de controle biológico pode auxiliar nesse aspecto (Figura 5.40).



Figura 5.37 – Aproveitamento inadequado de espaço

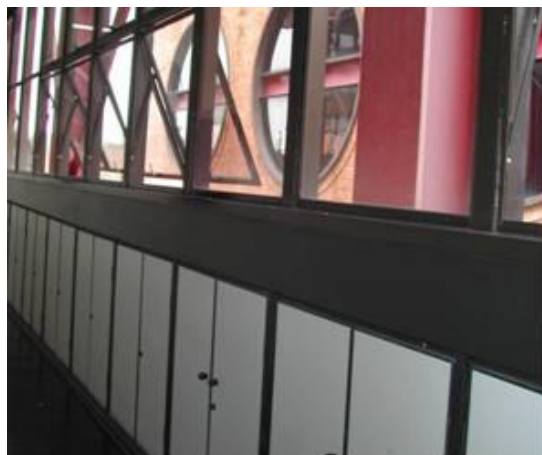


Figura 5.38 – Aproveitamento adequado de espaço

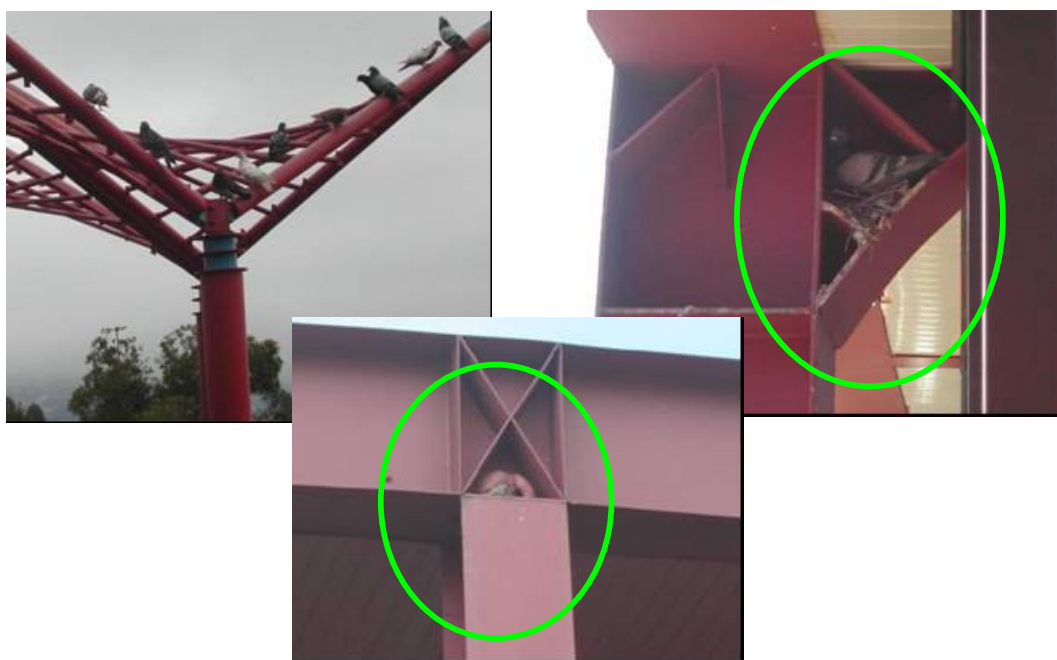


Figura 5.39 – Infestação de aves nos arredores da edificação

d) Piso escorregadio

Por existir uma diferença de nível entre os dois blocos da edificação, de cerca de 0,30 m, no segundo pavimento, há uma pequena rampa nas varandas que unem esses blocos. Essas

varandas são abertas e sujeitas a chuva. Se molhado, seu piso se torna muito escorregadio, podendo provocar acidentes. (Figura 5.41).



Figura 5.40 – Piso interno pouco acima do solo



Figura 5.41 – Pequena rampa causada por desnivelamento entre blocos

e) Anteparos das pias dos banheiros

Acima das pias dos banheiros há um anteparo de concreto polido, situado a 1,20 m de altura, que também pode provocar acidentes quando uma pessoa abaixa ou levanta a cabeça para utilizar a pia (Figura 5.42).

f) Risco nas escadas

Em algumas escadas de acesso ao segundo pavimento, observa-se que o corrimão foi instalado em apenas um dos lados, apesar dessas escadas possuírem 2,00 m de largura, e, em nenhuma delas, há proteção antiderrapante nos pisos dos degraus. O mesmo se verifica na escada da biblioteca, que é bastante alta e não possui corrimão central, nem proteção antiderrapante (Figura 5.43).



Figura 5.42 – Anteparo acima das pias dos banheiros



Figura 5.43 – Escadas sem corrimão em um dos lados e sem proteção antiderrapante nos degraus

g) Insegurança

As janelas dos banheiros do primeiro pavimento são de esquadria de aço e vidro aramado e estão situadas a cerca de 1,00 m de altura em relação ao piso externo. São, portanto baixas e não possuem grades, o que contribui com a insegurança, permitindo a entrada de pessoas estranhas na edificação (Figura 5.44).

Outros fatores que contribuem com a insegurança são a fragilidade e a pouca durabilidade das fechaduras das portas das divisórias, fazendo com que alguns usuários instalassem fechaduras mais robustas (Figura 5.45).

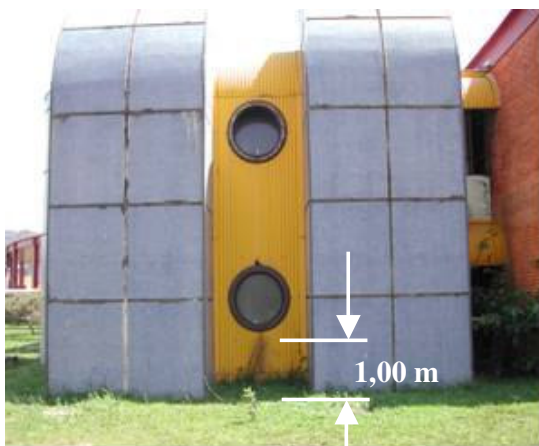


Figura 5.44 – Janelas baixas



Figura 5.45 – Uso de maçanetas mais robustas

Nas salas de estudos individuais da biblioteca, encontram-se janelas que, apesar de estarem localizadas a 2,00 m de altura do piso do segundo pavimento, têm possibilidade de serem abertas, o que favorece o extravio do acervo. Por outro lado, a não possibilidade de abertura dessas janelas incorre em falta de ventilação e aquecimento interno excessivo, principalmente das salas localizadas nas fachadas norte e oeste desse setor (Figura 5.46).

h) Problemas nas esquadrias

Vêm-se alguns vidros de janelas rachados. Alguns, por se tratarem de vidros aramados, não oferecem nenhum perigo, mas o aspecto é desagradável. Além disso, vegetação brota nas paredes ao redor dessas janelas, do lado de fora da edificação (Figura 5.47). Tem-se ainda o destacamento das esquadrias das janelas de máximo ar, cuja esquadria de sustentação pode se romper, devido à corrosão ou simplesmente ao uso, com risco de a janela se desprender, podendo causar imprevistos graves se isso acontecer no segundo pavimento (Figura 5.48).

5.3.7.2. Problemas relacionados ao uso da edificação e à falta de manutenção preventiva

a) Tablados barulhentos e quebrados

Os tablados de madeira que existem próximos aos quadros nas salas de aula causam barulho excessivo, quando se caminha sobre eles, e alguns estão quebrados, podendo também provocar acidentes (Figura 5.49).

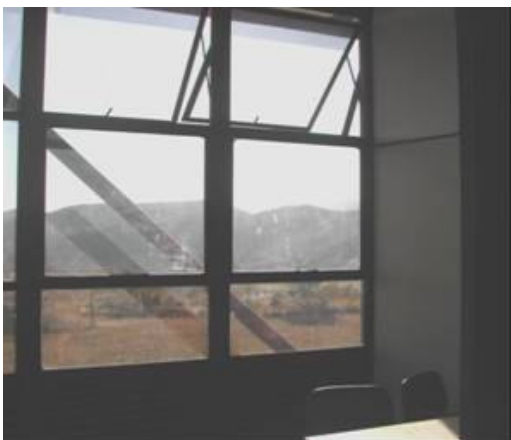


Figura 5.46 – Janelas abertas na biblioteca



Figura 5.47 – Janela necessitando de manutenção



Figura 5.48 – Janela quebrada



Figura 5.49 – Tablado quebrado

b) Risco de incêndio

Excesso de carga de incêndio é observado nas salas de estudo, em depósitos e em banheiros desativados (Figura 5.50). Também vêm-se emaranhados de fiação elétrica de equipamentos de informática em salas de estudo e laboratórios de computação. Mesmo que essa fiação não ofereça risco, a maneira como está disposta, compromete a estética (Figura 5.51).

Uma revisão da instalação elétrica é necessária, pois a existência de uma mancha escurecida ao lado de cada luminária do *hall* de entrada denota que pode haver algum problema na fiação que está acima do forro (Figura 5.52). Observa-se ainda que próximos

a equipamentos ligados na rede elétrica nem sempre há extintores adequados disponíveis (Figura 5.53).



Figura 5.50 – Cargas de incêndio



Figura 5.51 – Emaranhado de fiação



Figura 5.52 – Mancha no forro denotando problema na rede elétrica



Figura 5.53 – Extintor inadequado próximo a equipamento ligado na rede elétrica

5.3.7.3. Problemas resultantes de outras patologias e de improvisações

a) Abertura para escoamento da água de chuva

Na biblioteca, em razão da infiltração excessiva, são necessárias aberturas nas paredes de alvenaria. Essa solução, feita de improviso na estação chuvosa, favorece o escoamento da água e possui uma tela de arame para evitar a entrada de animais maiores, mas propicia a entrada de animais peçonhentos no interior da biblioteca e não deve ser eliminada enquanto houver infiltração na cobertura desse setor (Figura 5.54).

b) Presença de aves no forro

O abalroamento dos forros de PVC, no interior da edificação, provocado pelas constantes infiltrações de água de chuva na cobertura, causa o afastamento entre as peças do forro e a estrutura, no lado externo, favorecendo a entrada de aves nesse local. Em períodos chuvosos, quando a água escorre pelo forro e pinga em algumas salas, percebe-se um cheiro desagradável, por causa das fezes das aves depositadas no forro (Figura 5.55).

c) Outra consequência da infiltração

Em decorrência das infiltrações que existem nas paredes e na cobertura, é acentuada a corrosão das esquadrias de algumas janelas de aço e há o descolamento da tinta nas molduras, feitas de argamassa, dessas janelas (Figura 5.56).



Figura 5.54 – Abertura improvisada em parede da biblioteca



Figura 5.55 – Local propício para a entrada de aves no forro da edificação

d) Corrosão em peças dos banheiros

As divisórias foram utilizadas também nos banheiros e algumas delas estão com seus perfis de sustentação sob estado de corrosão avançado, sendo necessária sua imediata substituição. Outras peças do banheiro também estão comprometidas pela corrosão. A umidade inerente ao local juntamente com a umidade vinda da infiltração que ocorre nas paredes externas propiciam esse fenômeno (Figura 5.57).



Figura 5.56 – Esquadria corroída



Figura 5.57 – Corrosão acentuada em peças dos banheiros

e) Cerca de arame

Por fim, nos fundos da edificação, uma improvisação de fechamento do pátio interno situado no final do segundo bloco, constituído por uma cerca de arame farpado, compromete a estética e oferece riscos a crianças da comunidade que escolhem o campus para brincadeiras nos finais de semanas (Figura 5.58).



Figura 5.58 – Cerca de arame farpado

5.4. Considerações finais

A edificação em estudo não apresenta nenhum inconveniente de ordem estrutural, mas problemas construtivos surgiram em detrimento do uso de alvenaria convencional com a estrutura metálica. Concepções de projeto também causaram patologias tal como o uso dos contraventamentos verticais em aço tubular de função apenas arquitetônica. Essas peças ressaltam a estrutura metálica e a importância desse tipo de reforço em construções metálicas, mas são peças cuja pintura também sofre desgaste, estão sujeitas à corrosão e impedem a abertura total de algumas janelas, prejudicando a ventilação natural em alguns ambientes. Outras concepções de projeto que causam problema é a baixa declividade do telhado e o revestimento externo em pastilhas cerâmicas que recobre os volumes dos banheiros, escadas e rampa, que desencadeiam várias infiltrações pelo prédio.

O levantamento realizado mostra que, qualquer que seja o sistema adotado, manutenções periódicas adequadas devem ser feitas, pois patologias estão em constante processo de avanço, sendo que nessa edificação as que mais comprometem são a corrosão da estrutura metálica e das esquadrias componentes dos fechamentos e a infiltração que aparece na cobertura e nos fechamentos.

Na época do levantamento das patologias, uma manutenção corretiva estava em andamento, tais como reparo da cobertura, pintura da estrutura metálica e dos elementos da

passarela, recomposição do revestimento interno nas paredes de alvenaria, limpeza dos tijolos e nova aplicação de impermeabilizante, além de replantio de grama no pátio interno (Figuras 5.59).



Figura 5.59 – Manutenção sendo realizada

Essa reforma revitalizou a edificação, mas ressalta-se a importância de um planejamento adequado de execução. Exemplificando, os pilares de sustentação da passarela receberam pintura, no entanto, antes desse procedimento não foi aplicado nenhum processo de limpeza para retirada da camada de corrosão e as pingadeiras da calha da cobertura continuam desaguando junto de cada pilar, respingando de cima. Nota-se que, por consequência disso, após apenas um ano, a corrosão está se formando novamente nas bases dessas peças (Figura 5.60).



Figura 5.60 – Pilar antes e depois da repintura e sua base com princípio de corrosão

Mesmo tendo conhecimento sobre a dificuldade, lentidão e burocracia que envolvem a reforma de uma edificação pública, o ideal é que a manutenção se torne uma prática constante e feita de forma planejada. Assim, os resultados obtidos alcançarão eficiência e os problemas não retornarão a curto prazo, evitando-se reformas repetitivas e desgastantes tanto do ponto de vista administrativo quanto econômico.

CAPÍTULO VI

6. A AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO TÉRMICO DO PRÉDIO DA ESCOLA DE MINAS

6.1. Considerações iniciais

A avaliação do desempenho térmico do prédio da Escola de Minas é realizada por meio de medições *in loco*, dos parâmetros climáticos no entorno e das condições internas de temperatura e umidade, em cinco salas diferentes (Figura 6.1).

Faz-se também uma avaliação via simulação numérica. As simulações numéricas são feitas considerando-se a configuração do sistema de fechamento existente, conforme mostrado no capítulo 2, comparando-se com outros tipos de fechamento externo praticados no mercado.

Os resultados obtidos pelas simulações numéricas e medições *in loco* são apresentados, comparados e discutidos.

6.2. Verificação do desempenho térmico por meio de medições *in loco*

Para as medições internas, *in loco*, utiliza-se um sistema de aquisição de dados com *data logger* e sensores, para a medição da umidade e da temperatura do ar (AHLBORN, 2003). Os sensores são fixados num suporte, em posições determinadas, seguindo recomendação da norma ISO 7726:1985 e que correspondem às alturas da cabeça, do abdome e do calcanhar (Figura 6.2). A aquisição de dados é feita utilizando-se o *software AMR WinControl* (AKROBIT, 2002).

Para as medições externas, realizadas simultaneamente às medições internas, utilizam-se sensor de silício, para a medição da temperatura, e sensor capacitivo, para a medição da umidade, conectados a um microcomputador (COCOTA JÚNIOR, 2005), Figura 6.3.

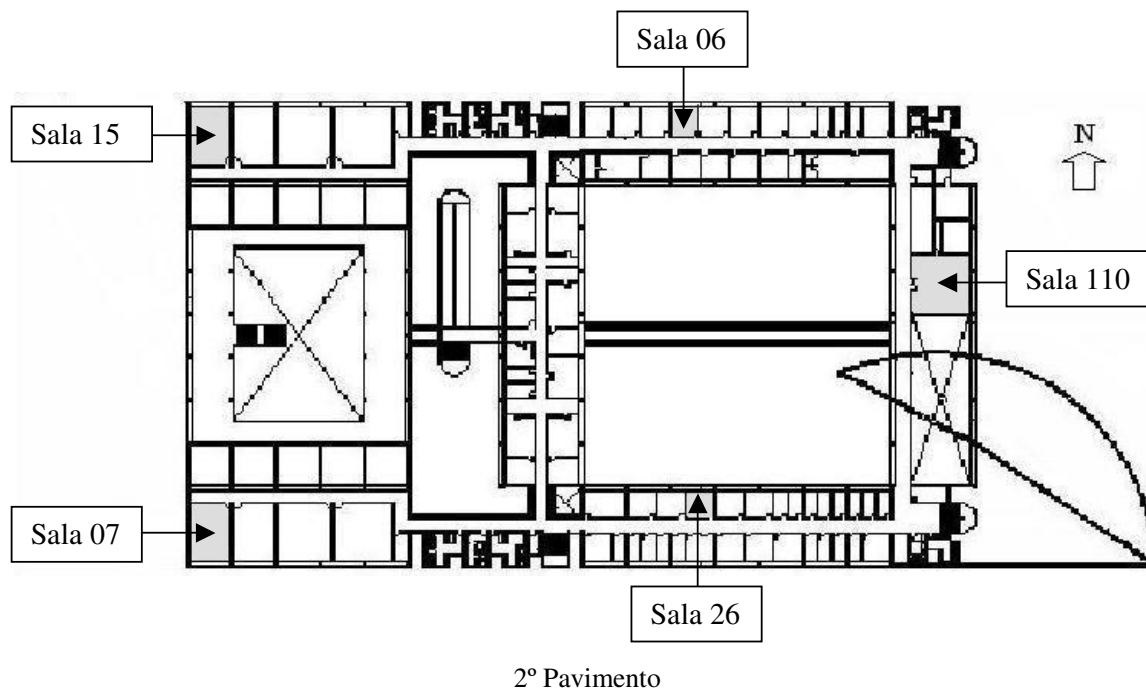


Figura 6.1 – Localização das salas onde são realizadas medições na planta baixa da edificação



Figura 6.2 – Equipamentos de medição de temperatura e umidade internas



Figura 6.3 – Equipamentos de medição de temperatura e umidade externas

6.2.1. Principais características dos sensores de medição de temperatura e de umidade

Os métodos para medição de temperatura podem ser por sinais elétricos/eletrônicos ou por radiação térmica. Os medidores elétricos/eletrônicos são muito práticos, pois fornecem um sinal de fácil leitura e amplificação. Os principais sensores de temperatura que utilizam esses métodos são os termômetros de resistências metálicas, os termistores, os termopares, os sensores de silício e os sensores de radiação (KNOP e SOUZA, 2006).

