



ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

LUCIANA ALVES DE OLIVEIRA

**TECNOLOGIA DE PAINÉIS PRÉ-FABRICADOS
ARQUITETÔNICOS DE CONCRETO PARA
EMPREGO EM FACHADAS DE EDIFÍCIOS**

Dissertação apresentada à Escola
Politécnica da Universidade São
Paulo para obtenção do título de
Mestre em Engenharia

São Paulo

2002



ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

LUCIANA ALVES DE OLIVEIRA

**TECNOLOGIA DE PAINÉIS PRÉ-FABRICADOS
ARQUITETÔNICOS DE CONCRETO PARA
EMPREGO EM FACHADAS DE EDIFÍCIOS**

Dissertação apresentada à Escola
Politécnica da Universidade São
Paulo para obtenção do título de
Mestre em Engenharia

Área de concentração: Engenharia
de Construção Civil e Urbana

Orientador : Prof. Dr.
Fernando Henrique Sabbatini

São Paulo

2002

*Aos meus pais, Luiz e Ivete,
aos meus irmãos, Pat, Lê e Dani, e
ao Alê...*

AGRADECIMENTOS

Difícil ... difícil é escrever essa página de agradecimentos. Pois nem o maior poder de síntese poderia resumir em tão poucas linhas todas as pessoas presentes e todas as coisas boas que aconteceram nesses últimos três anos. Talvez eu possa dizer que tudo foi engrandecedor, tanto profissionalmente quanto pessoalmente. Talvez eu possa, ainda, dizer: OBRIGADA A TODOS que direta ou indiretamente fizeram parte do desenvolvimento deste trabalho.

Mas, como não poderia deixar de ser... algumas pessoas foram essenciais. Por isso gostaria de agradecer:

Ao Engenheiro Luiz Galvão, meu pai, meu maior incentivador.

Ao Professor Sabbatini, meu orientador, pela oportunidade, apoio e, especialmente, paciência, em ensinar-me um pouco do que eu nada sabia.

À Professora Mércia, pelo apoio constante e por ser para todos nós, um exemplo de dedicação.

Aos Professores Chico Cardoso, Silvio Melhado e Ubiraci Espinelli, que me emprestaram um pouco de suas idéias, força e estímulo para trabalhar nesse nosso setor.

À Fátima da secretaria de pós, à Leo da biblioteca e a Engracia do financeiro, sem elas tudo seria mais difícil.

Aos colegas do nosso grupo de estudo, que no meio de tantas discussões e confusões, sempre estiveram prontos a colaborar com as correções do trabalho, em especial, ao Max, Clarice, Flavio e Érika.

Aos colegas da nossa sempre sala "*asteróide*" (palco de tantas recordações), Artemária, Rita, Gerusa, Julio *lindo*, Serginho, Leo Grillo, Leo Miranda, Ale *Grandão*, Otávio, Fabrício, Aluízio, Luciano, Rolando, Tonhão e *Tio William*, que de alguma forma sempre estiveram presentes.

Às empresas que forneceram informações valiosas e abriram suas portas para que este trabalho pudesse ser desenvolvido, em especial, ao Engenheiro Alex da Munte Pré-Fabricados, à Engenheira Camila da Stamp Pré-fabricados Arquitetônicos, à Arquiteta Siomara da Mourelo&Thomaz, ao Engenheiro Romão da Engebrat, ao Professor Pannoni da Açominas e à Juliana Carvalho da ABCP.

À Fapesp pelo apoio financeiro.

E, por último, ao meus "*fofos*" (Flavio, Claudinha, Érika, Cris e Dani) pela *nossa amizade*. Pois por causa dela esse período de mestrado foi mais do que especial.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	iv
LISTA DE TABELAS	vii
LISTA DE GRÁFICOS	ix
RESUMO	x
ABSTRACT	xi
1 INTRODUÇÃO	1
1.1 HISTÓRIA DA CONSTRUÇÃO PRÉ-FABRICADA EM CONCRETO	3
1.2 JUSTIFICATIVA	8
1.3 OBJETIVOS	10
1.4 METODOLOGIA GERAL DO TRABALHO	11
1.5 ESTRUTURAÇÃO DO TRABALHO	11
2 VEDAÇÕES VERTICAIS EM PAINÉIS PRÉ-FABRICADOS ARQUITETÔNICOS DE CONCRETO: COMPONENTES DO SUBSISTEMA	14
2.1 CLASSIFICAÇÃO DAS VEDAÇÕES VERTICAIS	14
2.2 DEFINIÇÃO DOS PAINÉIS PRÉ-FABRICADOS DE CONCRETO DESTE TRABALHO	17
2.3 COMPONENTE PAINEL	20
2.3.1 Camada de concreto	21
2.3.2 Camada de Revestimento	30
2.4 DISPOSITIVOS DE FIXAÇÃO	34
2.4.1 Materiais	35
2.4.2 Tipos de fixações	36
2.4.2.1 <i>Fixações aparafusadas</i>	39
2.4.2.2 <i>Fixações soldadas</i>	43
2.5 JUNTAS	46
2.5.1 Quanto à localização	47
2.5.2 Quanto ao preenchimento e ao formato geométrico	49
3 DIRETRIZES DE PROJETO PARA FACHADAS EM PAINÉIS PRÉ-FABRICADOS ARQUITETÔNICOS DE CONCRETO: FATORES QUE CONDICIONAM O DESEMPENHO	53

3.1	SEGURANÇA ESTRUTURAL	55
3.1.1	Considerações estruturais	55
3.1.2	Resistência ao intemperismo : Corrosão	57
3.2	RESISTÊNCIA AO FOGO	62
3.2.1	Proteção Passiva dos Dispositivos de Fixação	63
3.2.2	Proteção Passiva das Juntas	66
3.3	ESTANQUEIDADE À ÁGUA E AO AR	69
3.3.1	Seleção dos materiais selantes	70
3.3.1.1	<i>Propriedades elastoméricas</i>	71
3.3.1.2	<i>Resistência de aderência</i>	71
3.3.1.3	<i>Dureza</i>	73
3.3.1.4	<i>Durabilidade</i>	73
3.3.1.5	<i>Tipos de materiais selantes</i>	74
3.3.2	Dimensionamento das Juntas	77
3.4	ESTÉTICA	79
3.4.1	Elaboração de especificações para a camada de acabamento do painel	81
3.4.2	Elaboração de detalhes construtivos	82
3.4.2.1	<i>Peitoris</i>	83
3.4.2.2	<i>Pingadeira</i>	83
4	PLANEJAMENTO DA EXECUÇÃO DE FACHADAS EM PAINÉIS PRÉ-FABRICADOS ARQUITETÔNICOS DE CONCRETO: FATORES QUE CONDICIONAM A EFICIÊNCIA DA MONTAGEM	87
4.1	PROJETO E PLANEJAMENTO DA MONTAGEM	87
4.1.1	Seqüência de fabricação e envio das peças	88
4.1.2	Localização dos equipamentos de transporte vertical	89
4.1.3	Método e seqüência de montagem	91
4.1.4	Considerações sobre o içamento	92
4.1.5	Considerações sobre as fixações	92
4.1.6	Armazenamento	94
4.2	TOLERÂNCIAS	94
4.2.1	Tolerância de produto	95
4.2.2	Tolerância de montagem	97
4.2.3	Tolerâncias de Interfaces	100
4.2.4	Estabelecimento das folgas de projeto	100
4.3	COORDENAÇÃO MODULAR	102
4.4	EQUIPAMENTO DE TRANSPORTE VERTICAL	106
4.4.1	Guindaste móvel	106
4.4.2	Guindaste de torre (grua)	110