O sistema de medição dos parâmetros internos utiliza os termistores, que são sensores do tipo resistivo e que possuem coeficientes de temperatura negativos chamados de NTC's (*Negative Temperature Coefficient*), isto é, sua resistência diminui quando há um aumento de temperatura. Os NTC's são formados de materiais semicondutores, sendo empregados, na maioria das vezes, uma mescla de óxidos metálicos de manganês, cobalto e níquel. A relação resistência versus temperatura de um sensor NTC é não-linear, sobretudo quando se considera uma margem de temperatura bem ampla (GARCIA *et al.*, 2004). A função que equaciona o comportamento de um sensor NTC é dada pela equação (6.1):

$$R = R_0 \exp \left[\beta \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0} \right) \right] \quad (6.1)$$

onde, R é a resistência na temperatura T (K), R₀ é a resistência na temperatura de referência T₀ (K) e β é o índice de sensibilidade do termistor que varia de 3500 a 4600 K.

A principal vantagem dos termistores é que são sensores extremamente sensíveis. Devido à alta resistência nos termistores, o erro de leitura da resistência é baixo, quando comparado com os termômetros de resistência elétrica, chamados de RTD's (*Resistance Temperature Detector*). Além disso, essa alta resistência proporciona pequenas correntes no circuito. Sendo assim, os erros de leitura provocados por aquecimentos são muito pequenos (GARCIA *et al.*, 2004).

Por outro lado, os termistores, por serem semicondutores, não funcionam adequadamente em altas temperaturas, ficando sua utilização limitada a temperaturas abaixo de 300 °C. Os NTC's são confiáveis, sensíveis e econômicos, sendo que seus maiores inconvenientes são sua lentidão de resposta e a presença de grandes tolerâncias em seu processo de fabricação.

Na medição da umidade relativa do ar são utilizados psicrômetros, sensores de umidade capacitivos ou higrômetros de fibra sintética. Os psicrômetros são constituídos por um termômetro de bulbo seco e um outro termômetro de bulbo úmido e representam a forma clássica de se determinar a umidade relativa e/ou absoluta do ar por meio de um gráfico chamado carta psicrométrica.

Nas medições realizadas são utilizados sensores de umidade capacitivos de umidade relativa, que são usados em numerosas aplicações industriais, sempre que é necessário controlar a umidade nas indústrias têxtil, alimentação, fabricação de papel, etc. Esses sensores são constituídos por um substrato com uma fina película de polímero ou metal óxido, que é colocado entre dois condutores elétricos, e possuem sua superfície coberta por um metal poroso, que o protege de contaminação. Existem diferentes tipos de sensores capacitivos, função da composição das placas do condensador, o material dielétrico e o substrato, empregados. O substrato usualmente é cristal, cerâmica ou silício. Nos sensores de umidade capacitivos, com a absorção de água correspondente a uma determinada umidade relativa, a constante dielétrica muda e, conseqüentemente, a capacitância da película também, sendo essa alteração, diretamente proporcional à umidade relativa e não dependente da pressão atmosférica. A variação da capacitância se encontra entre 0,2 a 0,5 pF (pico-Faraday) por 1% da umidade relativa (GARCIA *et al.*, 2004).

Os sensores capacitivos, utilizados na medição da umidade relativa, são sensores que se caracterizam por um coeficiente de temperatura baixo, capacidade para trabalhar em altas temperaturas e uma boa compatibilidade química. São usados em longos períodos, mesmo em temperaturas abaixo de zero, sem necessidade de manutenção. Porém, esses sensores, são sensíveis em relação à condensação da umidade e possuem limitada estabilidade em longo prazo (AHLBORN, 2003).

6.2.3. Resultados das medições *in loco*

São realizadas medições externas e medições internas da temperatura e da umidade relativa do ar, simultaneamente. As medições internas são realizadas nas salas 06, 07, 15, 26 e 110, todas no segundo pavimento. A escolha dessas salas deve-se ao fato de que elas estão

localizadas em diferentes posições dentro da edificação, em fachadas que recebem bastante insolação, conforme indicação mostrada na Figura 6.1.

As salas 06 e 26 são salas de estudo, possuem fechamento externo em esquadria e painel de vidro e interno em painel de divisória e suas aberturas estão orientadas para o norte. As salas 07 e 15 são salas de aula, possuem fechamento externo em painéis de esquadria e vidro e interno em alvenaria de tijolo cerâmico revestido com argamassa, com espessura de 15 cm, e possuem aberturas orientadas para o sul e para norte, respectivamente. Quanto à sala 110, ela é o auditório de eventos da unidade, possui fechamento externo em painéis de esquadria e vidro e fechamento interno em painéis duplos de gesso acartonado recheados com lã de vidro, totalizando uma parede de espessura igual a 0,25 m, com revestimento interno em feltro. Suas aberturas estão orientadas para o leste (Figura 6.1).

Os resultados obtidos são apresentados nas Figuras 6.4 a 6.19. As medições nas salas 07, 15 e 26 são realizadas em período de verão e de inverno, enquanto que as medições nas salas 06 e 110 são realizadas em um período intermediário.

As medições, em geral, são realizadas para um período de três dias. No entanto, para a sala 15, os resultados são apresentados apenas para o dia 26/01/2006, para a sala 07, os dias 28 e 29/01/2006 e para a sala 06, os dias 22 a 24/04/2005 (nesse período não foram computados os dados referentes ao ambiente externo).

Quando as taxas de ocupação e de ventilação de uma edificação não são elevadas e seus ambientes não são condicionados, a capacidade térmica dos elementos dos sistemas de fechamento constitui variável importante na sua resposta térmica, pois o armazenamento de energia térmica que ocorre nesses fechamentos influi na variação de temperatura do ar interior. Essa variação de temperatura será mais lenta quanto maior for a inércia térmica da edificação. Assim, se em dias anteriores ao dia selecionado para a análise térmica, as temperaturas do ar interior tiverem valores mais elevados, obtêm-se valores mais altos para as temperaturas do ar interior e vice-versa (AKUTSU, 1998).

Portanto, a avaliação térmica de uma edificação é melhor realizada quando se considera o último dia de uma sequência de três dias com características climáticas homogêneas. Caso a inércia térmica da edificação seja considerada média, bastam dois dias para se obter uma estabilidade na resposta térmica dessa edificação.

Na Figura 6.16 tem-se uma seqüência de dias homogêneos, isto é, dias que possuem valores máximos diários e mínimos diários da mesma ordem de grandeza. Observa-se um certo atraso na variação da temperatura do ar interior em relação à temperatura do ar exterior, em função da inércia térmica do sistema de fechamento utilizado na edificação.

Na Figura 6.18 vê-se uma seqüência de dias com valores diários crescentes e aumento da temperatura máxima diária, quando se observa que tanto a temperatura do ar interior quanto a temperatura do ar exterior crescem.

Na Figura 6.14 tem-se uma seqüência de dias com valores máximos diários e mínimos diários decrescentes, quando se observa que, tanto a temperatura do ar interior, quanto a temperatura do ar exterior decrescem.

Assim, tanto quanto as condições climáticas, a intensidade da radiação solar e a amplitude da temperatura do ar, a inércia térmica dos elementos dos sistemas de fechamento afeta a resposta térmica de uma edificação.

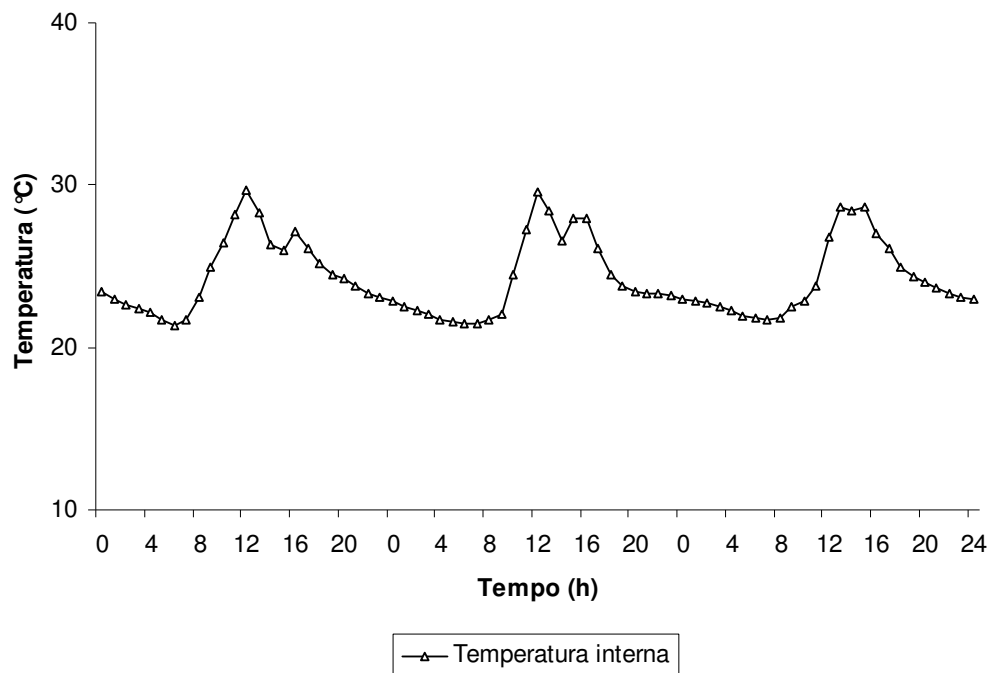


Figura 6.4 – Temperatura interna, sala 06, de 22 a 24/04/2005

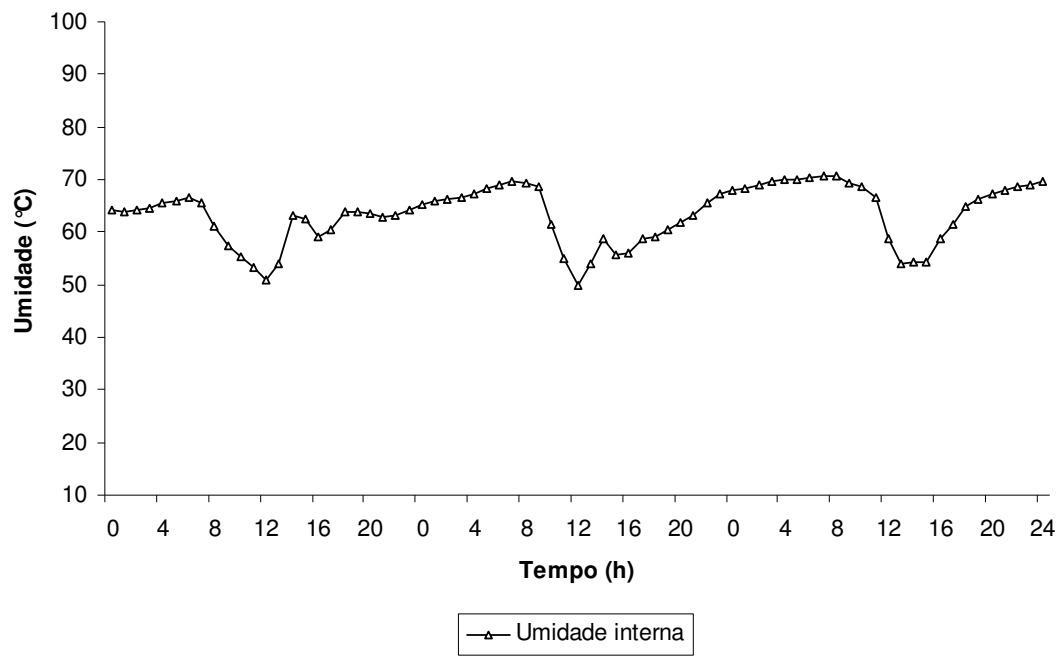


Figura 6.5 – Umidade interna, sala 06, de 22 a 24/04/2005

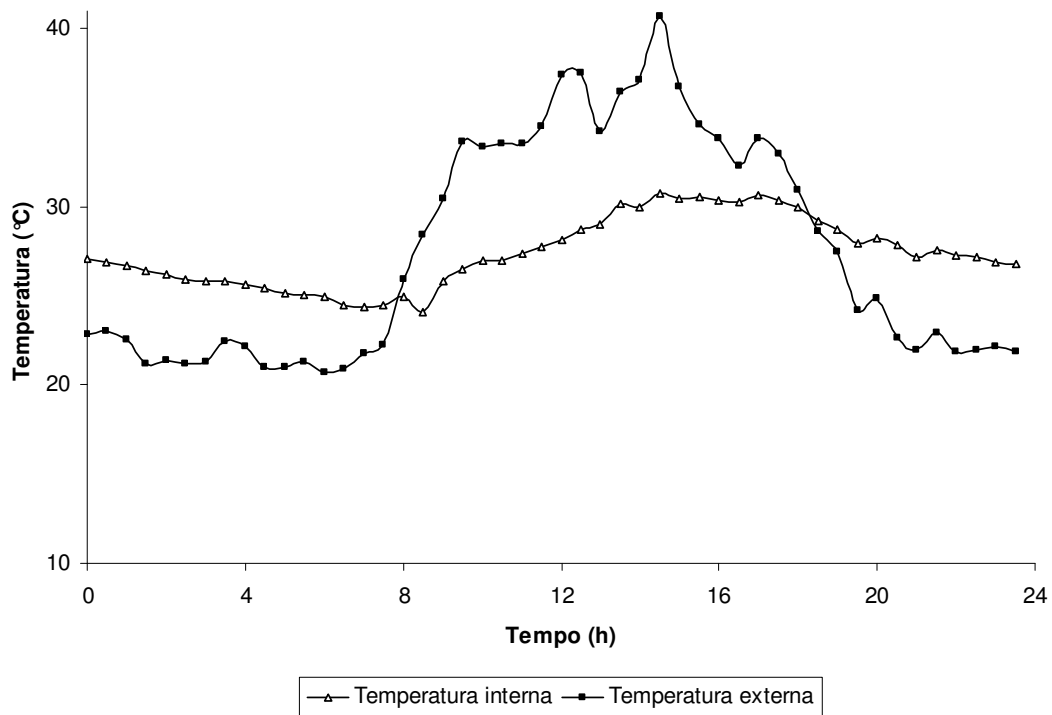


Figura 6.6 – Temperatura interna e externa, sala 15, 26/01/2006

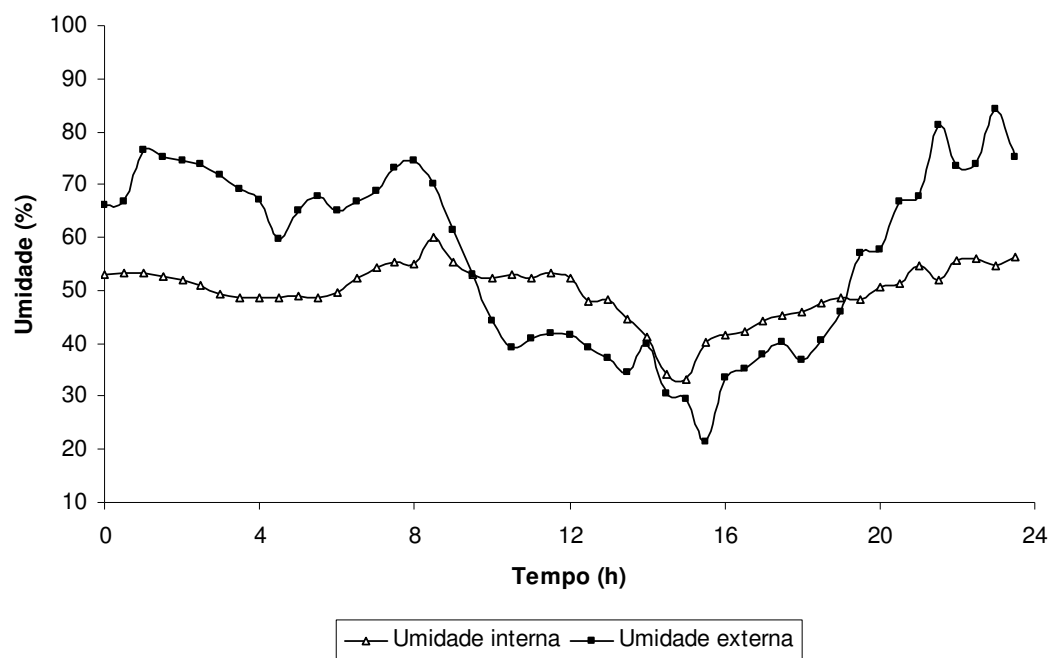


Figura 6.7 – Umidade interna e externa, sala 15, 26/01/2006

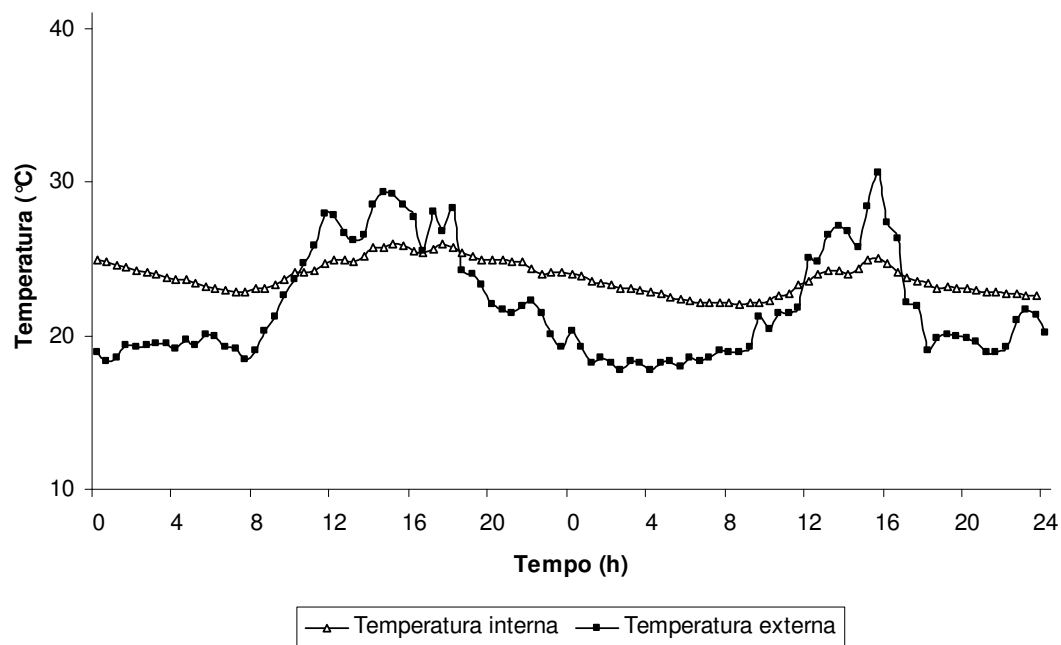


Figura 6.8 – Temperatura interna e externa, sala 07, de 28 a 29/01/2006

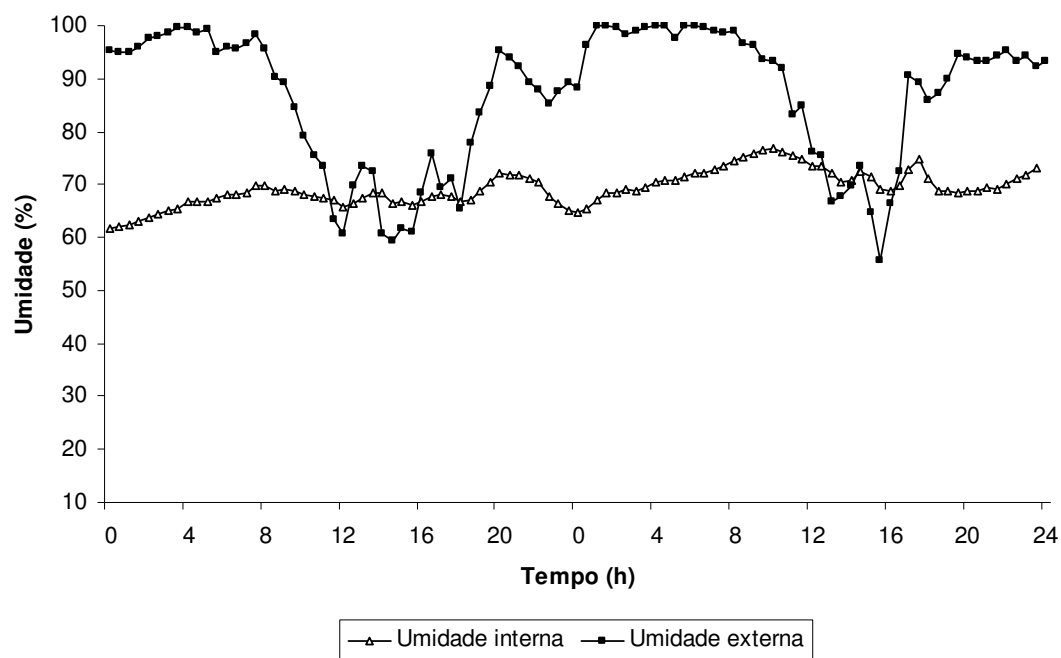


Figura 6.9 – Umidade interna e externa, sala 07, de 28 a 29/01/2006

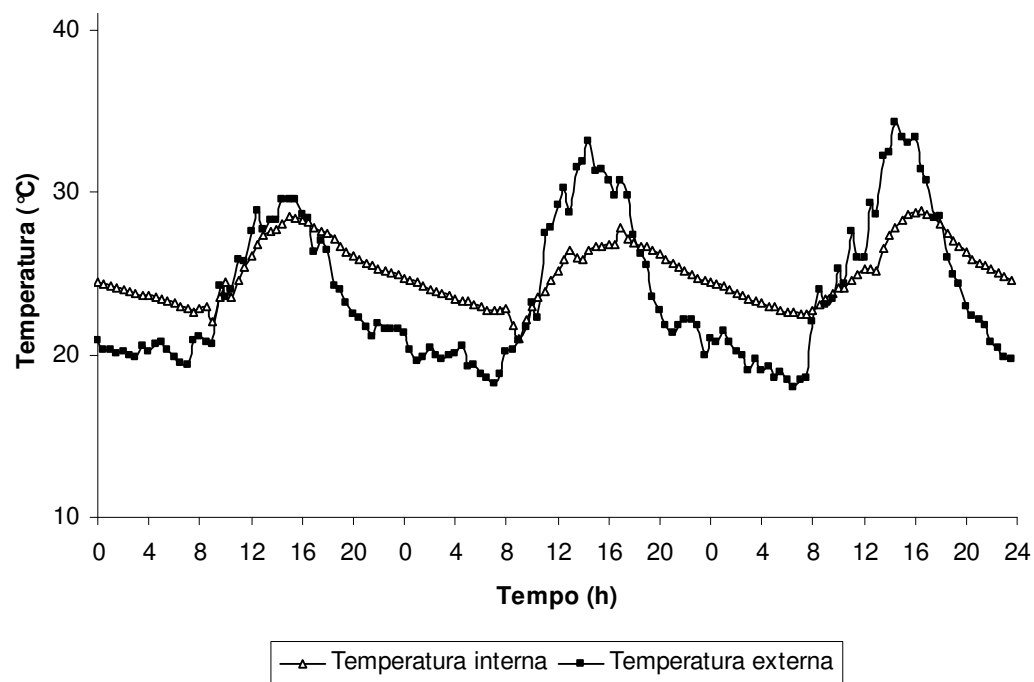


Figura 6.10 – Temperatura interna e externa, sala 26, de 02 a 04/02/2006

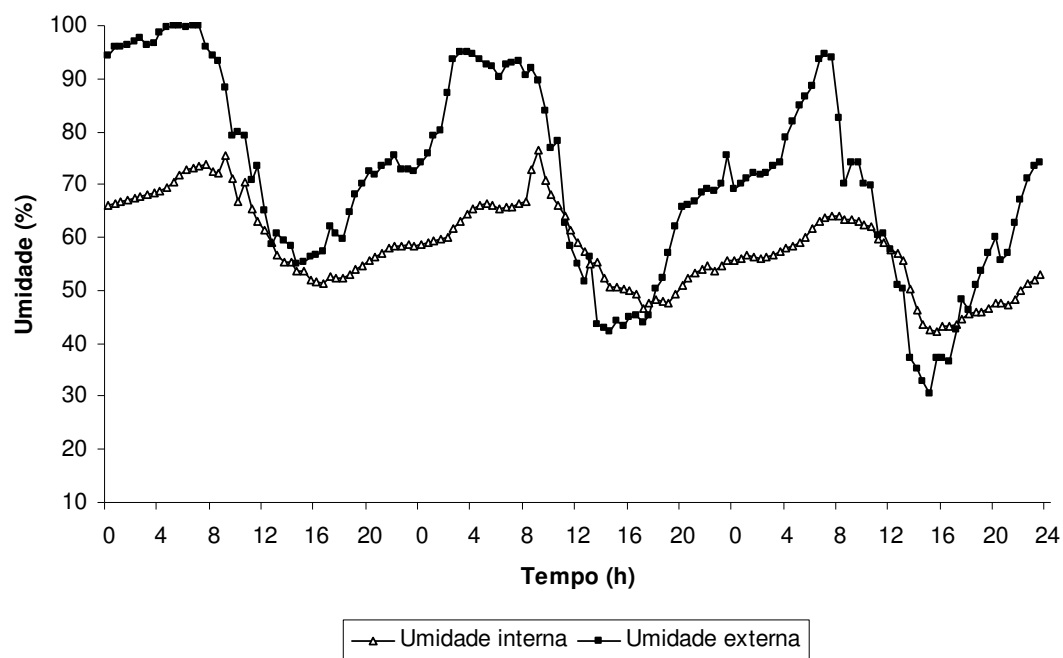


Figura 6.11 – Umidade interna e externa, sala 26, de 02 a 04/02/2006

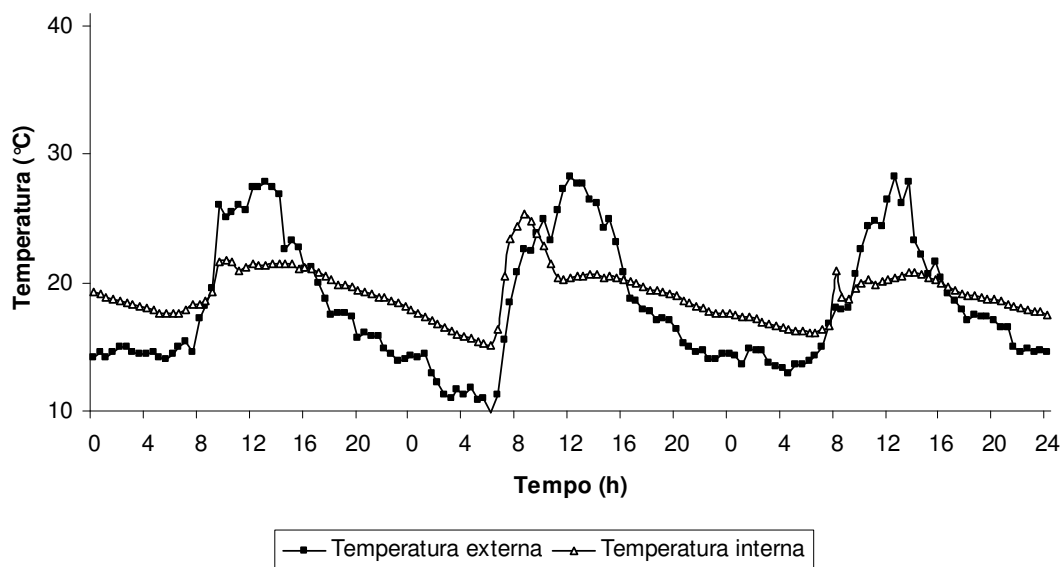


Figura 6.12 – Temperatura interna e externa, sala 110, de 05 a 08/05/2006

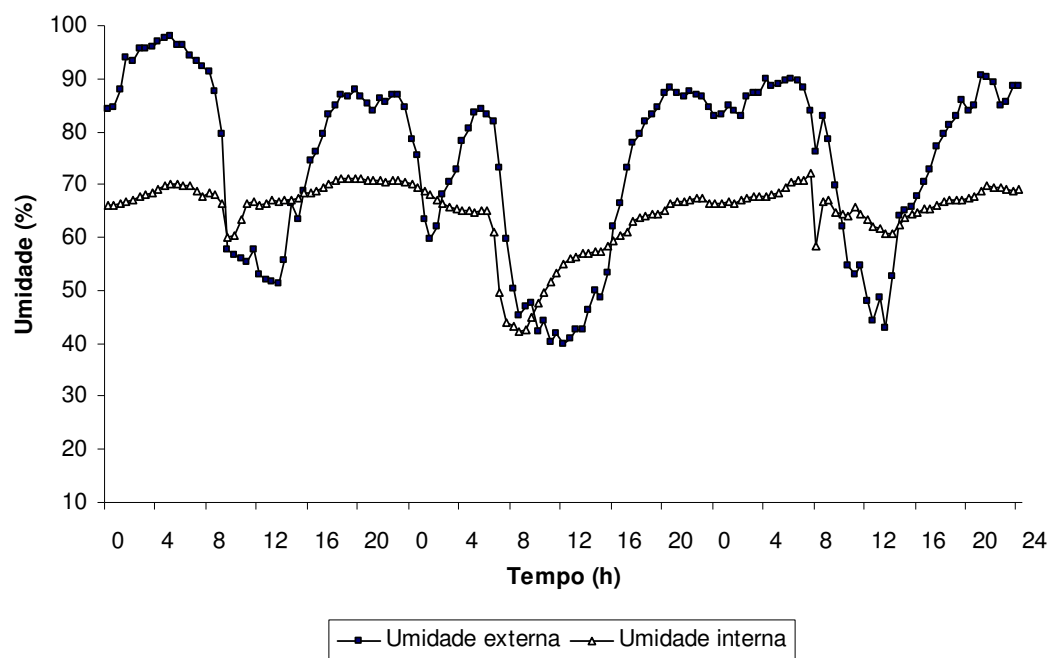


Figura 6.13 – Umidade interna e externa, sala 110, de 05 a 08/05/2006

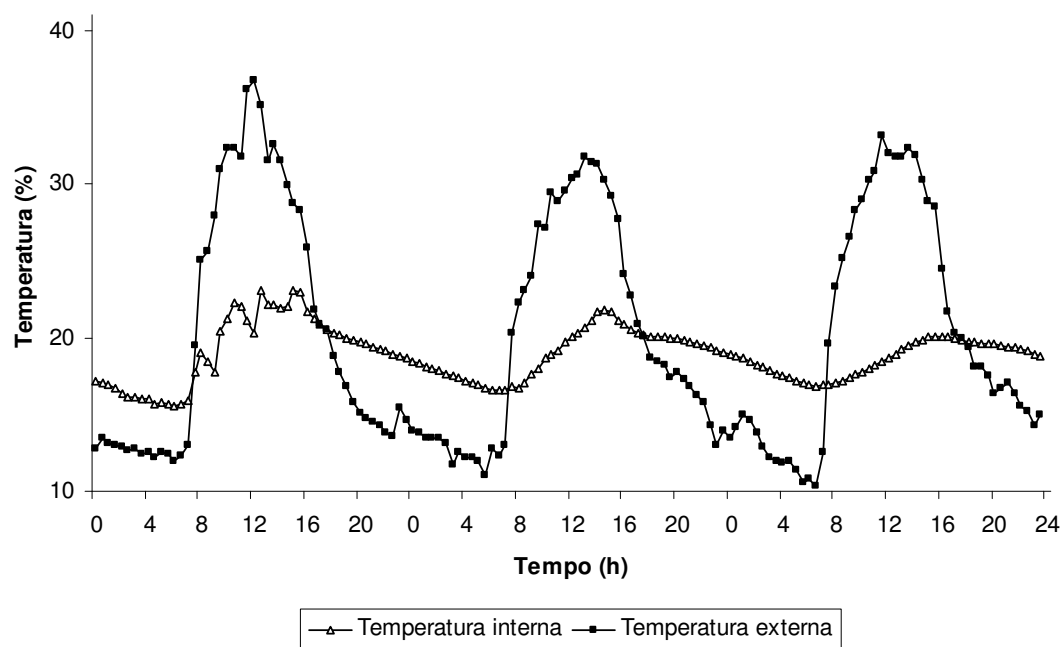


Figura 6.14 – Temperatura interna e externa, sala 07, de 20 a 22/07/2006

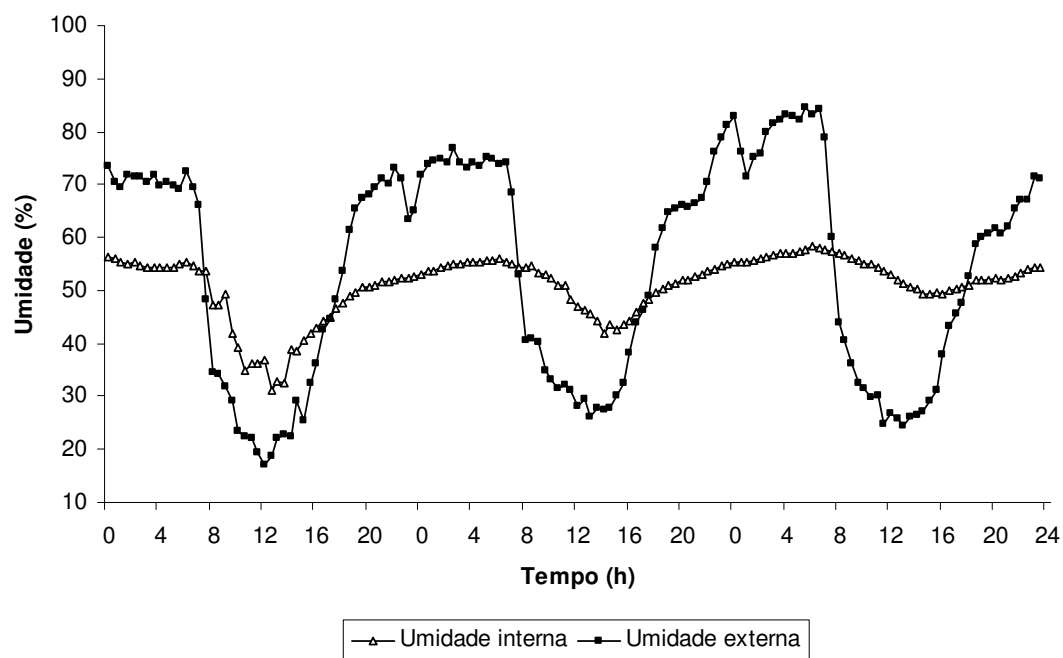


Figura 6.15 – Umidade interna e externa, sala 07, de 20 a 22/07/2006

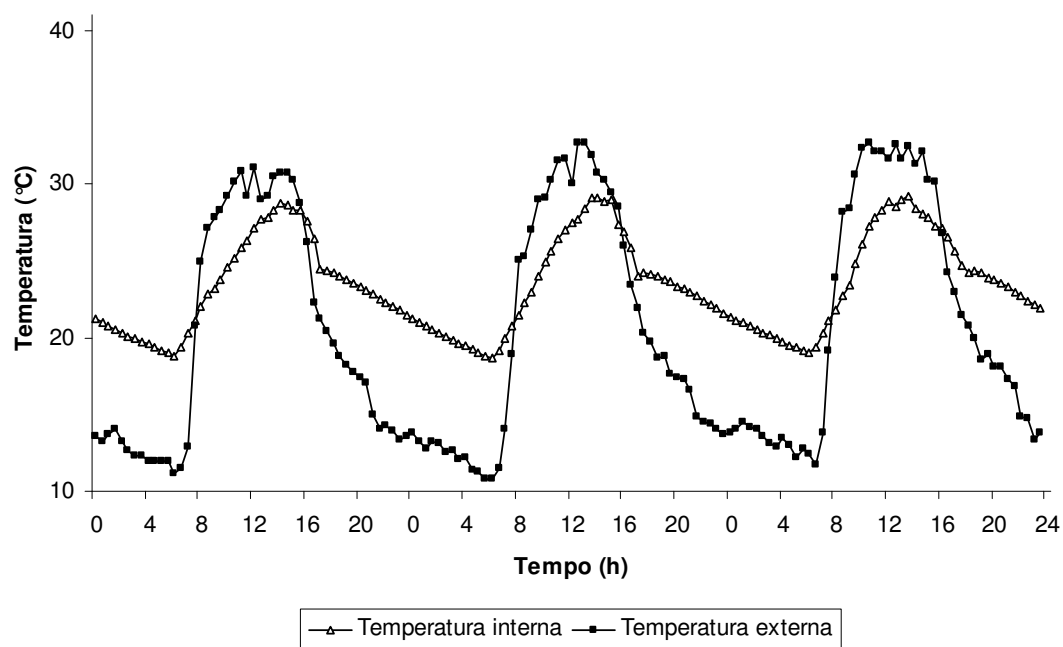


Figura 6.16 – Temperatura interna e externa, sala 15, de 25 a 27/07/2006

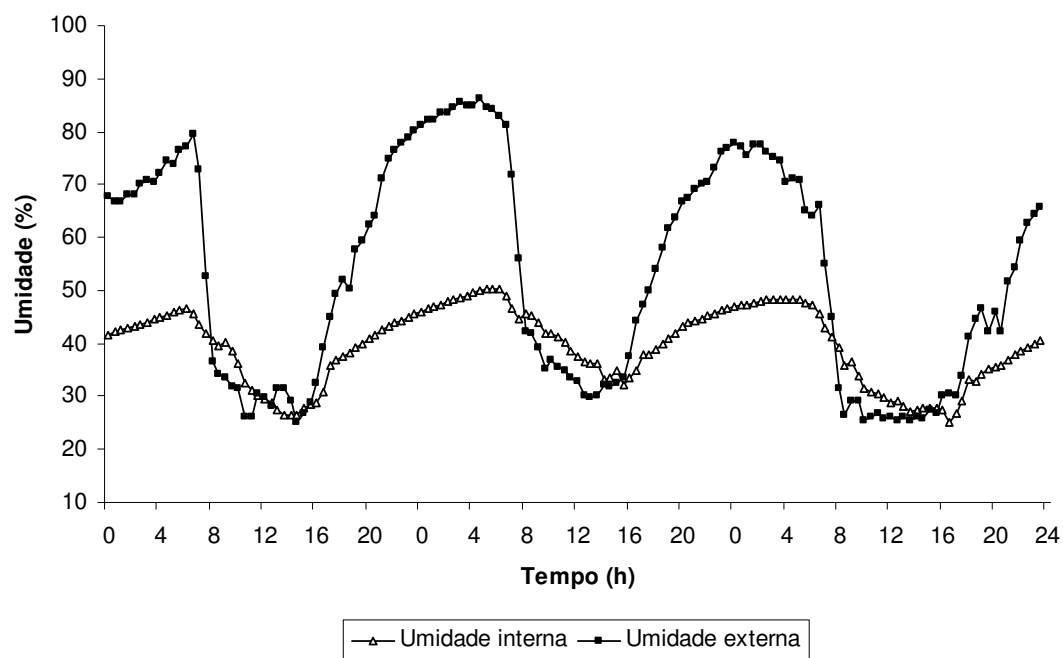


Figura 6.17 – Umidade interna e externa, sala 15, de 25 a 27/07/2006

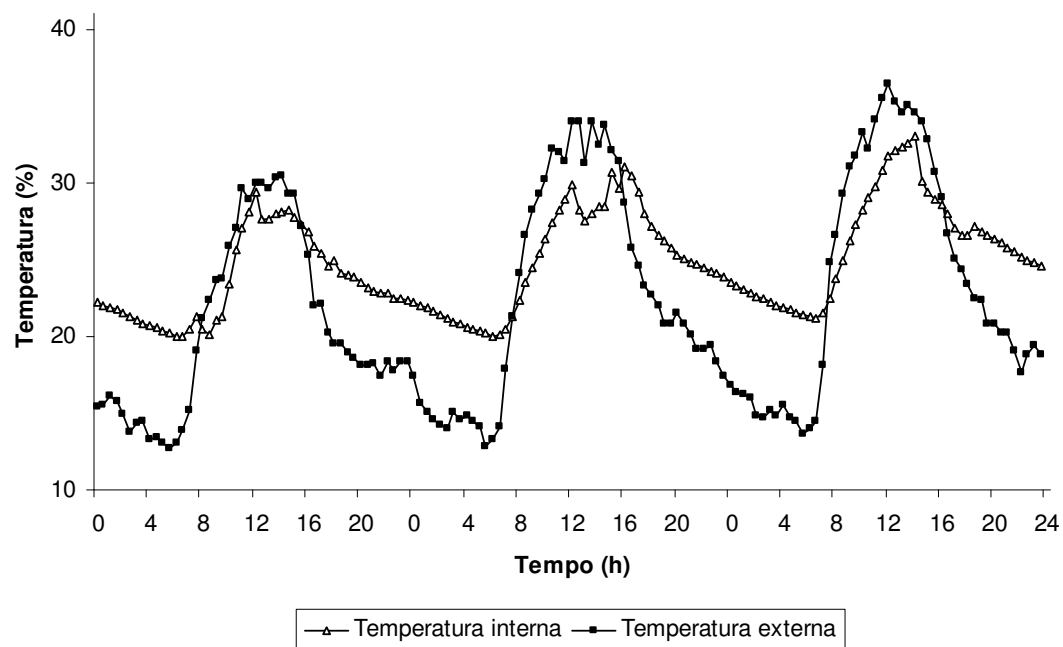


Figura 6.18 – Temperatura interna e externa, sala 26, de 15 a 17/08/2006

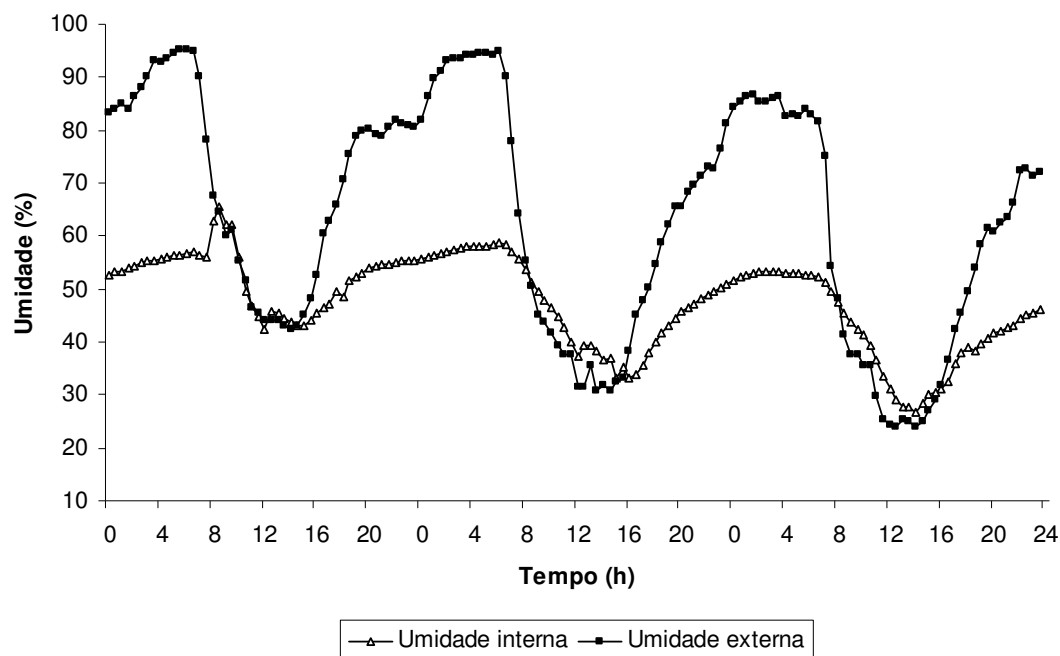


Figura 6.19 – Umidade interna e externa, sala 26, de 15 a 17/08/2006

6.2.4. Sobre os resultados obtidos nas medições *in loco*

Observa-se, pelos resultados obtidos, que há grande oscilação climática em Ouro Preto, num curto período de tempo. Considerando apenas o período das medições, final de janeiro e o mês de fevereiro de 2006, tem-se que na última semana de janeiro/2006 a temperatura externa variou de 18 °C a 40 °C, enquanto a umidade relativa variou de 22 % a quase 100 %. No mês de fevereiro/2006 a temperatura externa variou de 10 °C a 36,5 °C, enquanto a umidade relativa variou de 26 % a 95 %. Nesse mesmo período, os valores internos obtidos para temperatura, no horário de pico da temperatura externa, resultaram em um valor máximo em torno de 6 °C abaixo do valor da temperatura externa, Figuras 6.6, 6.8 e 6.10. De maneira similar tem-se a variação da umidade relativa do ar interno, mas com valores opostos. No período de 0:00 h até as primeiras horas da manhã (em torno de 9:00 h), as temperaturas internas são mais elevadas que a temperatura externa mostrando a influência da massa térmica do sistema de fechamento.

Da mesma maneira, também nos meses de julho e agosto/2006, período de inverno, ocorre grande variação climática. A temperatura externa variou de 11 °C a 37 °C, enquanto a umidade relativa variou de 18 % a 95 %. Nesse mesmo período, a temperatura interna variou nos ambientes avaliados de 15 °C a 33 °C. Observa-se que nesse período a variação em relação ao valor externo alcança um máximo de 4 °C. O comportamento da temperatura interna se repete, com valores menores, comparado à temperatura externa, no horário de pico e com valores maiores no período da noite e início da manhã, evidenciando também o efeito da massa térmica da envoltória.

Considerando os valores medidos obtidos, pode-se dizer que a edificação responde de forma bastante adequada às interações térmicas com meio externo (tanto para condições de frio quanto para de calor), e somente em condições externas bastante severas, ou seja, temperatura externa acima de 33 °C ou abaixo de 10 °C, quando as pessoas sentiriam desconforto térmico, haveria necessidade de uma intervenção mecânica, apenas durante os horários mais críticos.

6.3. Verificação do desempenho térmico por meio de simulação numérica

Nesse trabalho, a edificação em estudo é ventilada naturalmente. Por isso, seu desempenho é avaliado em função do perfil de temperatura e umidade internas obtido. Os parâmetros necessários para a avaliação do comportamento térmico dinâmico de uma edificação via simulação numérica são apresentados na Figura 6.20.