4.4.2.1	<i>Grua de torre estática com lança horizontal</i>	111
4.4.2.2	<i>Análise comparativa entre as gruas de torre estática com lança horizontal</i>	114
5	ESTUDOS DE CASO	118
5.1	METODOLOGIA UTILIZADA PARA DESENVOLVIMENTO DO ESTUDO DE CASO	118
5.2	DESCRIÇÃO DOS DADOS COLETADOS NAS OBRAS	120
5.2.1	Obra-1	120
5.2.1.1	<i>Caracterização da obra</i>	120
5.2.1.2	<i>Caracterização dos componentes do PPAC</i>	121
5.2.1.3	<i>Caracterização das condicionantes do desempenho das fachadas em PPAC</i>	125
5.2.1.4	<i>Caracterização das condicionantes do processo de montagem dos PPAC</i>	126
5.2.2	Obra-2	129
5.2.2.1	<i>Caracterização da obra</i>	129
5.2.2.2	<i>Caracterização dos componentes do PPAC</i>	130
5.2.2.3	<i>Caracterização das condicionantes do desempenho das fachadas em PPAC</i>	137
5.2.2.4	<i>Caracterização das condicionantes do processo de montagem dos PPAC</i>	138
5.3	ANÁLISE DA UTILIZAÇÃO DOS PPAC NAS OBRAS DOS ESTUDOS DE CASO	140
6	CONCLUSÕES	152
6.1	QUANTO AOS OBJETIVOS PROPOSTOS	152
6.2	QUANTO ÀS CONSIDERAÇÕES GERAIS	153
6.3	QUANTO ÀS CONSIDERAÇÕES ESPECÍFICAS	155
6.4	DAS CONSIDERAÇÕES SOBRE OS ESTUDOS DE CASO	161
6.5	DAS RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	162
	ANEXO I	164
	ANEXO II	166
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	167

LISTA DE FIGURAS

Figura 1-1 – Fachadas em painéis pré-fabricados arquitetônicos de concreto.....	8
Figura 2-1– Esquema genérico da fixação dos painéis na estrutura.....	17
Figura 2-2 – Tipos de seção transversal do painel	18
Figura 2-3 – Acabamentos superficiais do componente painel (APA, 2000).....	31
Figura 2-4 – Fixações de alinhamento (PCI, 1988).....	37
Figura 2-5 – Fixações de apoio vertical (PCI, 1988).....	38
Figura 2-6 – Fixações de apoio lateral (PCI, 1988).....	39
Figura 2-7 – Dispositivos metálicos pré-ancorados (PCI, 1988; Comitê Euro- International du Béton- CEB, 1994).....	41
Figura 2-8 – Ancoragem mínima dos dispositivos de fixação pré-ancorados no painel (Taylor, 1992).....	42
Figura 2-9 – Detalhe de chapa metálica com furos oblongos	42
Figura 2-10 – Parafusos de expansão (CEB,1994).....	43
Figura 2-11 – Processos de soldagem (Cardoso, 1988)	44
Figura 2-12 – Posição da solda (HICKS, 1987).....	45
Figura 2-13 – Juntas entre PPAC (Mondial Business Hotel, Pça IV Centenário- Guarulhos- S.P.)	47
Figura 2-14 – Seção dos painéis com nervura.....	48
Figura 2-15 – Juntas no meio de vãos e em superfícies inclinadas (PCI,1989)	49
Figura 2-16 – Esquema de juntas de drenagem (MARTIN, 1977)	50
Figura 2-17 – Juntas classificadas como de um estágio (PCI,1989)	51
Figura 2-18 – Juntas classificadas como de dois estágios (PCI,1989).....	52
Figura 3-1 – Tipos de Configurações das Fixações dos PPAC (PCI, 1989)	57
Figura 3-2 – Juntas entre painel e estrutura e juntas entre painéis	66
Figura 3-3 – Esquema de descontinuidade de juntas.....	67
Figura 3-4 – Posição dos materiais de proteção contra o fogo das juntas.....	69
Figura 3-5 – Limitador de profundidade e fita de fundo (DOW CORNING, 2000)	72
Figura 3-6 – Espessuras mínima das Juntas entre painéis e entre quinas.....	79

Figura 3-7 – Profundidade das juntas para diferentes selantes (HUTCHINSON; WOOLMAN 1995)	79
Figura 3-8 – Fachada com presença de manchas devido ao desenvolvimento de microorganismos (foto tirada por SATO <i>et al.</i> , 2002).	81
Figura 3-9 – Esquema função da pingadeira	83
Figura 3-10 – Detalhes construtivos das pingadeiras e peitoris (PCI, 1989)	84
Figura 3-11 – Recomendações quanto ao posicionamento das esquadrias e geometria dos peitoris (PCI, 1989)	85
Figura 3-12 – Detalhes de seção do painel e de calhas e rufos – PCI (1989)	86
Figura 4-1 – Montagem e Transporte das peças.....	89
Figura 4-2 – Esquema para análise da localização da grua (SOUZA; FRANCO, 1997)	91
Figura 4-3 – Fixação temporária e de alinhamento (TAYLOR, 1992)	93
Figura 4-4 – Esquemas de tolerâncias a serem consideradas em projeto para o aceite das peças na etapa de fabricação (PCI, 1985; PCI, 1989).....	96
Figura 4-5 – Esquema de tolerâncias a serem consideradas em projeto para etapa de montagem (PCI, 1985)	98
Figura 4-6 – Esquema para estabelecimento de folga em projeto (exemplo da Tabela 4-4)	101
Figura 4-7 – Quadrícula Modular de referência	104
Figura 4-8 – Esquema de vão modular de um painel na fachada.....	105
Figura 4-9 – Guindaste móvel sobre esteiras e sobre estrado de madeira (GONÇALVES GUINDASTES, 2000a)	109
Figura 4-10 – Patola de guindaste móvel sobre rodas (GONÇALVES GUINDASTES, 2000a).....	110
Figura 4-11 – Esquema das gruas de torre estática com lança horizontal: fixa, sobre trilhos e ascensional (LICHTENSTEIN, 1987).	112
Figura 4-12 – Blocos de fundação das gruas de torre estática c/ lança horizontal classificadas como fixas (Edifício Alberto Bonfiglioli – Cruzamento da Av. Paulista com a Alameda Santos).....	113
Figura 5-1 – Esquema da metodologia utilizada para o desenvolvimento dos estudos de caso	120
Figura 5-2 – Vista da Fachada (Obra 1).....	121
Figura 5-3 – Seção transversal do painel (Obra 1).....	122

Figura 5-4 – Dispositivos de fixação, painéis da cobertura (Obra 1).....	123
Figura 5-5 – Esquema genérico das fixações (Obra 1).....	124
Figura 5-6 – Esquema genérico das juntas (Obra 1)	125
Figura 5-7 – Largura e material de preenchimento das juntas (Obra 1).....	126
Figura 5-8 – Canteiro de Obras (Obra 1)	127
Figura 5-9 – Operário cortando a laje para colocação dos dispositivos de fixação (Obra-1).....	128
Figura 5-10 – Vista da Fachada (Obra 2)	130
Figura 5-11- Esquema genérico dos painéis das janelas (Obra 2).....	131
Figura 5-12 – Detalhe das cornijas em GRC (Obra2)	132
Figura 5-13 – Esquema de fixação dos painéis-janela sem peitoril (Obra-2)	133
Figura 5-14 – Esquema das fixações dos painéis que encobrem os pilares (Obra2).....	134
Figura 5-15 – Esquema das fixações dos painéis na estrutura (Obra 2).....	135
Figura 5-16 – Esquema genérico das juntas - (Obra 2)	136
Figura 5-17 – Esquema das juntas falsas – vista dos painéis que encobrem os pilares (Obra-2)	137
Figura 5-18 – Esquema do canteiro de obras (Obra 2).....	139