Por meio da simulação numérica é possível fazer-se uma análise térmica global da edificação, para assim se determinar quais as condições térmicas internas resultantes no ambiente construído, tanto na etapa de projeto, quanto na fase de ocupação.

A análise numérica é realizada empregando-se o programa computacional de simulação *ESP-r* (*Energy Simulation Program – research*). Esse *software* foi desenvolvido a partir de 1974, por Joe Clarke, na Escócia, e está em constante evolução no que diz respeito a extensões técnicas e melhorias de interface com o usuário. O programa utiliza modelos matemáticos de elementos finitos e de diferenças finitas para promover a simulação do comportamento térmico dos ambientes, o efeito do armazenamento térmico, nos elementos de fechamento, e das trocas de calor por radiação e por convecção, que ocorrem no interior

da edificação, permitindo avaliar dessa maneira os gradientes de temperatura e a distribuição de fluxos de ar com bom grau de refinamento (CLARKE, 1985; CLARKE *et al.*, 1993).

Os dados climáticos do local da edificação são obtidos pelas condições dos dias típicos de verão e/ou de inverno. Posto que as condições climáticas de verão são as predominantes no país, utilizam-se os dias típicos de verão.

Esses dados climáticos do ambiente externo à edificação são representados pela temperatura de bulbo seco, velocidade do ar, direção do vento, irradiância solar difusa na horizontal, intensidade solar na direção normal e umidade relativa do ar.

Além disso, são necessários dados físicos da edificação e de seus sistemas de fechamento interno e externo, tais como área do piso, cota do nível do piso, altura do pé direito, área constituída por portas e vidros nas aberturas das fachadas; propriedades termo-físicas dos materiais componentes dos sistemas de fechamento interno e externo, como densidade (ρ), condutividade térmica (λ) e calor específico (c), e suas características físicas dadas pela forma, dimensões, espessuras das camadas, orientação dos elementos e dos componentes dos sistemas de fechamento externo e interno e coeficiente global (U); além da transmitância (τ), absorptância (α), refletância à radiação solar (ρ) e emissividade das superfícies constituintes dos elementos dos sistemas de fechamento (ε).

São necessárias também as características de ocupação da edificação (número de ocupantes e suas atividades), dos equipamentos e da iluminação. Essas características representam os ganhos de calor, em razão do número de ocupantes, número de equipamentos e nível de iluminação, período de ocupação, perfil de utilização desses equipamentos e das lâmpadas acesas.

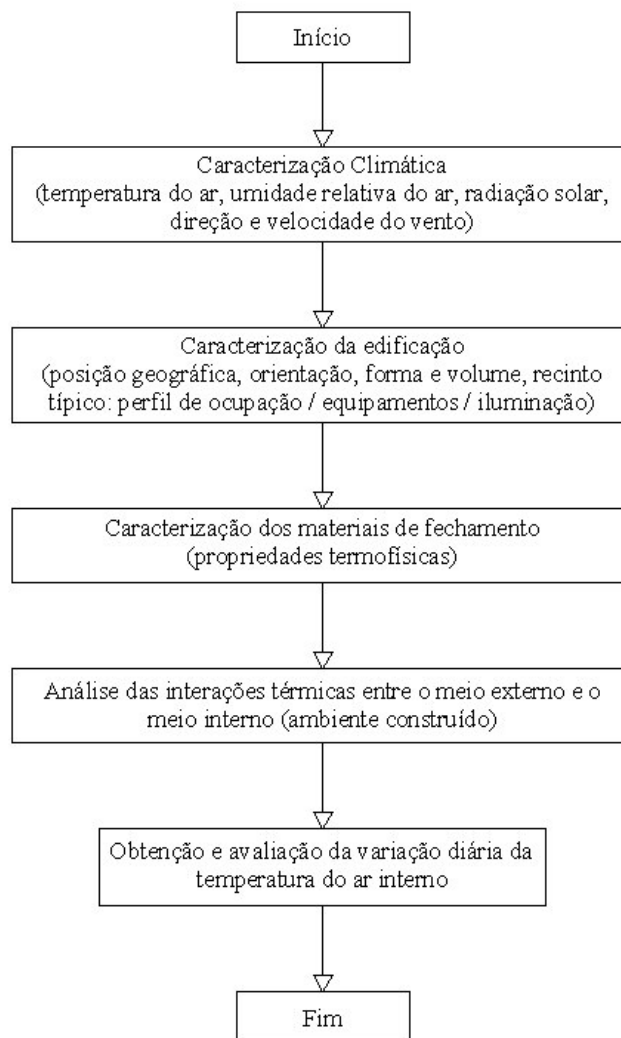


Figura 6.20 – Fluxograma dos principais elementos para a avaliação do desempenho térmico de uma edificação ventilada naturalmente

6.3.1. Parâmetros para a avaliação da edificação, via simulação numérica

6.3.1.1. Quantidade de ar necessária à ventilação

A ventilação, nos cômodos da edificação, por se tratar de uma edificação ventilada naturalmente, é espontânea e ocorre através das aberturas (janelas e portas). Na prática, de uma forma geral, a determinação da quantidade de ar necessária à ventilação é feita por meio do índice de renovação de ar por hora e/ou da temperatura do ambiente (COSTA, 2005).

Pode-se fazer uma estimativa de valor desse índice de renovação do ar, igualando-o à razão entre a vazão de ar que entra pelo volume do ambiente, conforme mostrado na equação (6.2).

$$n = \frac{Q}{V_a} \quad (6.2)$$

onde, n é o número de renovações por hora (ren/h), Q é a vazão do ar que entra nos ambientes (m^3/h) e V_a é o volume do ambiente (m^3).

Quando se trata da ventilação de ambientes sem grande taxa de poluição, onde são produzidas grandes quantidades de calor ou ambientes sujeitos a grande taxa de insolação, nos quais se deseja manter uma temperatura interna pouco superior à temperatura externa, a quantidade de ar necessária pode ser dada por:

$$Q = \frac{q}{\rho c_p (T_i - T_e)} \quad (6.3)$$

onde, Q é a vazão do ar que entra nos ambientes (m^3/h), ρ é a massa específica do ar (kg/m^3), c_p é o calor específico à pressão constante do ar ($\text{J}/\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}$), q é quantidade total de calor a ser retirado do ambiente (W), T_i é a temperatura interna ($^\circ\text{C}$) e T_e é a temperatura externa ($^\circ\text{C}$).

Nesse trabalho estima-se a quantidade de ar necessária à ventilação por meio do índice de renovação de ar por hora (ren/h). Normalmente a ventilação natural tem um índice de renovação do ar entre 1 a 3 ren/h. No entanto, se as aberturas são colocadas de forma adequada, pode-se aumentar esse índice. Valores elevados desse índice podem, no entanto, provocar deslocamento de ar excessivo na área de ocupação (COSTA, 2005).

Segundo a norma NBR 6401:1980, em ambientes condicionados, a velocidade de ar na zona de ocupação, isto é, no espaço compreendido entre o piso e o nível de 1,5 m, deve ficar entre 0,025 e 0,25 m/s. A norma NBR 6401:1980 recomenda, para locais onde a contaminação do ar se deve unicamente às pessoas que os ocupam, uma taxa de renovação do ar por pessoa, em função do perfil de ocupação do ambiente.

Nesse estudo de caso, adota-se uma taxa de renovação igual a 5 ren/h, valor que indica uma boa ventilação nos ambientes internos.

6.3.1.2. Outros parâmetros de entrada para a simulação numérica

Uma simulação numérica exige que sejam configurados todos os ambientes da edificação. Por se tratar de edificação de 7.310 m², para facilitar essa tarefa, ela foi subdividida em prédios menores (Figura 6.21):

- a) o prédio 1, constituído pelo corredor e pelas salas de aulas do bloco 2 (primeiro e segundo pavimentos), cujas aberturas estão voltadas para a face sul da edificação,
- c) o prédio 2, constituído pelo corredor e pelas salas de aulas do bloco 2 (primeiro e segundo pavimentos), cujas aberturas estão voltadas para a face norte da edificação.

São analisadas salas de aulas situadas em pontos críticos dentro da edificação, quando ao quesito insolação. No prédio 1, são analisadas as salas 03 e 07 e, no prédio 2, são analisadas as salas 11 e 15 (Figuras 6.21 e 6.22).

As simulações são feitas considerando-se a edificação em estudo com seus sistemas de fechamento originais, conforme descrito no capítulo 2, e configurando-se o fechamento externo da edificação para outros materiais praticados no mercado, os quais sejam: painéis constituídos por placas de microconcreto recheadas por EPS (isolite); painéis de placa cimentícia recheadas por lã de vidro; parede de alvenaria de 0,15 m de espessura constituída por tijolo cerâmico furado revestido por argamassa nas duas faces.

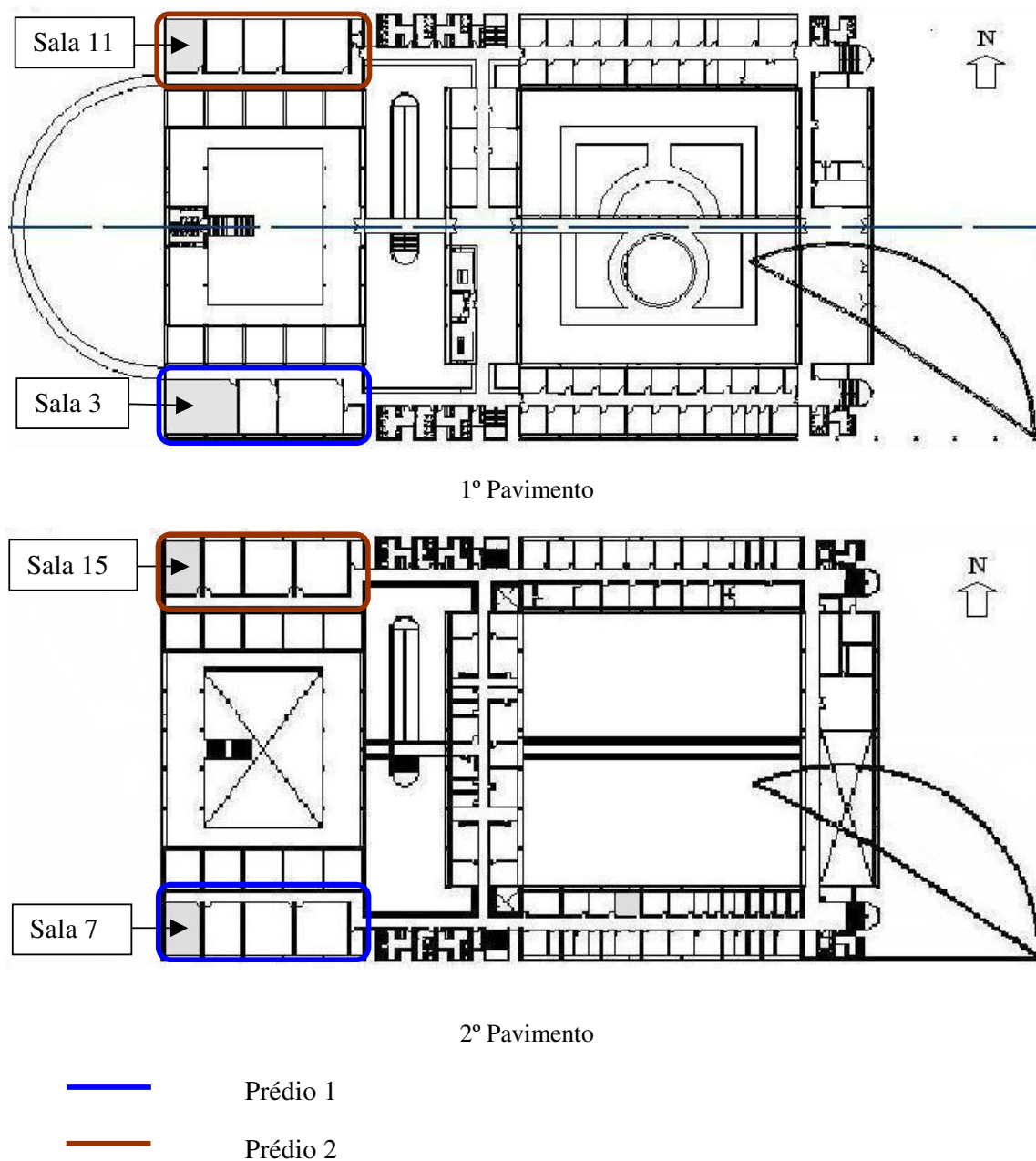


Figura 6.21 – Localização das salas analisadas na simulação numérica na planta baixa da edificação

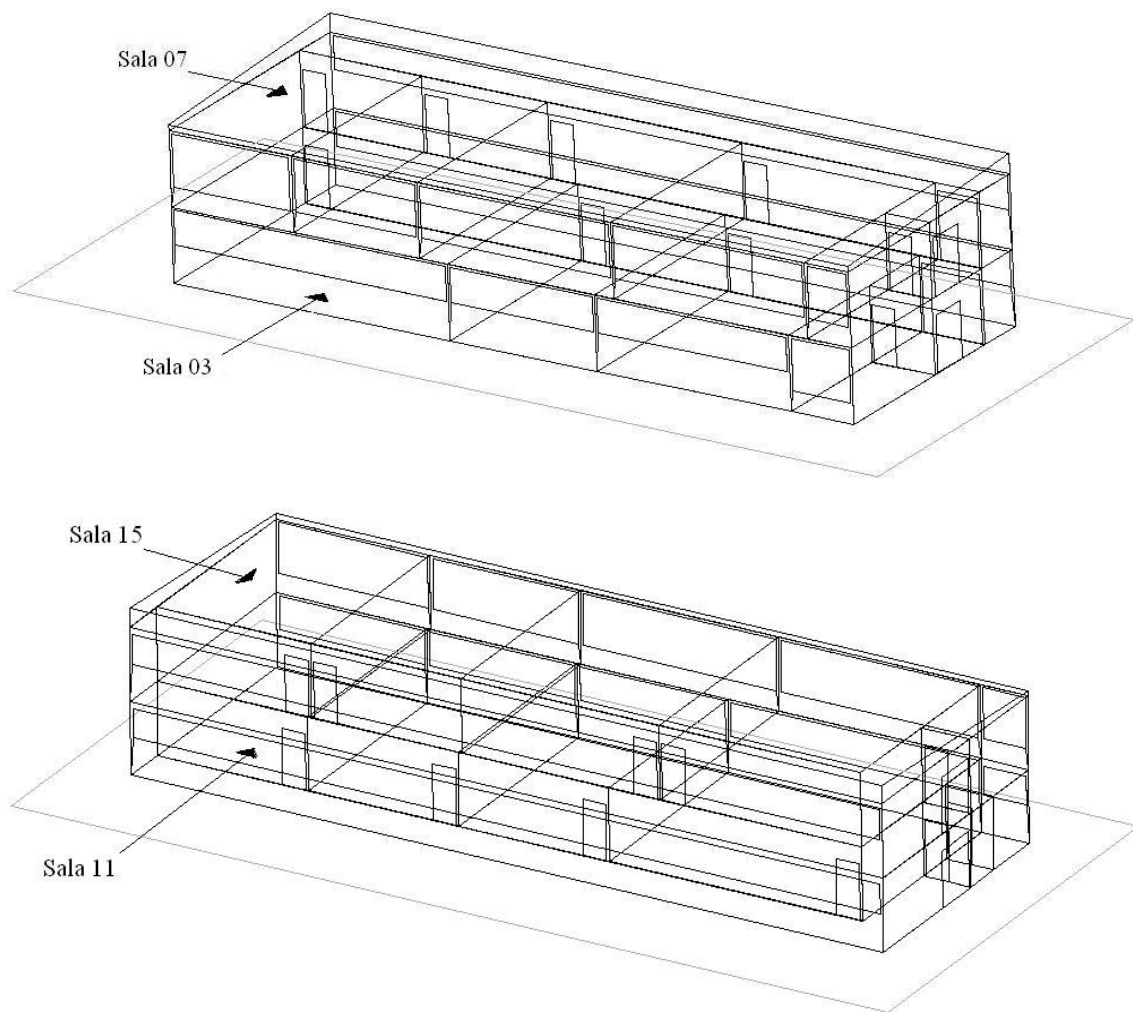


Figura 6.22 – Modelos dos prédios 1 e 2 da edificação, na configuração de fechamento original, gerados pelo *software* ESP-r

Como estão sendo avaliadas salas de aula, o ganho de calor vem também de pessoas e lâmpadas acesas e varia conforme o fluxo dos usuários nas salas de aula e nos corredores, não sendo levado em conta o ganho de calor proveniente de equipamentos.

Para a composição do perfil de ocupação, as salas de aula são consideradas com metade de sua ocupação total, 20 pessoas para salas maiores e 15 pessoas para salas menores, nos períodos de 08 às 12 e de 14 às 18 horas. Entre 13 e 14 horas, considera-se a presença de uma pessoa somente, por exemplo, um faxineiro que esteja limpando a sala. Nos corredores, como o fluxo de pessoas é rápido, considera-se a presença de somente uma pessoa, no período de 08 às 18 horas.

Para o cálculo do ganho de calor devido à iluminação, observa-se que o tipo de lâmpadas usado é a fluorescente luz do dia. Nos prédios 1 e 2, para as salas de aula, prevêem-se 12, 18 ou 24 lâmpadas de 40 W acesas, conforme o tamanho das salas, nos períodos de 08 às 12 e de 14 às 18 horas. Nos corredores aí localizados, como recebem iluminação natural durante o dia, consideram-se acesas 08 lâmpadas de 20 W, somente no período de 16 às 18 horas.

Os dados físicos das salas avaliadas são apresentados na Tabela 6.1, enquanto que os componentes, as propriedades termo-físicas e os coeficientes globais dos elementos dos sistemas de fechamento são apresentados na Tabela 6.2. Os perfis de ocupação/iluminação de cada sala avaliada são encontrados na Tabela 6.3.

Tabela 6.1 – Características físicas das salas avaliadas

	Sala 03	Sala 07	Sala 11	Sala 15
área do piso (m ²)	88,70	39,29	47,09	48,30
cota do nível do piso (m)	0,00	2,75	0,00	2,75
altura do pé direito (m)	2,75	5,50	2,75	5,50
área constituída por portas (m ²)	1,89	1,89	1,89	1,89
área constituída por vidros nas aberturas das fachadas na configuração original de fechamento externo (m ²)	13,40	8,83	7,06	11,02
área constituída por vidros nas aberturas das fachadas para outras configurações de fechamento externo (m ²)	7,52	3,25	3,95	5,52

Observando o zoneamento climático apresentado na norma NBR 15220:2005, são utilizados dados climáticos, de um dia típico de verão, da zona climática três. O valor médio da temperatura de bulbo seco (TBS) é de 26,2 °C, o valor médio da umidade relativa do ar (UR) é de 72,2 %, o valor médio da radiação solar incidente em plano horizontal (RS) é de 11,5 W/m² e o valor global da radiação solar incidente na direção normal (RS Total) é de 2.677 W/m². Para a velocidade do vento, considera-se uma velocidade média de 3,35 m/s, com predominância na direção Leste/Sudeste (Tabela 6.4).

Tabela 6.2 – Componentes, propriedades termofísicas e coeficientes globais dos elementos dos sistemas de fechamento (T = 300K)

Materiais e/ou elementos	Espessura total (m)	Nº de camadas	Materiais das camadas	Espessura das camadas (m)	ρ (kg/m ³)	λ (W/(m °C))	c (kg/°C)	ε	α	U (W/(m ² °C))
Parede de alvenaria tijolo maciço aparente	0,25	2	argamassa (i)	0,025	2.000	0,96	650	0,90	0,63	2,19
			tijolo (e)	0,225	1.860	0,72	780	0,91	0,60	
Parede de alvenaria tijolo furado	0,15	3	argamassa	0,100	2.000	0,96	650	0,90	0,63	2,84
			tijolo	0,025	1.860	0,72	780	0,91	0,60	
			argamassa	0,100	2.000	0,96	650	0,90	0,63	
Parede de aço	0,003	1	aço	0,003	7.800	50	502	0,85	0,80	5,62
Painel isolite	0,10	3	microconcreto	0,03	2.250	1,80	750	0,90	0,75	0,83
			EPS	0,04	16	0,04	1.000	0,90	0,30	
			microconcreto	0,03	2.250	1,80	750	0,90	0,75	
Painel de placa cimentícia com lâ de vidro	0,10	3	argamassa	0,0125	1.360	0,35	1.050	0,96	0,60	0,45
			lâ de vidro	0,075	28	0,038	700	0,90	0,30	
			argamassa	0,0125	1.360	0,35	1.050	0,96	0,60	
Laje de concreto com forro de PVC	0,503	3	laje (e)	0,100	2.100	1,40	653	0,90	0,65	2,28
			ar	0,400	---	---	---	---	---	
			forro PVC (i)	0,003	1.379	0,16	1.004	0,90	0,65	
Piso cimentado	0,125	2	argamassa (e)	0,025	1.860	0,72	780	0,91	0,60	3,20
			tijolo (i)	0,100	2.250	1,00	840	0,90	0,65	

Tabela 6.2 – Componentes, propriedades termofísicas e coeficientes globais dos elementos dos sistemas de fechamento (T = 300K)

Materiais e/ou elementos	Espessura total (m)	Nº de camadas	Materiais das camadas	Espessura das camadas (m)	ρ (kg/m ³)	λ (W/(m °C))	c (kg/°C)	ε	α	U (W/(m ² °C))
Portas de madeira	0,025	1	madeira	0,025	700	0,19	2.390	0,90	0,65	3,23
Vidro 6 mm de espessura	0,006	1	vidro	0,006	2.500	1,05	750	0,59	0,06	5,44
Telha de fibrocimento	0,008	1	fibrocimento	0,008	1.600	0,56	1.000	0,96	0,60	5,20

(e) – face externa; (i) – face interna

Tabela 6.3 – Perfis de ocupação/iluminação das salas em estudo

Ambiente		Sala 03			Sala 07			Sala 11			Sala 15		
Volume (m ³)		243,02			108,04			129,51			132,83		
Superfícies (m ²)	opacas	268,73			140,96			163,57			162,86		
	transparentes	13,44			8,83			7,06			11,02		
Horário		08-12	13-14	14-18	08-12	13-14	14-18	08-12	13-14	14-18	08-12	13-14	14-18
Lâmpadas radiação = 0,60 convecção = 0,40	no.	24	6	24	12	6	12	12	6	12	12	6	12
	calor latente (W/m ²)	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
	calor sensível (W/m ²)	960	240	960	480	240	480	480	240	480	480	240	480
Ocupantes radiação = 0,60 convecção = 0,80	no.	20	1	20	15	1	15	15	1	15	15	1	15
	calor latente (W)	820	62	820	615	41	614	615	41	615	615	41	615
	calor sensível (W)	1.240	62	1.240	930	62	930	930	62	930	930	62	930
Fluxo de ar	Ventilação (ren/h)	5			5			5			5		

Tabela 6.4 – Outros dados utilizados na avaliação da edificação

Vento		TBS (°C)	UR (%)	RS (W/m ²)	RS Total (W/m ²)
Direção	Velocidade (m/s)				
112,5 ° (Leste/Sudeste)	3,35 m/s	26,2	72,2	111,5	2.677

6.3.2. Resultados das simulações numéricas

São realizadas, assim, simulações numéricas para as salas 03, 07, 11 e 15, utilizando os parâmetros discriminados anteriormente. Nas Figuras 6.22 a 6.25, são apresentados graficamente os resultados obtidos dessas simulações. São comparados os resultados obtidos para o sistema de fechamento original e os outros sistemas de fechamento externo citados no item 6.3.1.2.