LISTA DE TABELAS

Tabela 2-1- Resistência à tração do concreto em função da resistência à compressão (ABNT, 2001)	22
Tabela 2-2 - Estimativa de resistência do concreto para a desforma (EL DEBS,2000)..	23
Tabela 2-3 - Resistência ao fogo de painéis de concreto maciço (PCI, 1974; PCI, 1989)	24
Tabela 2-4 - $T_1^{0.59}$ em função do tipo de material isolante (PCI, 1989)	25
Tabela 2-5 - Classe de transmissão de som aéreo em função da espessura do componente (HARRIS, 1994).....	26
Tabela 2-6 - Valores do coeficiente global de transmissão térmica para o componente painel (Calculo demonstrado no Anexo-II).....	28
Tabela 2-7 - Escala de visibilidade do agregado exposto na superfície do PPAC (PCI,1989).....	34
Tabela 3-1– Dados sobre taxa de corrosão atmosférica e durabilidade dos metais mais utilizados nos dispositivos metálicos do PPAC	59
Tabela 3-2– Revestimento de Pintura (1).....	60
Tabela 3-3 – Tempos requeridos de resistência ao fogo –TRRF (Corpo de Bombeiros - Decreto Estadual 46076/2001-AnexoA- IT08/01).....	63
Tabela 3-4 - Tempo de resistência ao fogo das juntas em função da sua largura, da espessura do painel e da profundidade da manta de fibra cerâmica (PCI,1989).....	68
Tabela 3-5 – Propriedades dos selantes (tabela modificada dados do KLOSOWSKI, 1989; PCI, 1989; BSI ,1994; FOSROC; DOW COORNING, 2000).....	75
Tabela 4-1– Tolerâncias de fabricação de elementos planos (PCI, 1985; PCI, 1989 ;ACI, 1990).....	97
Tabela 4-2 - Tolerâncias de montagem de elementos planos (PCI, 1985 ;ACI, 1990)...	99
Tabela 4-3 – Tolerâncias relevantes para serem consideradas em projeto para a etapa de montagem (PCI,1989)	99
Tabela 4-4 – Tolerâncias a serem consideradas para cálculo da folga entre painel e estrutura (Figura 4-6).....	101
Tabela 4-5 – Estabelecimento das folgas segundo os PCI (1989).....	102
Tabela 4-6 – Capacidade de içamento do guindaste móvel tipo TG-500E (GONÇALVES GUINDASTES, 2000).....	107

Tabela 4-7 – Capacidade de içamento das guias de torre estática de lança horizontal (CENTRAL LOCADORA, 2002).....	113
Tabela 4-8 – Tabela comparativa entre guias de torre estática com lança horizontal fixa e ascensional (LICHTENSTEIN,1987; GONÇALVES GUINDASTE,2000; CENTRAL LOCADORA, 2002).....	115

LISTA DE GRÁFICOS

Grafico 2-1– $T_2^{0.59}$ em função da espessura e do agregado da camada de concreto (PCI, 1974; PCI, 1989)	25
Grafico 2-2 – CTSA em função do peso por unidade de área (PCI, 1989).....	27
Gráfico 3-1- Espessura dos materiais de proteção contra o fogo para as fixações metálicas (figura traduzida do PCI, 1989).....	64
Gráfico 3-2 – Tempo de resistência ao fogo de juntas que não são preenchidas com material isolante (PCI, 1989).....	68
Gráfico 4-1– Capacidade física de um guindaste tipo TG-500E -TADANO (GONÇALVES GUINDASTES, 2000)	107

RESUMO

A utilização de tecnologias construtivas inovadoras, como os painéis pré-fabricados arquitetônicos de concreto (PPAC), tem-se configurado prática freqüente do mercado brasileiro por, potencialmente, contribuir para incrementar os níveis de industrialização dos processos de produção, bem como a qualidade do produto final a custos reduzidos.

No Brasil, entretanto, não existem ainda normas ou manuais técnicos que balizem a utilização dessa tecnologia construtiva. Por isso, este trabalho sistematiza o conhecimento sobre a tecnologia de PPAC para emprego em fachadas de edifícios de múltiplos pavimentos, por meio da apresentação dos principais fatores que devem ser considerados nas fases de elaboração dos projetos de empreendimentos que utilizem os PPAC em suas fachadas. Fatores, esses, que condicionam o desempenho e a eficiência do processo de produção das fachadas.

Após o acompanhamento do processo de produção de dois empreendimentos que utilizaram PPAC em suas fachadas, constituindo os estudos de caso, conclui-se que a tecnologia de PPAC apresenta grande potencial para incrementar os níveis de industrialização do processo de produção do edifício, se a elaboração dos seus projetos ocorrer nas fases preliminares da concepção do empreendimento, em que as suas funções e interfaces sejam consideradas.

Palavras-chaves: painel pré-fabricado de concreto, fachada, pré-fabricação, painel arquitetônico

ABSTRACT

The architectural precast concrete panel technology has frequently been used because of its probability of increasing the industrialization levels of the building process and also improve the building product quality.

On the other hand, mostly in Brasil, there are no rules or manual books which guide the utilization of this technology. In addition, this work aims to raise the knowledge about the architectural precast concrete panel used as cladding (APCP – PPAC in Portuguese). Therefore, this work presents some factors that must be considered in designs of building façades, using this kind of technology .

After the analysis of one study case using APCP, it was concluded that APCP technology has a great potential of increasing the industrialization levels of the building process, if its designs are done as soon as possible and if its performance and interfaces are considered.

Key words: panel, facade, precast, architectural panel, cladding.

1 INTRODUÇÃO

As modificações ocorridas na década de noventa, em especial na área de tecnologia, provocaram grande impacto e impulsionaram o desenvolvimento de vários setores da economia.

Essas modificações ocorreram devido a alguns fatores diretamente ligados à globalização e ao avanço da informática e da telecomunicação, tais como o incremento do desenvolvimento tecnológico, a maior velocidade das informações e a criação de sistemas de gestão da qualidade. Todos esses fatores aumentaram a eficiência dos processos de produção e incrementaram a qualidade dos produtos finais, o que fez aumentar a oferta no mercado e a competitividade entre as empresas.

O setor da construção civil também vem passando por modificações, talvez não tão intensas quanto as dos setores de informática e telecomunicações, mas não menos importantes. Assim, as empresas construtoras vêm buscando diminuir seus custos e, simultaneamente, aumentar a eficiência de seus processos de produção e a qualidade do seu produto final.

O êxito das ações que conduzem à diminuição dos custos, ao aumento da produtividade e ao incremento da qualidade nos processos de produção e no produto final depende da evolução das atividades construtivas, ou seja, do incremento dos seus níveis de industrialização. Segundo Sabbatini (1989), *“evoluir no sentido de aperfeiçoar-se como indústria é um caminho natural do setor da construção civil”*, portanto, industrializar-se para a construção é sinônimo de evoluir.

Conforme Ciribini (apud ROSSO, 1980), *“a industrialização é um método baseado essencialmente em processos organizados de natureza repetitiva, nos quais a variabilidade incontrolável e casual de cada fase de trabalho, que caracteriza as ações artesanais, é substituída por graus pré-determinados de uniformidade e continuidade executiva, característica das modalidades operacionais parcial ou totalmente mecanizadas”*.

Resumindo, o conceito de industrialização voltado para a construção civil pressupõe organização, planejamento, continuidade executiva, repetitividade e eficiência no processo de produção, tudo dentro de uma visão global das várias interfaces que compõem a execução de um edifício. E sua principal ferramenta é a **racionalização construtiva**.

Define-se racionalização construtiva como “*um processo composto pelo conjunto de todas as ações que tenham por objetivo otimizar o uso de recursos materiais, humanos, organizacionais, energéticos, tecnológicos, temporais e financeiros disponíveis na construção em todas as suas fases*” (SABBATINI, 1989).

Ainda em relação à industrialização, alguns autores, como Orlandi (1979), estabelecem que os processos industrializados são função de um método em que os componentes e elementos construtivos são pré-fabricados em usinas e, posteriormente, acoplados às obras mediante operações de montagem, ou seja, estabelecem que os processos industrializados são, essencialmente, pré-fabricados.

No entanto, Trigo (1978) destaca que a industrialização corresponde a uma noção muito mais ampla que a pré-fabricação, ou seja, a pré-fabricação é uma das manifestações da industrialização, mas, por si só, não traduz toda a complexidade que envolve o processo da construção industrializada.

A pré-fabricação, segundo Ordonéz (1974), “*é uma fabricação industrial, fora do canteiro, de partes da construção, capazes de serem utilizadas mediante ações posteriores de montagem*”.

Portanto, pode-se dizer que a pré-fabricação é um instrumento de grande potencial para incrementar os níveis de industrialização dos processos construtivos, mas de forma alguma o único.