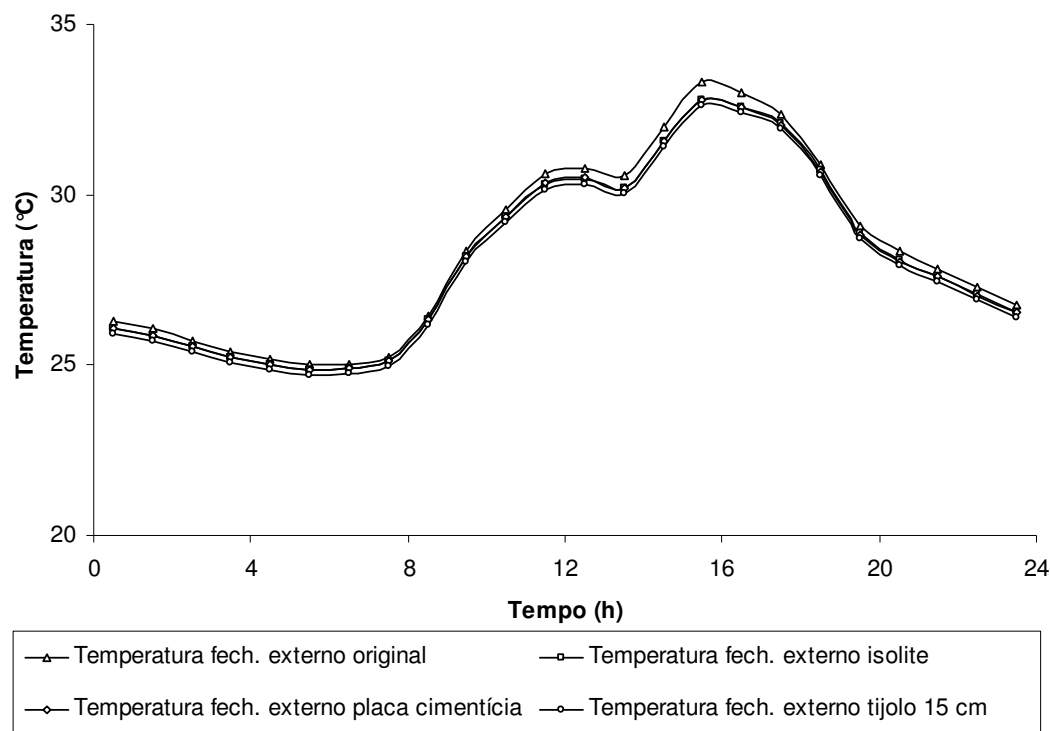


Figura 6.22 – Temperatura interna, sala 03, comparando os fechamentos

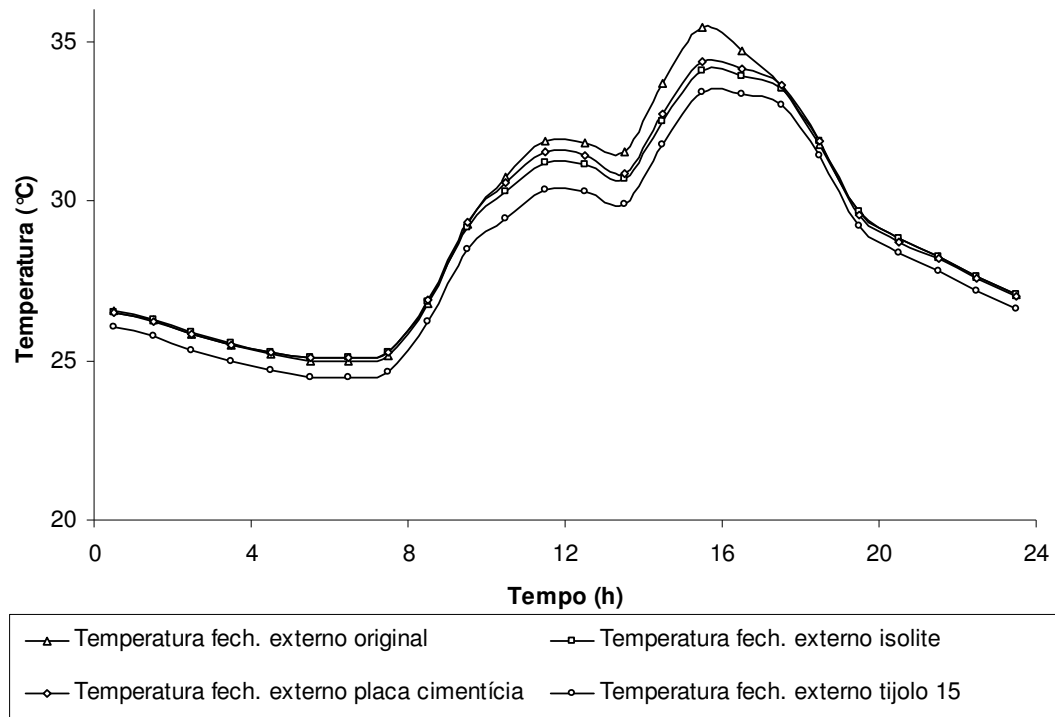


Figura 6.23 – Temperatura interna, sala 07, comparando os fechamentos

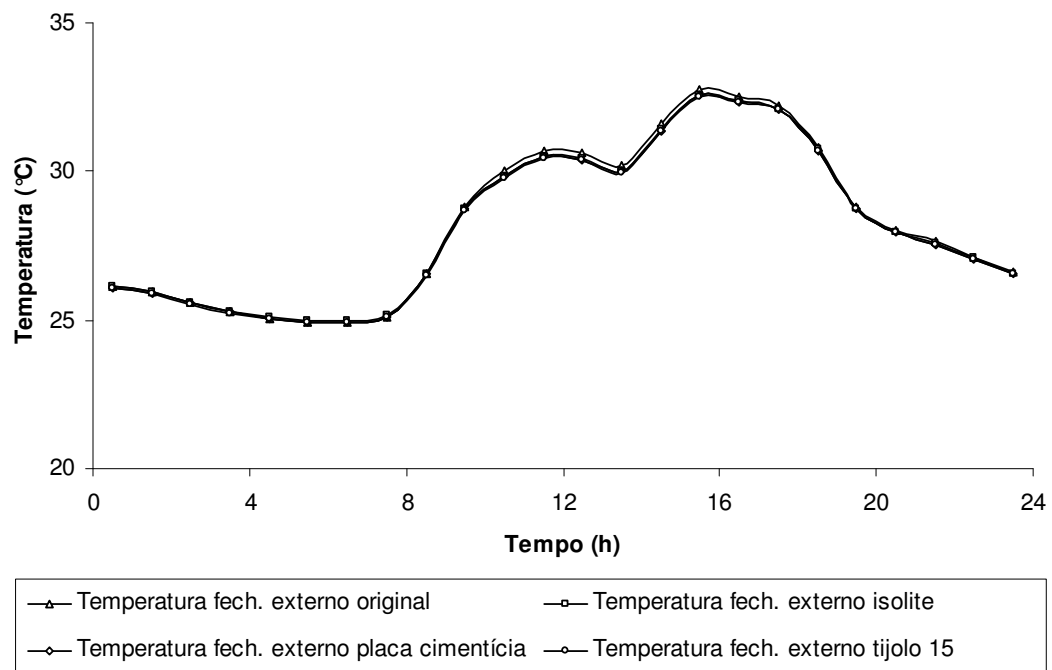


Figura 6.24 – Temperatura interna, sala 11, comparando os fechamentos

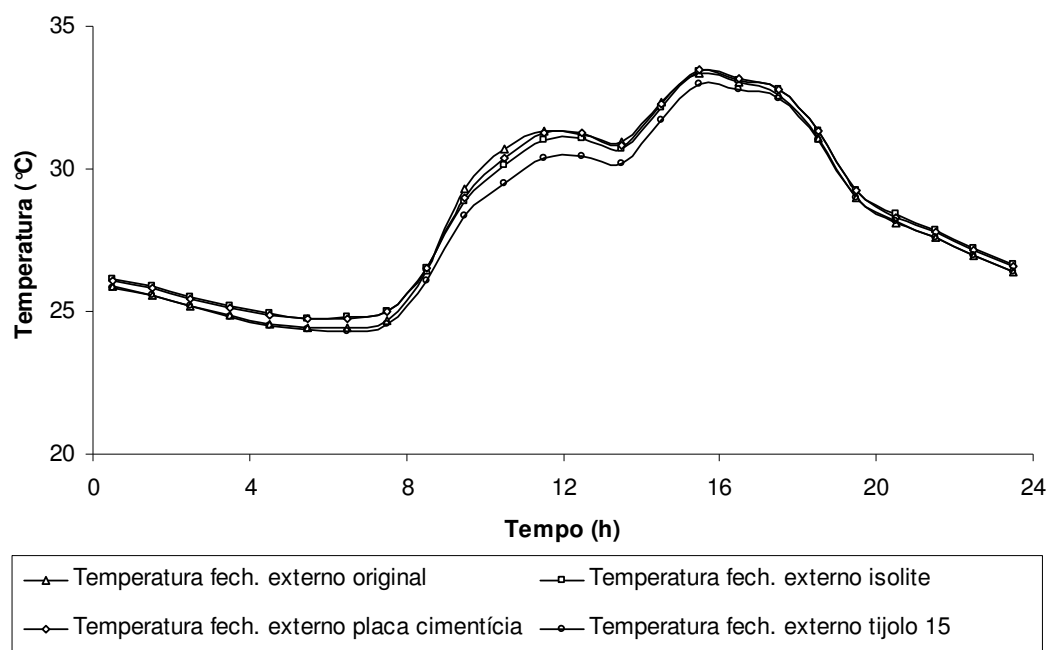


Figura 6.25 – Temperatura interna, sala 15, comparando os fechamentos

6.3.3. Sobre os resultados obtidos na simulação numérica

Observa-se, pelos resultados obtidos e considerando-se as condições de entrada estabelecidas (taxa de ventilação e perfil de ocupação), uma diferença máxima da temperatura interna em torno de 3 °C, Figura 6.23, para o ambiente que resultou nas maiores variações, entre o fechamento original e a alvenaria de 15 cm. De um modo geral os fechamentos sugeridos apresentam um desempenho térmico um pouco melhor em relação ao sistema de fechamento externo original, sendo o ganho de temperatura em torno de 2 °C.

Com os resultados obtidos, via simulação numérica, da análise com outras configurações de fechamento externo e interno, pode-se concluir que se a área envidraçada fosse menor obter-se-iam condições internas melhores.

Independente do tipo de fechamento utilizado, a norma NBR 15220:2005, sugere que as paredes externas para edificações situadas na zona climática três devem possuir a característica de serem leves e refletoras e as coberturas devem ser leves e isoladas (Tabela

6.5). Sugere ainda, estratégias de condicionamento térmico passivo, para a situação de verão, as quais podem ser estabelecidas por ventilação cruzada, que venha da circulação de ar pelos ambientes da edificação e dos ventos predominantes da região. Para a situação de inverno, as estratégias podem consistir no aquecimento solar da edificação combinada com fechamentos internos mais pesados, posto que, paredes internas de inércia térmica mais elevada contribuem para manter o ar interno aquecido.

O aquecimento interno no inverno por meio da incidência solar pode ser otimizado ainda pela forma, orientação, implantação da edificação e correta orientação de superfícies envidraçadas.

Tabela 6.5 – Características dos fechamentos para edificações da zona climática três

Fechamentos externos		Transmitância térmica (W/m ² .K)	Atraso térmico (h)	Fator solar (%)
Parede	Leve refletora	$U \leq 3,60$	$\phi \leq 4,3$	$F_{so} \leq 4,0$
Cobertura (telhado, ático e forro)	Leve isolada	$U \leq 2,00$	$\phi \leq 3,3$	$F_{so} \leq 6,5$

Fonte: NBR 15220:2005

6.4. Considerações finais

Em condições climáticas extremas, nenhum tipo construção, seja em aço ou em concreto, independentemente do sistema de fechamento utilizado, promove condições de conforto térmico, em todo período do dia, nos dias mais críticos de inverno ou de verão.

No entanto, em relação à edificação objeto de estudo, a estratégia de ventilação cruzada, não utilizada, poderia amenizar um pouco mais a temperatura interna, no período de verão. No período de inverno, a aplicação de fechamento interno que possua inércia térmica mais elevada traria maior conforto térmico aos usuários da edificação.

Essas modificações talvez sejam impraticáveis para essa edificação, mas ficam como sugestões para ampliações e/ou outras construções em estrutura metálica que venham a ser edificadas na região.

CAPÍTULO VII

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

7.1. Considerações finais

Um projeto de ampliação da edificação, de aproximadamente 3.900,00 m², está em andamento. Nessa ampliação, a oeste, serão aplicadas as mesmas concepções estruturais e arquitetônicas, além do mesmo sistema de fechamento externo da edificação existente, e estão sendo previstos recursos que visam contornar alguns dos problemas identificados (Figuras 7.1 a 7.3).

Assim, os contraventamentos não serão utilizados. Haverá ventilação zenital nos corredores centrais, proporcionando o chamado efeito chaminé que oferecerá uma ventilação natural mais eficiente, e beiral maior nas fachadas mais ensolaradas para melhorar as condições térmicas no interior.

Ressalta-se que o sombreamento de janelas de fachadas sujeitas à radiação solar e a utilização do recurso de ventilação cruzada nos corredores são alternativas que tendem a diminuir a temperatura do ar interior, melhorando o conforto térmico dos usuários da edificação. Mas, reduções mais significativas são possíveis com medidas como isolamento térmico da cobertura e ventilação mecânica dos ambientes, embora essa última seja economicamente inviável para a edificação em questão.

O levantamento realizado nesse estudo é importante para contribuir com a avaliação pós-uso de edificações estruturadas em aço. Uma edificação pode ser construída utilizando-se da filosofia industrializada ou não. No entanto, o mercado atual disponibiliza várias opções de painéis de fechamento interno e externo, os quais proporcionam alta eficiência construtiva, redução do tempo de construção e do volume de desperdícios na obra. Desde que esses materiais sejam aplicados adequadamente, com conhecimento tecnológico e respeito às técnicas de execução e aos condicionantes de cada situação, apresentam alto potencial de racionalização.

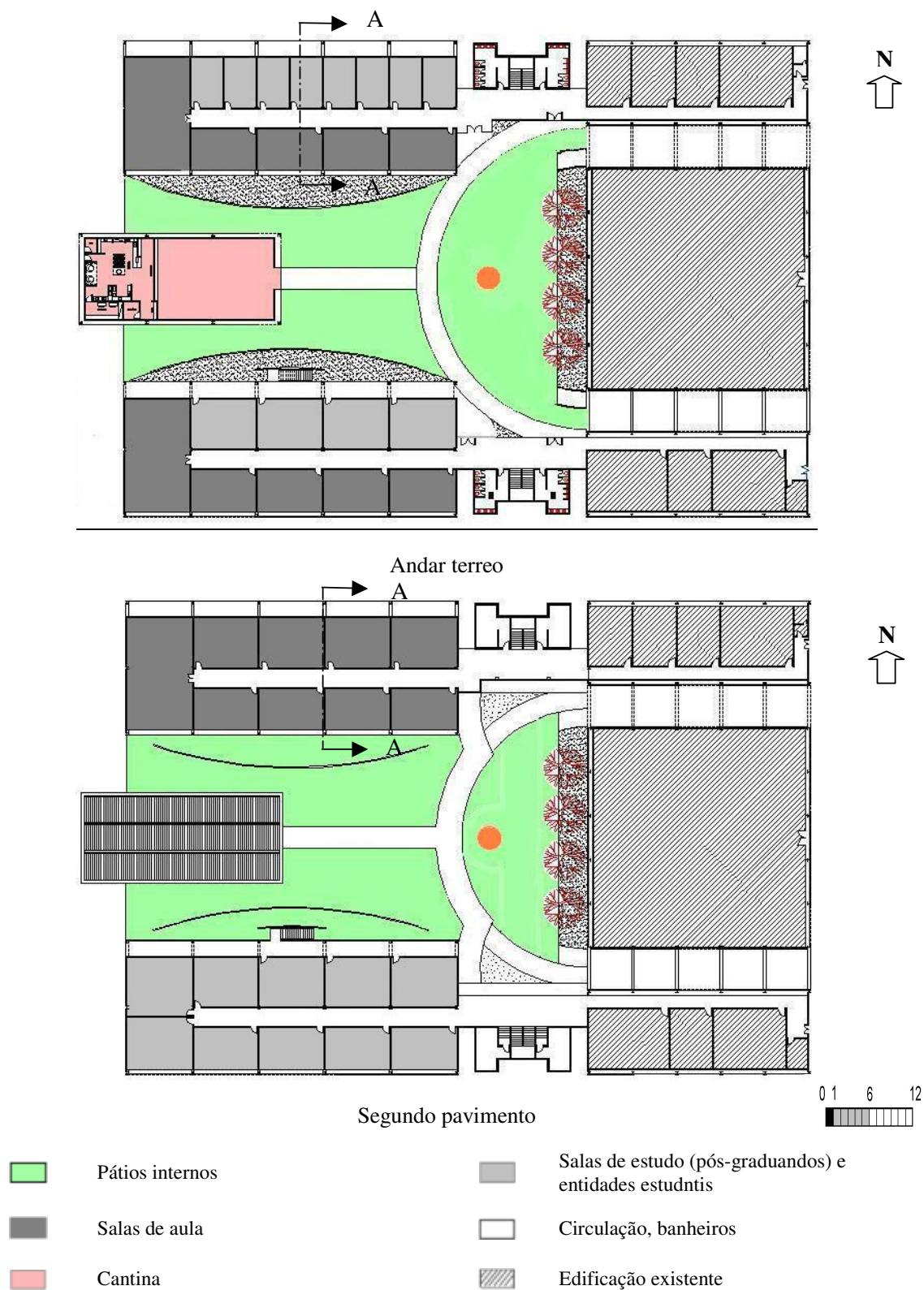


Figura 7.1 – Planta baixa esquemática da ampliação
 Fonte: Imagem cedida pela Arqtª Clarisse Villela, 2006

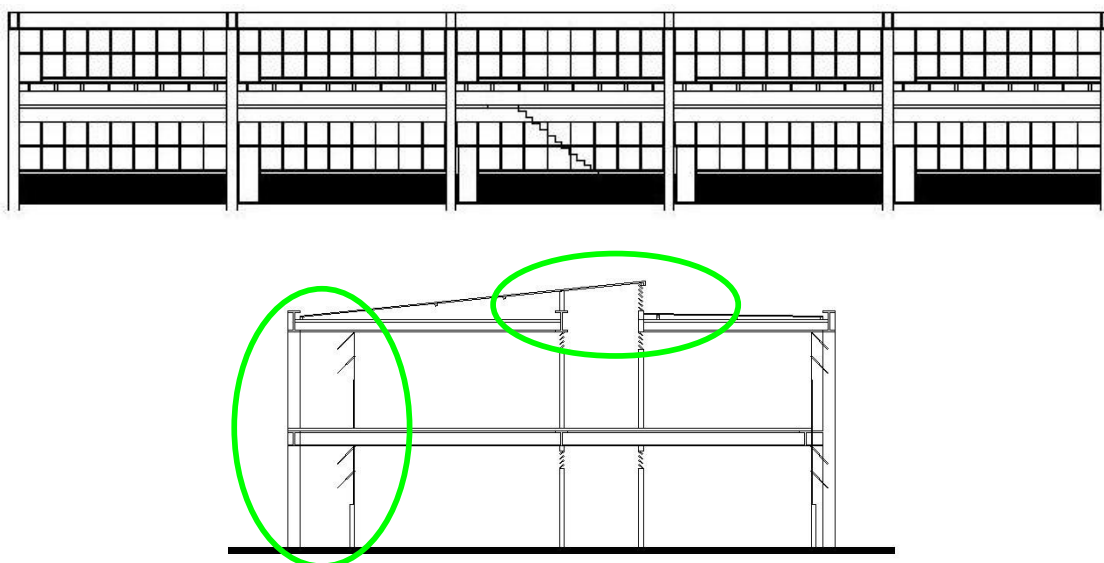


Figura 7.2 – Fachada norte e corte mostrando a ventilação zenital na cobertura e beiral maior na fachada norte

Fonte: Imagem cedida pela Arqtª Clarisse Villela, 2006



Figura 7.3 – Simulações de perspectivas da ampliação

Fonte: Imagem cedida pela Arqtª Clarisse Villela, 2006

É necessário também que se leve em conta o desempenho dos sistemas de fechamento quanto ao conforto térmico. As medições de temperatura e umidade *in loco* permitem avaliar o clima interno da edificação, avaliando o conforto térmico proporcionado pelos fechamentos adotados, enquanto que o método de simulação numérica permite prever o comportamento térmico dos vários sistemas de fechamento que podem ser aplicados em uma edificação ainda na fase de projeto.

As patologias observadas surgiram em consequência de fatores já mencionados: concepção estrutural e arquitetônica, utilização de materiais inadequados, uso da edificação e falta de

manutenção tanto preventiva quanto corretiva. Alguns desses problemas espelham a falta de planejamento e visão sistêmica que devem acompanhar uma obra desde sua idealização em projeto até sua fase final.

Edificações compostas por elementos estruturais em aço requerem projetos com alto grau de detalhamento e precisão, para melhor aproveitamento das vantagens da construção industrializada. Além disso, é necessária a integração entre os projetistas e trabalho em equipe por parte de todos os profissionais envolvidos na construção.

Os fechamentos e suas interfaces, entre si e com a estrutura, definidos ainda na fase de projeto, devem procurar atender aos critérios de desempenho, proporcionando conforto e segurança aos usuários, independente da finalidade do edifício. As interfaces entre os vários elementos constituem pontos que necessitam de constantes monitoramentos e devem possuir soluções previstas que levem a resultados adequados (estanqueidade, segurança, isolamento acústica) que não sejam fatores de comprometimento futuro do desempenho da edificação.

Nesse trabalho procura-se mostrar a importância da manutenção preventiva, cuidados tomados na fase de projeto que visam aumentar a vida útil da edificação, da manutenção corretiva, medidas que contornam os problemas decorrentes do tempo e do uso, e do desempenho térmico, um dos critérios determinantes do conforto dos usuários, o qual pode ser definido ainda durante a concepção arquitetônica, de uma edificação estruturada em aço que utiliza fechamento convencional em alvenaria.

Mesmo tendo conhecimento de que a aplicação de uma manutenção corretiva periódica é bastante complicada, por se tratar de prédio público, cujos gastos dependem de orçamento da união e de vontade de administradores, destaca-se sua relevância para a melhoria do desempenho e o aumento da vida útil de uma edificação, independentemente dos tipos de sistemas construtivos escolhidos. No entanto, a necessidade de manutenção corretiva diminuiria consideravelmente, se fosse realizada uma manutenção preventiva adequada, a qual é menos dispendiosa.

Ressalta-se também a importância da existência de uma cartilha de manutenção e conservação dos elementos construtivos de uma edificação. Essa cartilha deve conter um programa de atividades e informações inerentes aos serviços a serem realizados,

especificações dos materiais adequados e a periodicidade de cada operação de manutenção (GOMIDE *et al.*, 2006).

O avanço da tecnologia, a aplicação de técnicas e de materiais adequados e dos critérios de desempenho apontados tendem a melhorar as condições físico-construtivas e minimizar a incidência de patologias decorrentes do uso e da falta de manutenção das edificações em estrutura metálica.

7.2. Sugestões para trabalhos futuros

Como sugestões para continuação dessa pesquisa apresentam-se os seguintes assuntos:

- a) As avaliações do estado da estrutura e das ligações entre os elementos estruturais e entre esses elementos com os fechamentos utilizados foram realizadas por meio de inspeção visual e de análise de projeto. Uma análise mais detalhada, baseada em métodos numéricos atuais, se faz necessária, para verificar o comportamento da estrutura durante esses anos da edificação.
- b) Cada manifestação patológica poderia ser estudada separadamente, sendo suas soluções melhor detalhadas, de modo a poderem ser aplicadas de modo econômico e seguro, mostrando medidas de manutenção periódicas e eficientes.
- c) Simulações numéricas do desempenho térmico poderiam ser realizadas para outros sistemas de fechamento encontrados no mercado.
- d) Submeter essa edificação a outros critérios de desempenho, estabelecidos no projeto de norma da ABNT 02:136.01-001/1, os quais sejam segurança ao fogo, durabilidade, segurança no uso e na operação, conforto lumínico, saúde, higiene e qualidade do ar, funcionalidade e acessibilidade, conforto tátil e antropodinâmico e adequação ambiental. Uma análise na vibração das lajes também é relevante.

CAPÍTULO VIII

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AÇOMINAS. Coletânea técnica do uso do aço: Elementos estruturais e ligações. v.3. 2ª ed. 1982. 161 p.
- AHLBORN. Almemo manual, for all almemo measuring instruments. V. 5. Ahlborn Meß- und Regelungstechnik GmbH, 4ª ed. Holzkirchen: Germany, 2003.
- AMERICAN INSTITUTE OF STEEL CONSTRUCTION. Allowable Stress Design. 9ª ed. Chicago, 1989.
- AKROBIT. AMR WinControl user manual, Akrobit software Frank Schmidt & Dirk Sloboda. 2002.
- AKUTSU, M. Método para a avaliação do desempenho térmico de edificações no Brasil. 1998. Tese de Doutorado em Engenharia Civil. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo. São Paulo: USP, 1998.
- AMERICAN SOCIETY FOR HEATING, REFRIGERATING AND AIR CONDITIONING ENGINEERING. Thermal environmental conditions for human occupancy. ANSI/ASHRAE 55. New York: ASHRAE, 1992.
- AMERICAN SOCIETY FOR HEATING, REFRIGERATING AND AIR CONDITIONING ENGINEERING. Thermal environmental conditions for human occupancy. ANSI/ASHRAE 55:1992. New York: ASHRAE, 1992.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Instalações centrais de ar condicionado para conforto – parâmetros básicos de projeto: NBR 6401:1980. Rio de Janeiro: ABNT, 1980. 17 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Projeto e execução de estruturas de aço de edifícios (Método dos Estados Limites): NBR 8800:1986. Rio de Janeiro: ABNT, 1986. 199 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Avaliação do ruído em áreas habitadas visando o conforto da comunidade: NBR 10151:1987. Rio de Janeiro: ABNT, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Níveis de ruído para conforto acústico: NBR 10152:1987. Rio de Janeiro: ABNT, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Forças devidas ao vento em edificações: NBR 6123:1988. Rio de Janeiro: ABNT, 1988. 76p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Dimensionamento de Estruturas de Aço de Edifícios em Situação de Incêndio: NBR 14323:1999. Rio de Janeiro: ABNT, 1999. 46 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Exigências de Resistência ao Fogo de Elementos Construtivos de Edificações: NBR 14432:1999. Rio de Janeiro: ABNT, 1999.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Dimensionamento de estruturas de aço constituídas por perfis formados a frio (Procedimento): NBR 14762:2001. Rio de Janeiro: ABNT, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Desempenho térmico de edificações – Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social: NBR 15220:2005. Rio de Janeiro: ABNT, 2005. 30 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Projeto 02:136.01-001/1 – Edifícios habitacionais de até 5 pavimentos – Desempenho – Parte 1 – Requisitos gerais. Rio de Janeiro: ABNT, 2006. 41 p.

- BASTOS, M. A. R.; SOUZA, H. A. O Usuário versus a cadeia produtiva do espaço edificado. In: Simpósio Brasileiro e I Encontro Latino-Americano de Gestão e Economia da Construção, 4, 2005, Porto Alegre. Anais do IV SIBRAGEC-I ELAGEC: ANTAC, 2005. 1 CD-ROM.
- BASTOS, M.A.R. Avaliação de sistemas construtivos semi e/ou industrializados de edifícios de andares múltiplos através da perspectiva de seus usuários. Dissertação de Mestrado. Ouro Preto: UFOP, 2004. 2v. 458 p.
- BRINCK, F.M. Efeito da corrosão na integridade estrutural da ponte metálica Marechal Hermes. Dissertação de Mestrado. Ouro Preto: UFOP, 2004. 177 p.
- CAIXA. Sistema Construtivo utilizando perfis estruturais formados a frio de aços revestidos – Steel Framing): requisitos e condições mínimos para financiamento pela CAIXA. Caixa Econômica Federal, 2003.
- CÂNDIDO, L.C. Fundamentos do Aço e suas Patologias. Disciplina do Curso de Mestrado em Construção Metálica, UFOP. Notas de aula. Ouro Preto: UFOP, 2005.
- CASTRO, E.C. Patologia dos edifícios em estrutura metálica. Dissertação de Mestrado. Ouro Preto: UFOP, 1999. 199 p.
- CEOTTO, L.H. A industrialização da construção de edifício: de passado letárgico para um futuro promissor. Inovação em Construção Civil: monografias. São Paulo: Instituto UNIEMP, 2005.
- CLARKE, J.A. Energy Simulation in Building Design. Adam HilgerLtda, Bristol, U.K., 1985. 387 p.
- CLARKE, J.A. *et al.* ESP-r: A program for building energy simulation. Version 9 Series, ESRU Manual U93/1. Glasgow, Scotland, 1993.
- COCOTA JÚNIOR, J.A.N. Sistema de monitoramento de temperatura e umidade, e proposta de controle por condicionamento do ar em museus. Monografia de Graduação em Engenharia de Controle e Automação. Ouro Preto: UFOP, 2005. 70 p.
- COSTA, E.C. Ventilação. São Paulo: Edgard Blücher, 2005. 256 p.

- COSTA, R.M.X. O uso de perfis tubulares metálicos em estruturas de edifícios e sua interface com o sistema de fechamento vertical externo. Dissertação de Mestrado. Ouro Preto: UFOP, 2004. 162 p.
- DIAS, L.A.M. Edificações de aço no Brasil. São Paulo: Zigurate Editora, 1993. 204 p.
- DPFO/UFMG. Centro de Convivência – Campus da UFMG. AP Revista de Arquitetura. Departamento de Planejamento Físico e Obras da Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, n. 5, p. 32-35, 1996.
- FROTA A.B.; SCHIFFER, S.R. Manual de conforto térmico. São Paulo: Nobel, 1988. 228 p.
- GALAMBOS, T.V.; LIN, F.J.; JONHSTON, B.G. Basic Steel Design with LRDF. Upper Saddle River: Prentice Hall, 1996. 320 p.
- GARCIA, M.A.P. *et al.* Instrumentación electrónica. Thomson Editores Spain Paraninfo S.A. Madrid, España, 2004. 862 p.
- GENTIL, V. Corrosão. 3ª ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora, 1996. 345 p.
- GIOVONI, B. Confort, climate analysis and building guidelines. Energy and Buildings, v. 18, p. 11-23. 1992.
- GOMIDE, T.L.F.; PUJADAS, F.Z.A.; FAGUNDES NETO, J.C.P. Técnicas de inspeção e manutenção predial. São Paulo: PINI, 2006. 227 p.
- GONÇALVES, R.M.; SÁLES, J.J.; NIMIR, W.A. Alguns aspectos de deterioração e inspeção de pontes metálicas. In: 4º Seminário do Uso do aço na Construção, 1989. São Paulo. Anais... São Paulo: EPUSP, 1989. p. 199-212.
- GRAÇA, V.A.C.; KOWALTOWSKI, D.C.C.K.; PETRECHE, J.R D. An evaluation method for school building design at the preliminary phase with optimisation for aspects of enviornmental comfort for the school system of the State of São Paulo in Brazil. Building and Environment, UK, v. in pre, p. 1-20, 2006.

- HELENE, P.R.L. Patologia do concreto. Roteiro de palestra. São Paulo: EPUSP, 1988.
- HENRIQUES, C.L. Condicionantes de Projeto para Unidades Escolares de Pequeno e Médio Porte Utilizando Sistema Construtivo em Perfis Formados a Frio. Dissertação de Mestrado. Ouro Preto: UFOP, 2005.
- INABA, R. Arquitetura em aço. Metálica técnica. 2005. Disponível em: <<http://www.metalica.com.br>>. Acesso em jan. 2006.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. Moderate thermal environments – Determination of the PMV and PPD indices and specification of the conditions for thermal comfort. ISO 7730:1994. Genebre: International Organization for Standardization, 1994.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. Thermal environments instruments and methods for measuring physical quantities. ISO 7726:1985. Genebre: International Organization for Standardization, 1985.
- IPT. Critérios mínimos de desempenho para habitações térreas de interesse social. Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S/A. Divisão de Engenharia Civil. São Paulo: IPT, 1998. 82 p.
- KLEIN, D.L.; KLEIN, G.M.B.; LIMA, R.C.A. Sistemas Construtivos Inovadores: Procedimentos de Avaliação. II Seminário de Patologias das Edificações: Novos Materiais e Tecnologias Emergentes. Porto Alegre: UFRGS, 2004.
- KNOP, G.F.T.; SOUZA, H.A. Avaliação de desempenho térmico de painéis de fechamento pré-fabricados. Ouro Preto: Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação, Universidade Federal de Ouro Preto, UFOP, 2006. 29 p. (Relatório final de iniciação científica, PROBIC 2005/2006, FAPEMIG).
- LICHTENSTEIN, N B. O ciclo de vida dos edifícios. In: Anais EPUSP, 1988, São Paulo. Anais... São Paulo: EPUSP, 1985. 5v. Ser. A. Pt. 5. p. 379-398.
- MESEGUER, A.G. Controle e garantia da qualidade na construção. São Paulo: Sinduscon/SP, 1991.

- MITIDIERI FILHO, C.V.; GUELPA, D.F.V. Avaliação de desempenho de sistemas construtivos inovadores destinados a habitações térreas unifamiliares – Desempenho estrutural. São Paulo: EPUSP, 1992. 11 p. Boletim Técnico.
- NOGUEIRA, M.C.J.; NOGUEIRA, J.S. Educação, meio ambiente e conforto térmico: caminhos que se cruzam. Revista Eletrônica do Mestrado em Educação Ambiental. Porto Alegre: UFRGS, 2003. v. 10. p. 104 -108.
- NUNES, L.P.; LOBO, A.C.O. Pintura industrial na proteção anticorrosiva. Rio de Janeiro: 1990.
- OLIVEIRA, E.N.M.B.; RAMOS, F.M.G.; MEYER, M.V.R.; SILVA, M.A.F. Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto. AP Revista de Arquitetura. Belo Horizonte, n. 5, p. 24-31, 1996.
- PANNONI, F.D. Princípios da proteção de estruturas metálicas em situação de corrosão e incêndio. 1ª ed. v. 1.2. 2002. Disponível em: <<http://upf.tche.br/~zacarias/protecao.pdf>>. Acesso em jan. 2006.
- PANOSSIAN, Z. Corrosão e proteção contra corrosão em equipamentos e estruturas metálicas. 1ª. ed. S.P.: [s.n.], 1993. 2v.
- PEREIRA, T.C.A. Avaliação de desempenho de sistemas racionalizados de vedação para edifícios com estruturas metálicas. Dissertação de Mestrado. Vitória: UFES, 2001. 127p.
- PINTO, M.A.V. Avaliação térmica de edifícios em estrutura metálica. Dissertação de Mestrado. Ouro Preto: UFOP, 2000. 87 p.
- PRAVIA, Z.M.C.; BETINELLI, E.A. Conceito e estudo de casos de falhas em estruturas metálicas. UPF, 2003. Disponível em: <<http://www.eucatex.com.br>>. Acesso em jan. 2006.
- RAMANATHAN, L.V. Corrosão e seu controle. 1ª ed. São Paulo: Hemus Editora Ltda, 1990. 342 p.
- RAMOS, F.M.G. Painéis de Vedação e de Revestimento em Aço Inoxidável. 1997. 167 p.