Assim, o presente trabalho apresenta alguns fatores que devem ser considerados nos projetos das construções que utilizam elementos pré-fabricados de concreto, a fim de que a utilização desses elementos, realmente, apresentem-se como um instrumento de grande potencial para incrementar os níveis de industrialização dos processos de produção das construções.

Ressalta-se que a utilização de elementos pré-fabricados nas construções começou a

ter importância efetiva, tanto econômica quanto tecnológica, a partir da Segunda Guerra Mundial, e que, mesmo presente há mais de cinquenta anos no mercado da construção civil nacional e internacional, ainda não foi, em alguns países como o Brasil, totalmente consolidada.

Por isso, é importante compreender a evolução histórica da pré-fabricação, a fim de contextualizar o presente trabalho e mostrar como os erros do passado contribuíram para a evolução da construção pré-fabricada.

1.1 HISTÓRIA DA CONSTRUÇÃO PRÉ-FABRICADA EM CONCRETO

A evolução histórica da construção pré-fabricada aconteceu em épocas e de maneiras diferentes em cada país. Pode-se, porém, dizer que as primeiras construções que utilizaram grandes elementos pré-fabricados de concreto armado surgiram na Europa e que tanto os EUA quanto o Canadá e o Brasil foram influenciados pela cultura da pré-fabricação européia.

Ordonéz (1974) expõe que foi no período pós 2º Guerra Mundial, principalmente na Europa, que começou, verdadeiramente, a história da pré-fabricação como **“manifestação mais significativa da industrialização na construção”**. E que a utilização intensiva do pré-fabricado em concreto deu-se em função da necessidade de se construir em grande escala.

De acordo com Salas (1988), pode-se dividir o emprego da pré-fabricação na Europa em três etapas:

→ De 1950 a 1970 – Etapa em que houve a necessidade de se construir muitos edifícios, tanto habitacionais quanto escolas, hospitais e indústrias, devido à falta de edificações ocasionada por demolições da guerra.

Os edifícios construídos nessa época eram compostos de elementos pré-fabricados, cujos componentes como os próprios painéis, contra-marcos, esquadrias, fixação e outros, eram procedentes do mesmo fornecedor, constituindo o que se convencionou chamar de ciclo fechado de

produção¹.

Os ciclos fechados, especialmente aqueles à base de grandes painéis pré-fabricados, marcaram o apogeu da fase de reconstrução do Pós-Guerra na Europa, que durou até o final da década de 60;

- De 1970 a 1980 – Etapa em que ocorreram acidentes com alguns edifícios construídos com grandes painéis pré-fabricados como, por exemplo, o caso do edifício “Ronan Point”, na Inglaterra, que ruiu parcialmente após a explosão de um botijão de gás e teve sua imagem associada a um “castelo de cartas” (SALAS, 1988).

Esses acidentes provocaram, além de uma rejeição social a esse tipo de edifício, uma profunda revisão no conceito de utilização dos processos construtivos em grandes elementos pré-fabricados. E neste contexto teve início o declínio dos sistemas pré-fabricados do ciclo fechado de produção.

Cabe ressaltar que edifícios comerciais e industriais também foram construídos num ciclo fechado de produção, porém, em menor número e objetivando atender a funções diferentes daquelas dos edifícios residenciais. Assim, apresentaram menos problemas patológicos e, praticamente, nenhum de ordem social;

- Pós 1980 – Esta etapa caracterizou-se, em primeiro lugar, pela demolição de alguns grandes conjuntos habitacionais, justificada dentro de um quadro crítico, especialmente de rejeição social e deterioração funcional. E, em segundo lugar, pela consolidação de uma pré-fabricação de ciclo aberto, à base de componentes compatíveis, de origens diversas. Segundo Bruna (1976), “a *industrialização de componentes destinados ao mercado e não, exclusivamente, às necessidades de uma só empresa é conhecida como CICLO ABERTO*”.

Portanto, pós 1980, a Europa avançou para uma segunda geração tecnológica no campo da construção pré-fabricada, em que foi introduzido o sistema de ciclo aberto

¹ Ciclo fechado de produção é aquele cujos elementos são produzidos em uma fábrica e concebidos em conjunto, para constituir as partes fundamentais de uma obra, deixando-a praticamente acabada (CAMPOS, 1989).

de produção, ou seja, aquele que dispõe de processos de produção flexíveis, nos quais os componentes são de origens diversas, conseqüentemente, de diferentes produtores (MAEOKA, 1970).

Nesta segunda geração tecnológica houve a necessidade de desenvolver um sistema de coordenação modular que possibilitasse que as peças, mesmo de diferentes produtores, apresentassem dimensões padronizadas, a fim de atenderem a vários projetos. E, paralelamente de um sistema de normas técnicas que garantissem a qualidade das edificações.

Atualmente, na Europa, a construção de edifícios à base de painéis pré-fabricados de concreto é balizada por normas, principalmente, ditadas pelo British Standards Institution –BSI– e pelo Centre Scientifique et Technique du Bâtiment – CSTB.

Já a evolução das pesquisas e desenvolvimento de novos processos construtivos pré-fabricados na América do Norte deu-se a partir das experiências das construções européias do Pós-Guerra. Em decorrência disso, segundo o American Concrete Institute –ACI–(1975), a construção utilizando elementos pré-fabricados de concreto para edifícios de múltiplos pavimentos só tornou-se viável após 1960.

O desenvolvimento tecnológico da construção pré-fabricada norte-americana aconteceu a partir do *benchmark*² europeu e, já na década de 60, foram fundadas associações como o Precast Concrete Association – PCI, que atuam até hoje e têm o objetivo de pesquisar e balizar o mercado com informações técnicas referentes à construção pré-fabricada, particularmente, aquela à base de painéis pré-fabricados de concreto (PCI, 1989).

No Brasil, tal como nos EUA e Canadá, não existiu uma crise aguda de falta de edificações em grande escala, como houve na Europa após a 2ª Guerra Mundial. No entanto, a preocupação com a racionalização e a “industrialização” de processos construtivos apareceu no final da década de 50.

Com o contínuo aumento populacional dos centros urbanos e, conseqüentemente, o crescimento do déficit habitacional, criou-se em 1966 o Banco Nacional da

² *Benchmarking*: consiste em identificar, em outras “empresas”, referências quanto à melhor forma possível para operar um processo ou solucionar um problema, buscando igualar ou superar o melhor desempenho conhecido (<http://www.cpgec.ufrgs.br/Norie/>).

Habitação – BNH. Sua finalidade era amenizar esse déficit, impulsionando o setor da construção civil, que detinha 5% do PIB do país, segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE (1987).

No início da sua atuação, o BNH adotou uma política de desestímulo a pré-fabricação no setor da habitação, tentando privilegiar a geração de empregos. E, na segunda metade dos anos 70, o banco adotou novas diretrizes para o setor, reorientando sua atuação para o atendimento das camadas de menor poder aquisitivo, passando a estimular (ainda que timidamente) a introdução de novas tecnologias, como a construção com elementos pré-fabricados de concreto.

Orientado para a busca de alternativas tecnológicas para a construção habitacional, o BNH e seus agentes patrocinaram a pesquisa e desenvolvimento de alguns processos construtivos à base de componentes pré-fabricados. E, organizaram a instalação de canteiros experimentais, como o de Narandiba, na Bahia, em 1978; o Carapicuíba VII, em São Paulo, em 1980; e o de Jardim São Paulo, em São Paulo, em 1981.

No entanto, a construção desses edifícios apresentou muitos problemas patológicos e de ordem funcional, acrescentando, em muito, o custo da sua manutenção e, por isso, alguns tiveram até que ser demolidos. Como exemplo, cita-se o conjunto habitacional Carapicuíba VII cujos painéis da fachada foram confeccionados com uma mistura de 60% de gesso com 40% de cimento, o que resultou num composto instável, parcialmente solúvel e que sofria degradação quando em contato com a umidade. Além da questão dos materiais inadequados utilizados nos componentes pré-fabricados, essa construção apresentou também falhas na execução que provocaram desaprumos e posicionamento incorreto das armaduras (ZENHA, 1993).

De acordo com Sabbatini (1989), uma das principais razões do insucesso desses campos experimentais foi não terem eles se originado de um processo de desenvolvimento tecnológico³ apropriado.