- REZENDE, M.A.P.; ABIKO, A.K. Inovação tecnológica nas edificações e a introdução da estrutura metálica em Minas Gerais. São Paulo: EPUSP, 2004. 22 p. – (Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, Departamento de Engenharia de Construção Civil; BT/PCC/352). ISSN 0103-9830.
- RIBEIRO, L.F.L. Elementos de Aço II. Disciplina do Curso de Mestrado em Construção Metálica, UFOP. Notas de aula. Ouro Preto: UFOP, 2004.
- RORIZ, M. *et al.* Um zoneamento bioclimático para a arquitetura no Brasil. São Carlos, 7 p, 2000. Disponível em: <www.labee.ufsc.br>. Acesso em: mai. 2006.
- SILVA, M.A.F. Sistema de unidades padrão escolar. Dissertação de Mestrado. Ouro Preto: Universidade Federal de Ouro Preto, 1997. 92 p.
- SALES, U.C. Mapeamento dos problemas gerados na associação entre sistemas de vedação e estrutura metálica e caracterização acústica e vibratória de painéis de vedação. Dissertação de Mestrado. Ouro Preto: Universidade Federal de Ouro Preto, 2001. 249 p.
- SALMON, C.; JOHNSON, J.E. Steel structures - design and behaviour – emphasis in load and resistance factor design. 3. ed. Madison: Harpercollinspublishers Inc., 1990. 1089 p.
- SOUZA, H.A.; SALES, U.C. Sistemas de fechamento para estrutura metálica. Notas de aula. Ouro Preto: UFOP, 2005. 41 p.
- THOMAZ, E. Trincas em edifícios: causas, prevenção e recuperação. São Paulo: IPT/EPUSP/PINI, 1989.
- VITTORINO, F. Desempenho térmico e lumínico de edifícios habitacionais: discussão da proposta de normalização para habitações de até cinco pavimentos. In: HABITAÇÃO: DESEMPENHO E INOVAÇÃO TECNOLÓGICA, 2005, São Paulo. *Anais do seminário Habitação: desempenho e inovação tecnológica*. São Paulo: IPT, 2005. p. 7-16.
- VON KRÜGER, P.G. Análise de painéis de vedação nas edificações em estrutura metálica. Dissertação de Mestrado. Ouro Preto: UFOP, 2000. 167 p.

BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTAR

BLESSMANN, J. Acidentes causados pelo vento. 3ª ed. Porto Alegre: UFRGS, 1986. 81p.

EUCATEX. Divisórias. Disponível em: <<http://www.eucatex.com.br/>>. Acesso em out. 2005.

FREIRE, C. Racionalização estrutural. Disponível em <http://www.metalica.com.br/pg_dinamica/bin/pg_dinamica.php?id_pag=115>. Acesso em ago. 2006.

FURTADO SILVA, P. Introdução à corrosão e proteção das superfícies metálicas. Belo Horizonte: UFMG, 1981. 357p.

INTERNATIONAL IRON AND STEEL INSTITUTE. Fire Engineering Design for Steel Structures. Cap. 2: Principles of fire Safety. 1993. Revista Construção Metálica. 2003. disponível em <<http://www.metalica.com.br>>. Acesso em jan. 2006.

KRÜGER, E.L.; PAULO, H.T.Z. Acoustic, thermal and and luminous comfort in classrooms. Building and Environment, UK, v. 39, p. 1055-1063, 2004.

LAMBERTS, R; DUTRA, L.; PEREIRA, F.O.R. Eficiência energética na arquitetura. São Paulo: PW, 1997. 192 p.

PFEIL, W. Estruturas de aço. 3ª. ed. Rio de Janeiro: LTC, 1982. 584 p.

SALES, U.C.; NEVES, F.A.; SOUZA, H. A. Avaliação comparativa do desempenho acústico de painéis de vedação pré-fabricados. In: Encontro Nacional sobre Conforto no Ambiente Construído, 4, e Encontro Latino Americano sobre Conforto no Ambiente Construído, 3, 2001, São Pedro, SP. Anais eletrônicos: Encac 2001, v.1, p. 1-7, 2001 a.

SALES, U.C.; NEVES, F.A.; SOUZA, H.A. Interfaces entre sistemas de vedação e estruturas metálicas, Problemas reais. Técnica, São Paulo, v. ago., n. 53, p. 98-102, 2001.

SILVA, M.G.; SILVA, V.G. Manual de Construção em Aço: Painéis de vedação. Vitória: UFES/NEXEM. 59 p.

SOUZA, H.A.; PINTO, M.A.V.; FREITAS, M.S.R. S. Simulação do comportamento térmico de painéis de vedação em edificações em estrutura metálica. Revista da Escola de Minas. Ouro Preto: REM, 2000. v. 53. no. 3. p. 169-173.

ANEXO I

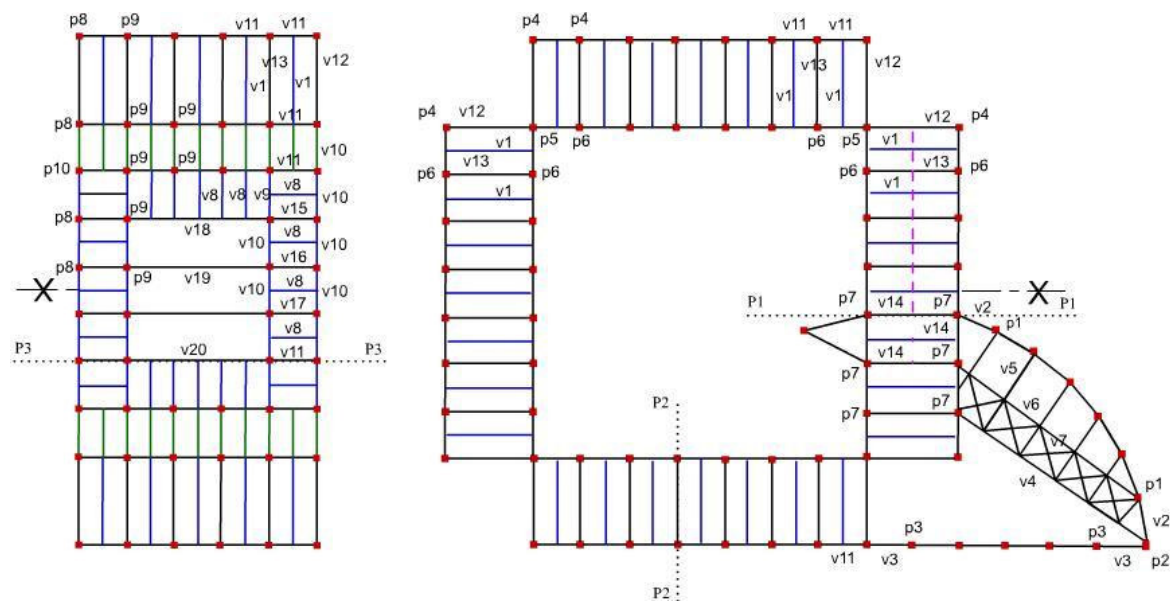
Nesse anexo, encontra-se o projeto arquitetônico do prédio da Escola de Minas, plantas baixas do primeiro e do segundo pavimento, cortes e fachadas, na escala 1:250.

(Nesse arquivo, esse anexo encontra-se no final, em AutoCAD 2002)

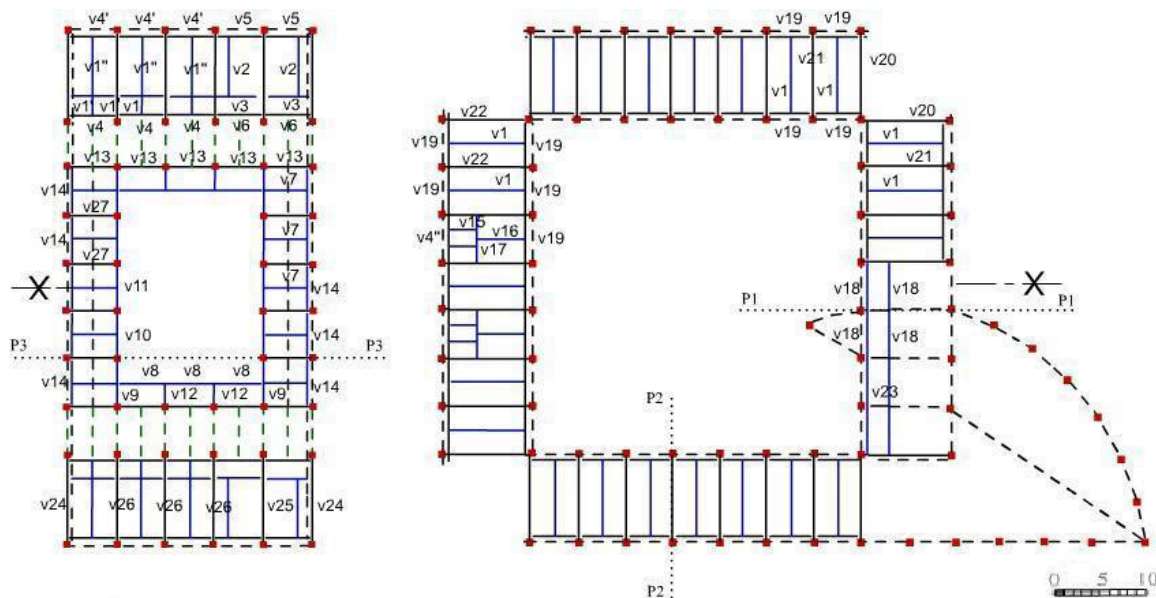
ANEXO II

Nesse anexo, encontram-se esquematizados os principais elementos estruturais, vigas e pilares, e os respectivos perfis aplicados nos níveis do segundo pavimento e da cobertura, nos dois blocos da edificação. São mostrados também os esquemas de três pórticos típicos praticados.

1. Principais elementos estruturais e respectivos perfis



Cobertura



Segundo pavimento



Figura II.1– Esquemas da estrutura aplicada no prédio da Escola de Minas

Tabela II.1 – Perfis de vigas aplicadas no nível da cobertura










Elemento	Tipo da seção transversal	Perfil soldado	Comprimento (m)	Contra-flecha (mm)
v1	I	PS 300/42	11,20	50
v2	I	PS 680/55	6,00	-
v3	I	PS 680/55	6,00	-
v4	Treliça	I PS 680/75 (corda superior)	41,00	42
		 50 x 4,75 (montantes e diagonais)		
		 127 x 50 x 17 (corda inferior)		
v5	I	PS 300 x 26	9,70 (maior comprimento)	25
v6		100 x 100 x 3,75	25,90 m	-
v7		50 x 3,75	7,10 (maior comprimento)	-
v8	I	PS 300/18	6,00	-
v9	I	PS 300/22	6,00	-
v10	I	PS 680/55	6,00	-
v11	I	PS 680/55	6,00	-
v12	I	PS 680/55	11,20	-
v13	H	PS 400/54	11,20	-
v14	I	PS 300/48	11,20	-
v15	I	PS 300/18	6,00	-
v16	I	PS 300/18	6,00	-
v17	I	PS 300/18	6,00	-
v18	I	PS 680/111	18,00	48
v19	Treliça	 165 x 170 x 20 (corda superior)	18,00	-
		 100 x 50 x 17 (montantes e diagonais)		
		 300 x 85 x 25 (corda inferior)		
v20	Treliça	 165 x 170 x 20 (corda superior)	18,00	-
		 100 x 50 x 17 (montantes e diagonais)		
		I 630/55 (corda inferior)		

Tabela II.2 – Perfis de vigas aplicadas no nível do segundo pavimento

Elemento	Tipo da seção transversal	Perfil soldado	Comprimento (m)	Contra-flecha (mm)
v1	I	PS 500/43	9,80	-
v1'	I	PS 200/15	3,00	-
v1''	I	PS 500/55	9,80	-
v2	I	PS 500/43	8,025	-
v3	I	PS 500/43	6,00	-
v4	I	PS 500/43	6,00	-
v4'	I	PS 500/38	6,00	-
v5	I	PS 500/38	6,00	-
v6	I	PS 500/33	6,00	-
v7	I	PS 300/20	5,325	-
v8	I	PS 500/27	6,00	-
v9	I	PS 500/34	6,00	-
v10	I	PS 500/29	6,00	-
v11	I	PS 500/29 (Figura II.2)	6,00	-
v12	I	PS 500/63	3,00	-
v13	I	PS 500/27	6,00	-
v14	I	PS 500/29	6,00	-
v15	I	PS 200/16	3,925	-
v16	I	PS 300/22	5,875	-
v17	I	PS 500/41	6,00	-
v18	I	PS 500/33	6,00	-
v19	I	PS 500/38	6,00	-
v20	I	PS 500/70	9,80	-
v21	I	PS 500/78	9,80	-
v22	I	PS 500/124	9,80	-
v23	I	PS 500/55	2,70	8
v24	I	PS 500/92	9,80	-
v25	I	PS 500/124	9,80	-
v26	I	PS 500/102	9,80	-
v27	I	PS 300/31	6,00	-

Tabela II.3 – Perfis de pilares


Elemento	Tipo da seção transversal	Perfil soldado	Comprimento (m)
p1	H	PS 400/44	6,35
p2	H	PS 400/44	6,35
p3	H	PS 400/54	6,35
p4	H	PS 400/54	6,50
p5		400 x 400 x 6,35	6,50
p6	H	PS 400/65	6,50
p7	H	PS 400/79	6,50
p8	H	PS 400/54	6,50
p9	H	PS 400/65	6,50
p10	H	PS 400/44	6,50



Figura II.2 – Viga v11 aplicada na chegada da escada da biblioteca

2. Pórticos típicos

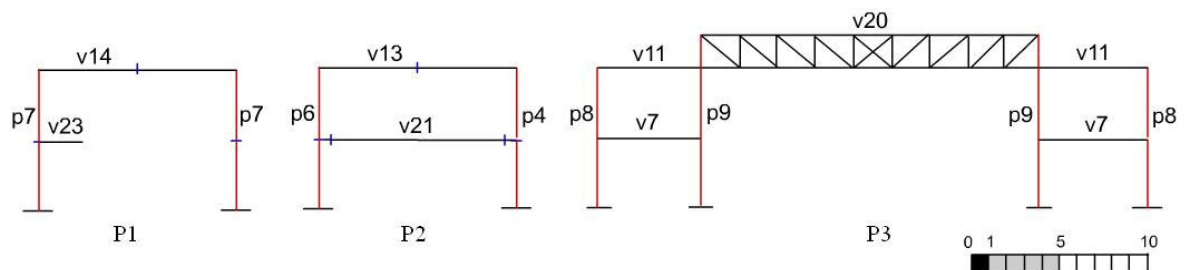


Figura II.3– Esquemas de pórticos encontrados no prédio da Escola de Minas

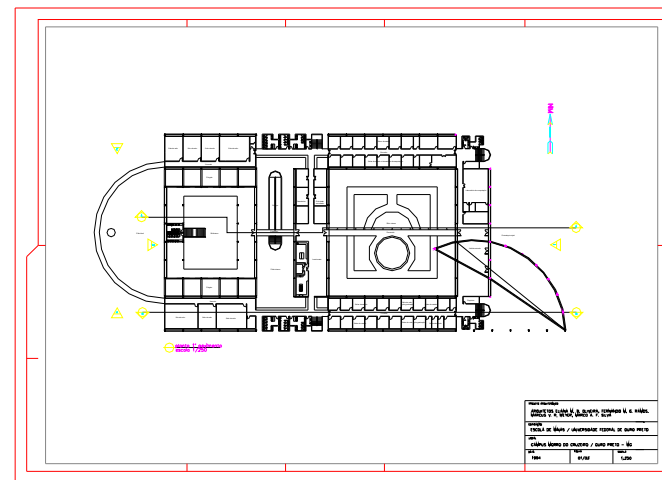
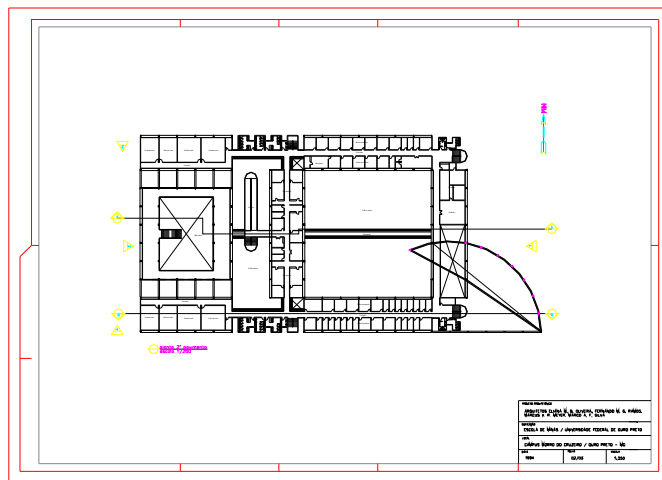
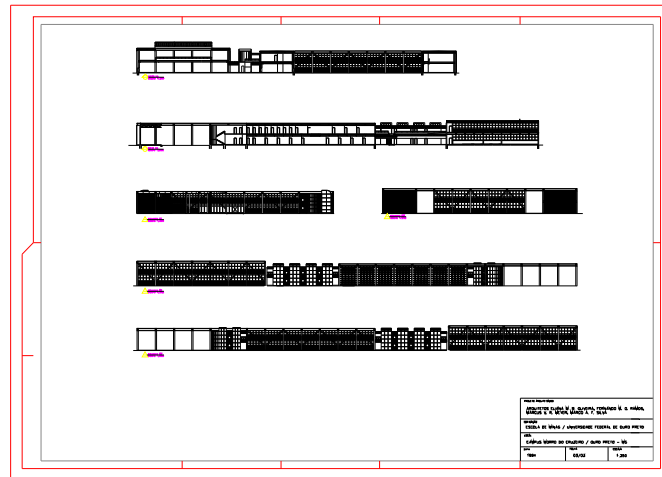


Figura I – Projeto arquitetônico do prédio da Escola de Minas