Os anos oitenta assistiram ao esgotamento do ciclo de expansão das atividades do subsetor edificações habitacionais, iniciado em 1964. O agravamento da crise econômica, no começo da década, pôs em cheque o modelo de política habitacional,

³ Desenvolvimento tecnológico é o processo de aperfeiçoamento de métodos, processos e sistemas construtivos, materiais e componentes, e técnicas de construção, de planejamento e controle das operações construtivas que representem uma inovação tecnológica para o setor. (SABBATINI, 1989)

que viabilizava o crescimento das atividades do setor da construção civil, ao abalar sua principal base de sustentação, o Sistema Financeiro de Habitação (FARAH,1992).

Segundo a Associação Brasileira de Construção Industrializada – ABCI (1980), não existiu no Brasil uma política de desenvolvimento tecnológico para o setor da construção industrializada. Assim, o que restou, até o início da década de noventa, se deve ao arrojo dos empresários interessados no avanço da industrialização, que buscavam redução de custos e maior agilidade no processo de execução. Por isso, até hoje, a utilização de processos construtivos pré-fabricados, tanto de elementos estruturais como de painéis de fechamento, é mais expressivo nas construções industriais, comerciais e em empreendimentos hoteleiros.

Na macro-metrópole de São Paulo, devido às modificações ocorridas na década de 90, especialmente, em relação à sua economia (antes de base industrial e, atualmente, de serviços), vêm crescendo a demanda por hotéis, flats e shopping centers. E, conseqüentemente, aumentando a entrada de novos investidores interessados em obras com grande velocidade de venda e execução que viabilizem seus investimentos.

Acrescenta-se a isso o fato de que, geralmente, os edifícios comerciais e hoteleiros exigem mais requinte nos acabamentos de suas fachadas, a fim de valorizar o empreendimento. Assim, ressurgiu o interesse de utilizar a tecnologia de painéis pré-fabricados de fachada para edifícios de múltiplos pavimentos que incorporam detalhes construtivos e revestimentos em seu acabamento: os chamados painéis arquitetônicos, que aumentam a velocidade de execução da construção e a qualidade estética do produto final.

A execução do primeiro empreendimento hoteleiro que utilizou painéis pré-fabricados arquitetônicos de concreto na cidade de São Paulo ocorreu em 1997. A partir de então vem crescendo sua utilização como alternativa ao emprego das alvenarias nas fachadas de edifícios de múltiplos pavimentos (CONSTRUÇÃO SÃO PAULO, 1997). A Figura 1-1 ilustra a fachada em painéis pré-fabricados arquitetônicos de concreto do edifício Blue Tree Towers Morumbi e a do conjunto Continental Square, ambos construídos na cidade de São Paulo.



a) Edifício Blue Tree Tower Morumbi

b) Conjunto Continental Square

Figura 1-1 –Fachadas em painéis pré-fabricados arquitetônicos de concreto

Ressalta-se que, apesar do primeiro empreendimento hoteleiro que utilizou essa tecnologia datar de 1997, a primeira obra considerada o “protótipo” da tecnologia, foi iniciada em 1993 (ARQUITETURA & URBANISMO, 1996).

1.2 JUSTIFICATIVA

A busca por processos construtivos inovadores, que contribuam para a melhoria da qualidade e eficiência no processo de produção do edifício, vem sendo constante. E foi incrementada pela crescente entrada de investidores estrangeiros no setor hoteleiro e comercial. Nunes (2001) estima que esses investidores injetarão por volta de 6 bilhões de dólares em empreendimentos hoteleiros, o que repercutirá diretamente no setor da construção civil.

Para todos os empreendimentos hoteleiros e comerciais em construção (e para os que ainda serão construídos) poderia ser bastante viável a utilização de painéis pré-fabricados arquitetônicos. Mas isso se, em escala nacional existissem bases científicas, empíricas, manuais técnicos, pesquisas e normas técnicas que fornecessem diretrizes para sua concepção, produção, montagem e manutenção e que pudessem garantir sua qualidade estética e funcional.

A falta de amadurecimento do setor e o conhecimento insuficiente dessa tecnologia desestimulam sua adoção ou levam ao não aproveitamento do seu potencial de incremento dos níveis de industrialização dos processos de produção da construção. Isto porque as práticas rotineiras e tradicionais acabam não sendo substituídas por recursos e métodos baseados em raciocínio sistêmico, que busquem eliminar a casualidade nas decisões.

Os painéis pré-fabricados arquitetônicos de concreto devem ser, como toda nova tecnologia a ser implantada, objeto de pesquisa e análise, para não resultarem em insucessos como os ocorridos com alguns edifícios do Pós-Guerra na Europa, que utilizaram elementos pré-fabricados de concreto em suas construções. É o caso dos edifícios “Ronan Point” e o “Towbridge Estate Londres”, que tiveram que ser demolidos por apresentarem falhas estruturais e falta de estanqueidade à água (KELLETT, 1993). E, também o do Conjunto Carapicuíba VII, em São Paulo, demolido no início dos anos noventa, devido a problemas funcionais.

Acrescenta-se, que o edifício Condomínio Ibirapuera, considerado o protótipo da utilização da tecnologia de painéis pré-fabricados arquitetônicos de concreto, também já apresentou alguns problemas, especialmente, em relação à estética e à estanqueidade, que levaram até à necessidade de pintar os painéis e trocar o material das juntas⁴.

Salienta-se também que, nos últimos quatro anos, pelo menos 500.000 m² (quinhentos mil metros quadrados) de fachada foram executados com a tecnologia construtiva de painéis pré-fabricados arquitetônicos de concreto na Grande São Paulo⁵ e, mesmo assim, projetistas, construtores e fornecedores ainda não entraram em consenso sobre os requisitos de desempenho que essas fachadas devem apresentar e como atendê-los. E, mais, baseado em que normas ou diretrizes devem ser elaborados esses projetos.

Ressalta-se também que o setor não tem idéia dos problemas que a tecnologia de painéis arquitetônicos poderá apresentar nos próximos dez anos. Primeiro, porque no Brasil, não se tem um histórico da sua utilização, pois a primeira obra executada com

⁴ (Entrevista com Mirriam Addor, em maio 2000)

⁵ Os dados sobre a metragem quadrada das fachadas construídas em painéis pré-fabricados arquitetônicos de concreto na Grande São Paulo encontram-se no ANEXO I deste trabalho.

tal tecnologia completou, no máximo cinco anos; e, segundo, porque não foi estabelecido especificações sobre como avaliar seu desempenho ao longo do tempo.

Em decorrência desses fatos, percebe-se a importância do desenvolvimento de pesquisas e análises aprofundadas que abordem a sistemática necessária à inserção de novas tecnologias no setor da construção civil brasileira.

Assim, este trabalho justifica-se como um meio de consolidar o domínio sobre a utilização de painéis pré-fabricados arquitetônicos de concreto. E de permitir uma análise comparativa que verifique a viabilidade técnica da adoção desses painéis como alternativa ao emprego da alvenaria ou de outros métodos construtivos utilizados na vedação vertical de fachadas de edifícios.

1.3 OBJETIVOS

O projeto de dissertação proposto tem como objetivo central sistematizar o conhecimento sobre a tecnologia construtiva de painéis pré-fabricados arquitetônicos em concreto armado para emprego nas fachadas de edifícios de múltiplos pavimentos.

A fim de atender ao objetivo central proposto neste trabalho, estabeleceram-se alguns objetivos específicos, tais como:

- a) Conceituar e caracterizar os painéis pré-fabricados arquitetônicos de concreto armado;
- b) Descrever os componentes que formam as vedações verticais de fachada escopo deste trabalho, quais sejam: o painel propriamente dito, as fixações e as juntas, em função dos seus critérios de desempenho;
- c) Apresentar alguns fatores a serem considerados nas etapas de elaboração de projetos, que condicionam o desempenho das fachadas em painéis pré-fabricados arquitetônicos de concreto;
- d) Apresentar alguns fatores, também a serem considerados nas etapas de elaboração de projetos, que condicionam a eficiência do processo de montagem dos painéis pré-fabricados arquitetônicos de concreto na estrutura do edifício;

- e) Exemplificar e analisar, por meio dos estudos de caso, a utilização da tecnologia de painéis pré-fabricados arquitetônicos de concreto no mercado brasileiro, mais especificamente na Grande São Paulo.

1.4 METODOLOGIA GERAL DO TRABALHO

O desenvolvimento deste trabalho teve três etapas:

- Levantamento de informações: nesta etapa foi realizada uma revisão bibliográfica com o objetivo de reunir informações sobre o tema. Foram feitas, também, objetivando obter informações adicionais, entrevistas e visitas à pelo menos cinco fornecedores de painéis pré-fabricados arquitetônicos de concreto (Stamp, Munte, Stone, Precon e Reago), à projetistas, às construtoras, aos sindicatos articulados com a construção industrializada e a pelo menos uma obra em execução de cada um desses fornecedores;
- Estudos de caso: Os estudos de caso foram realizados em duas obras de construtoras diferentes e, também, com diferentes fornecedores de painéis arquitetônicos, localizados na região da Grande São Paulo, buscando levantar dados sobre tipos de materiais adotados, requisitos de desempenho considerados para as fachadas, aspectos que interferiram na eficiência da montagem em canteiro e todos os demais aspectos tratados na revisão bibliográfica;
- Análise comparativa e considerações finais: Nesta etapa estabeleceu-se um paralelo entre os dados coletados na revisão bibliográfica e nas entrevistas e o observado nas obras estudadas, a fim de analisar as vantagens e desvantagens da utilização dos painéis pré-fabricados arquitetônicos de concreto.

1.5 ESTRUTURAÇÃO DO TRABALHO

Para o cumprimento dos objetivos propostos, a dissertação foi estruturada em seis capítulos, sendo este o relativo à introdução, que contém um breve histórico da construção pré-fabricada, a justificativa do tema, os objetivos e a metodologia

utilizada.

O Capítulo 2 apresenta a classificação das vedações verticais em painéis pré-fabricados de concreto e propõe uma definição do elemento construtivo que é o escopo de estudo deste trabalho. E, ainda, apresenta a descrição dos componentes que formam o elemento construtivo do subsistema vedação vertical de fachada, quais sejam: o painel, as fixações e as juntas.

O Capítulo 3 apresenta os fatores que devem ser contemplados na fase de concepção do edifício, como a análise e a elaboração de projetos que condicionam o desempenho do subsistema de fachadas em painéis pré-fabricados arquitetônicos de concreto. Os requisitos de desempenho definidos pelos “usuários”, abordados nesta dissertação, referem-se à segurança estrutural, à resistência ao fogo, à estanqueidade e à estética das fachadas.

No Capítulo 3 discutem-se diretrizes para elaboração de projetos das fachadas e no Capítulo 4 a discussão é direcionada para o planejamento da execução desse subsistema, objetivando apresentar alguns aspectos que também devem ser tratados na fase de elaboração de projetos, a fim de analisar a eficiência de execução, ou seja, a eficiência do processo de produção em canteiro, que diz respeito à montagem dos painéis.

Então, o Capítulo 04 trata de aspectos de montagem, abordando questões como: quando começar a instalação dos painéis; como ajustar a logística do canteiro de obras para otimizar movimentação de mão-de-obra e utilização de equipamentos; como os tipos de fixação interferem na produtividade da montagem e na otimização de equipamentos; quais os equipamentos de transporte vertical viáveis para cada tipo de obra e como locá-los no canteiro segundo seu raio de operação, além de outras questões relativas ao planejamento da montagem.

O Capítulo 05 apresenta uma descrição de como a tecnologia de painéis pré-fabricados arquitetônicos de concreto foi utilizada em duas obras do estudo de caso. A descrição dos métodos construtivos observados em obra será baseada na seqüência e conteúdo dos ítems dos Capítulos 2, 3 e 4. Faz-se, ainda neste capítulo, uma análise comparativa entre o observado nas obras dos estudos de caso e os conceitos e recomendações feitos a partir da revisão bibliográfica e das entrevistas contempladas

nos Capítulos 2, 3 e 4.

O Capítulo 6 é reservado às conclusões deste trabalho, que pretende expor os reais problemas e soluções da utilização da tecnologia construtiva de painéis pré-fabricados arquitetônicos de concreto.

2

VEDAÇÕES VERTICAIS EM PAINÉIS PRÉ-FABRICADOS ARQUITETÔNICOS DE CONCRETO: COMPONENTES DO SUBSISTEMA

O edifício pode ser definido como um sistema formado por um conjunto de subsistemas, constituídos de elementos combinados e organizados para servir a um objetivo comum.

A International Organization for Standardization – ISO – (1984) define elementos como sendo um agregado de componentes utilizados conjuntamente, e componente como um produto manufaturado em uma unidade distinta para servir a uma função.

Então, um conjunto de componentes agrupados forma um elemento e um conjunto de elementos constitui um subsistema. Um dos subsistemas que compõem o edifício é a vedação vertical que, segundo Agopyan (1978), é constituído por elementos que definem, compartilham e limitam espaços.

O presente trabalho tem como objeto de estudo o subsistema **vedação vertical** que utiliza como elemento construtivo os painéis pré-fabricados arquitetônicos de concreto. Desta forma, neste capítulo, apresenta-se uma classificação para as vedações verticais que utilizam esse elemento construtivo. Propõe-se, ainda, uma definição para o elemento construtivo, painel pré-fabricado arquitetônico de concreto (PPAC) e uma descrição dos seus componentes em função do seu desempenho.

2.1 CLASSIFICAÇÃO DAS VEDAÇÕES VERTICAIS

O subsistema vedação vertical tem, predominantemente, a função de criar, juntamente com as esquadrias e os revestimentos, condições de habitabilidade para o edifício, ou seja, de servir como mediadora entre os meios externo e interno do edifício, de modificar as condições interiores como requerido pelo usuário e, também, função estrutural e estética (ELDER, 1977).

E, segundo Sabbatini e Franco (2001), pode ser classificado:

a) quanto à posição no edifício:

→ Externa (de fachadas): vedação envoltória do edifício, sendo que uma das faces está sempre em contato com o meio ambiente externo ao edifício;

→ Interna: vedação interna ao edifício.

b) quanto à técnica de execução:

→ Por conformação: vedações obtidas por moldagem a úmido no local;

→ Por acoplamento a seco: vedações obtidas por montagem através de dispositivos de fixação (pregos, parafusos, rebites etc.);

→ Por acoplamento úmido: vedações obtidas por montagem a seco de componentes com solidarização posterior com argamassa ou concreto.

c) quanto à densidade superficial:

→ Leve: vedação de baixa densidade superficial. A Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT – (1990) expõe que são consideradas leves as vedações que estão num intervalo entre 60 e 100kg/m² e que não podem ter função estrutural;

→ Pesada: vedação com densidade superior ao limite convencional, pode ou não ter função estrutural.

d) quanto à estruturação:

→ Auto-suporte: não possui uma estrutura complementar, pois a vedação se auto-suporta;

→ Estruturada: possui uma estrutura reticular para suporte dos componentes de vedação;

e) quanto à continuidade do pano (em relação à distribuição de esforços):

→ Contínua: a absorção dos esforços se dá no pano como um todo;

→ Descontínua: a absorção dos esforços é feita pelos componentes (placas ou painéis) e distribuídos por entre a estrutura da própria vedação e, necessariamente, existem juntas entre os componentes, que podem ser aparentes ou não.

f) quanto à continuidade superficial (em relação à visibilidade das juntas):

→ Monolítica: sem juntas aparentes;

→ Modular: com juntas aparentes.

O subsistema de vedação vertical pode, ainda, ser classificado em função do grau de industrialização do seu processo de produção. Os processos com elevado grau de industrialização são considerados industrializados; os de grau intermediário, como tradicionais racionalizados, racionalizados ou, até mesmo, semi-industrializados (SABBATINI, 1989).

Este autor classifica os processos, de maneira geral, em:

Tradicionalis: *“baseados na produção artesanal, com uso intensivo da mão-de-obra, baixa mecanização com elevado desperdício de mão-de-obra, material e tempo (...)”*.

Racionalizados: *“aqueles que incorporam princípios de planejamento e controle tendo como objetivo eliminar desperdício, aumentar a produtividade, planejar o fluxo de produção e programar as decisões”*.

Industrializados: *“baseados no uso intensivo de componentes e elementos produzidos em instalações fixas e posteriormente acopladas no canteiro (...)”*, vinculados a todos os princípios de organização, planejamento e controle, visando eliminar desperdício, aumentar produtividade e, conseqüentemente, reduzir custos.

Desta forma, as vedações verticais em painéis pré-fabricados de concreto que formam o subsistema, escopo deste trabalho, classificam-se como: vedações de fachadas, obtidas por acoplamento a seco (Figura 2-1), consideradas pesadas, sem função estrutural, auto-suporte, descontínua e modular.

Ressalta-se que as vedações que se enquadram na classificação anterior deveriam ser

consideradas como industrializadas, pois, potencialmente, a tecnologia é assim considerada. Mas, essa classificação só é correta se ações organizacionais de planejamento e controle fizerem parte, tanto do processo de fabricação, quanto de execução (montagem), nos quais se alcancem elevada produtividade, baixo desperdício e baixo custo.

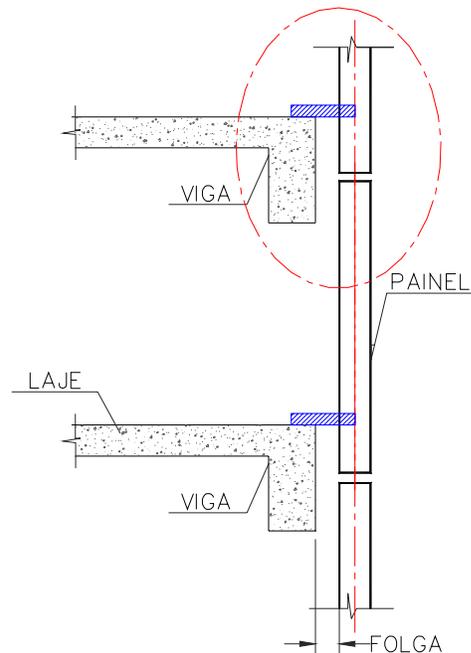


Figura 2-1– Esquema genérico da fixação dos painéis na estrutura

2.2 DEFINIÇÃO DOS PAINÉIS PRÉ-FABRICADOS DE CONCRETO ESCOPO DESTE TRABALHO

Com o objetivo de identificar e definir os elementos que compõem as vedações verticais escopo deste trabalho, propõe-se, primeiro, uma classificação que se refere ao **componente construtivo painel pré-fabricado de concreto**:

a) quanto ao formato geométrico da sua seção transversal, o American Concrete Institute – ACI – (1993) classifica os painéis em:

→ Maciços⁶: aqueles cuja seção transversal é constituída por apenas uma tipologia

⁶ A palavra maciço é sinônimo de compacto ou não oco, e componente compacto é aquele cujo volume aparente está todo preenchido (<http://www.uol.com.br/aurélio>)

de material, que ocupa todo o volume aparente da peça;

- Alveolares: aqueles cuja seção transversal é constituída de partes ocas (vazios) em todo o comprimento da peça;
- Sanduíches: aqueles constituídos de duas camadas de concreto separadas por um material não-estrutural com características de isolante térmico e ou acústico; e
- Nervurados: aqueles reforçados por um sistema de nervuras em uma ou duas direções da peça. A Figura 2-2 ilustra esses quatro tipos de formatos geométricos

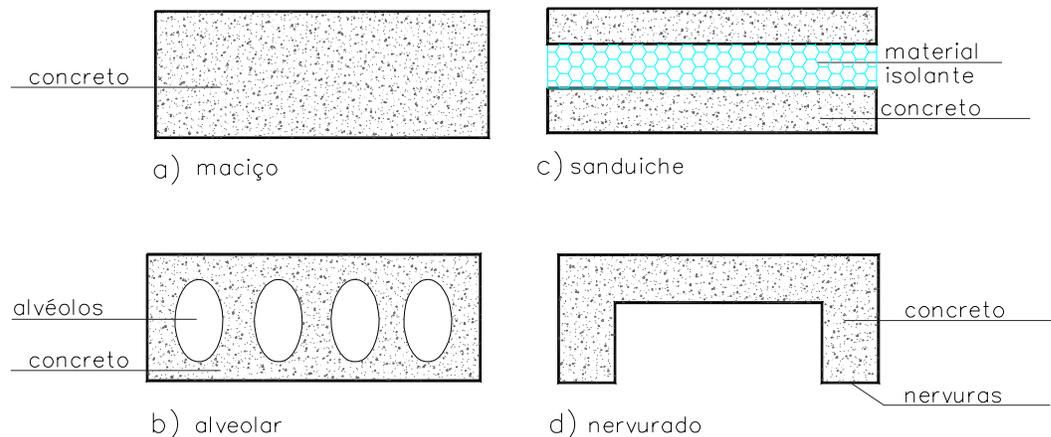


Figura 2-2 – Tipos de seção transversal do painel

b) quanto ao acabamento da sua face externa:

→ Sem revestimento:

- aparente (textura e cor natural do concreto).

→ Com revestimento, denominado pelo mercado de painel arquitetônico:

- pintado (textura e cor dadas por um revestimento de pintura);

- com revestimento incorporado no processo de moldagem; e

- com revestimento incorporado após a desforma dos painéis.

De acordo com Taylor (1992), a nomenclatura painel arquitetônico de concreto é uma adaptação do que há mais de cinquenta anos vem sendo chamado de “pedra

artificial” (*cast stone*) e que a BSI (1986) define como qualquer material manufaturado, composto de agregado e cimento, que objetiva imitar em aparência e ser utilizado como alternativa às pedras naturais.

Portanto, os painéis pré-fabricados de concreto em estudo podem ser maciços, alveolares, nervurados ou sanduíches, e têm revestimento em pelo menos umas de suas faces, sendo, por isso, denominados arquitetônicos.

Cabe também ilustrar algumas definições desse componente construtivo segundo algumas instituições internacionais:

O PCI (1989) define como painéis pré-fabricados arquitetônicos aqueles que se referem a uma unidade pré-fabricada em fôrma especial ou padronizada que, por meio de um tratamento em uma de suas faces, atinge um acabamento superficial que contribui para a arquitetura e acabamento do edifício. E expõe, ainda, que essas unidades podem ter função estrutural, de fechamento ou somente de recobrimento.

O ACI (1993) expõe que os painéis pré-fabricados arquitetônicos são de concreto, pré-fabricados, com formas e dimensões variadas, apresentando acabamento superficial com exposição de agregados decorativos, ou com placas de rocha.

O CSTB (2000) descreve como painéis pré-fabricados arquitetônico de concreto aqueles painéis com revestimento, não portantes, com seção transversal tipo sanduíche, empregados em vedação de fachadas, sem ligação rígida entre eles, possibilitando acomodação de movimentações, fabricados em concreto armado e fixados na estrutura por meio de dispositivos de fixação metálicos.

A BSI (2000) trata como sendo painéis pré-fabricados arquitetônicos aqueles painéis de fechamento que suportam seu peso próprio e resistem à pressão dos ventos e têm na face externa de suas peças outro material que não o concreto comum, o que dá um aspecto de acabamento final a essas peças.

Ressalta-se, no entanto, que o subsistema vedação vertical é composto de elementos que, por sua vez, são formados por componentes. Portanto, para definir o elemento

construtivo, objeto do presente trabalho, propõe-se uma segunda classificação que se refere à tecnologia não como um componente individual, mas como um **elemento** formado pelos componentes: painel, fixação e juntas. Assim, admite-se que:

O elemento painel pré-fabricado arquitetônico de concreto é aquele composto de unidades pré-fabricadas em fôrmas especiais ou padronizadas, com revestimento em pelo menos uma de suas faces, geralmente a externa, com função de fechamento, fixados na estrutura-suporte por meio de dispositivos de fixação metálicos, com presença de juntas entre as unidades, identificados neste trabalho pela sigla PPAC.

2.3 COMPONENTE PAINEL

As fachadas em PPAC são constituídas, basicamente, por três componentes: o painel propriamente dito, os dispositivos de fixação e as juntas. O painel, escopo deste item, é constituído de uma camada de concreto armado e de uma camada de revestimento e, eventualmente, de uma camada de isolante termo-acústico.

A camada de concreto armado é a base do painel e deve ser projetada para garantir um bom desempenho, ou seja: deve apresentar características que garantam seu isolamento térmico e acústico; sua segurança estrutural; sua resistência ao fogo; apresentar durabilidade compatível à do edifício do qual fará parte como componente do subsistema vedação vertical de fachadas.

Já a camada de revestimento pode contribuir no isolamento térmico e acústico do painel, no entanto, para os PPAC, sua principal função é estética.

A camada de isolamento termo-acústico, por fim, tem como função incrementar o desempenho em relação às exigências térmicas e acústicas. Mas, isto sem adicionar peso ao painel, pois é constituída de materiais com baixo peso específico, da ordem de 20kg/m^3 (caso do poliestireno expandido).

2.3.1 Camada de concreto

A camada de concreto é descrita de acordo com as características que deve apresentar para ter um bom desempenho . Abordam-se, também, neste item alguns aspectos relativos às técnicas de fabricação que interferem no desempenho do componente como, por exemplo, a resistência à compressão necessária para a desforma.

Ressalta-se que muitas vezes a camada considerada como de revestimento tem as mesmas características que a camada de concreto. Portanto, para essas situações, a análise deste item não se restringe somente à camada de concreto, mas ao painel como um todo.

Então, o painel deve ser projetado segundo alguns critérios que atendam aos requisitos de desempenho referentes à segurança, habitabilidade e durabilidade. Para tanto, propõe-se subdividir a análise em três grupos:

- requisitos que medem os níveis de segurança: capacidade estrutural e resistência ao fogo;
- requisitos que medem os níveis de habitabilidade: características térmicas e acústicas; e
- requisitos que medem os níveis de durabilidade, essencialmente, aqueles que contribuem para manter a integridade física do painel: composição do concreto armado e espessura de cobrimento das armaduras.

O primeiro grupo relaciona-se com as tensões limites que o componente painel suporta em condições normais de utilização e em situações de incêndio:

Quanto à capacidade estrutural: o componente painel pré-fabricado de concreto deve ser projetado para resistir às solicitações referentes a cada fase do seu processo de produção, ou seja: para as fases transitórias, que compreendem desde o endurecimento do concreto, desforma, armazenamento, transporte até a montagem; e para as fases definitivas, que correspondem àquelas após a efetivação das fixações do componente painel na estrutura suporte (PHILLIPS, 1998).E, principalmente, na etapa de desforma, o painel precisa apresentar uma resistência mínima de compressão que suporte as solicitações de tração a

que será submetido.

O PCI (1972) recomenda que a solicitação de tração na desforma não deve ultrapassar a metade da tensão de tração mínima do concreto aos 28 dias. Para avaliar a resistência à tração do concreto pode ser consultada a ABNT (2001), que propõe as correlações da Tabela 2-1 entre a resistência à compressão e a de tração, avaliada em corpos de prova segundo a ABNT (1994). Como exemplo desta recomendação tem-se: para um painel com resistência à compressão aos 28 dias de 35 MPa, e resistência à tração característica de 1,49 MPa, a tensão de tração na etapa de desforma não pode ultrapassar a $1,49/2$, ou seja a 0,75 MPa.

Tabela 2-1- Resistência à tração do concreto em função da resistência à compressão (ABNT, 2001)

Resistência à compressão aos 28 dias= fck (MPa)	Resistência à tração aos 28 dias $\sigma_d=0,30(fck)^{2/3}$ (fck em Kgf/cm²)
14,00	0,81
20,00	1,10
28,00	1,28
35,00	1,49
55,00	2,01

Geralmente, os componentes pré-fabricados em concreto são produzidos com cimento ARI⁷, que confere alta resistência inicial à peça, criando condições de desformá-la antes dos 28 dias. A resistência do concreto na desforma, quando se emprega cimento ARI, segue as proporções apresentadas na Tabela 2-2. Cabe expor que os valores da tabela relativos à resistência do concreto para cura normal foram obtidos em ensaios com temperatura em torno de 20°C.

⁷ Cimento ARI é um tipo de cimento que confere alta resistência inicial às peças.

Tabela 2-2 - Estimativa de resistência do concreto para a desforma (EL DEBS,2000)

Cimento ARI com cura normal				
Dias	1	3	7	28
f_{cj}^8/f_{ck}	0,3-0,5	0,6-0,8	0,8-0,9	1
Cura a vapor				
0,6 a 0,8 de f_{ck} para ciclo usual de 15 a 20 horas de cura a vapor				

Quanto à resistência ao fogo: os ensaios de resistência ao fogo de componentes são realizados segundo a análise de dois aspectos: o do comportamento estrutural; e o da transmissão de calor (American Society For Testing and Materials – ASTM, 2000).

O comportamento estrutural é analisado em função da capacidade da peça em manter sua integridade física durante uma situação de incêndio. Essa integridade depende muito mais das características físicas do concreto do que da armadura propriamente dita. Pois as armaduras são projetadas para absorver as tensões atuantes nas etapas de desforma, transporte e montagem, que são mais intensas do que quando o painel está fixado em seu local definitivo. Em muitos casos, nesta fase definitiva, somente a resistência à tração do concreto já é suficiente para absorver as tensões atuantes. Portanto, se a armadura escoar, devido a temperaturas elevadas, ainda assim o painel não perderá sua integridade física (PCI, 1989).

Assim, a armadura do painel não é um fator de extrema importância para manter a integridade deste na sua fase definitiva. No entanto, recomenda-se respeitar os seus valores de cobrimento mínimo, a fim de retardar a exposição das barras de aço à ação térmica.

Desta forma, são as características físicas do concreto que devem manter a sua integridade, ou seja, impedir a sua desagregação. Uma das formas de desagregação do concreto, quando submetido a temperaturas elevadas, são os lascamentos explosivos, que estão relacionados ao comportamento da pasta de cimento, geralmente, devido à ação combinada da pressão nos poros e das tensões térmicas internas induzidas pelo aumento de temperatura (TENCHEV; PURKISS, 2001). No entanto, esse assunto não é

⁸ f_{cj} =resistência à compressão, em que j é a variável dias, por exemplo resistência à compressão ao 3º dia.

objeto de estudo do presente trabalho e é discutido em maiores detalhes por Costa *et al.*(2002) e Nince (2002).

Portanto, para este trabalho, a análise de maior relevância passa a ser a da transmissão de calor, pois o aumento de temperatura entre o ambiente interno e externo depende, principalmente, da espessura e dos tipos de agregado do painel (PCI, 1989).

A Tabela 2-3 mostra a relação entre os tempos de resistência ao fogo do painel em função das suas espessuras e do tipo de agregado utilizado.

Tabela 2-3 - Resistência ao fogo de painéis de concreto maciço (PCI, 1974; PCI, 1989)

Tipo de agregado	Espessura em função da resistência ao fogo (mm)			
	1 hora (60min)	2 horas (120min)	3 horas (180min)	4 horas (240min)
Agregados tipo III	67	96	117	136
Agregados tipo II	83	120	146	168
Agregados tipo I	88	127	156	179

Consideram-se como agregados tipo III, os agregados leves como a argila expandida e a vermiculita.
 Consideram-se agregados tipo II as pedras calcárias
 Consideram-se agregados tipo I os quartzos, granitos e basaltos

Geralmente, além do agregado da camada de concreto, deve-se considerar o material da camada isolante, se este painel for tipo sanduíche, ou seja, aquele constituído de duas camadas de concreto separadas por um material não estrutural com características de isolante térmico.

Em relação ao painel com seção transversal tipo sanduíche, pode-se afirmar que a fumaça tóxica causada pela queima da camada isolante, se esta for de poliestireno expandido, é praticamente eliminada quando esse material está completamente revestido pelas camadas de concreto (PCI, 1989).

A análise da Tabela 2-4 do Grafico 2-1 e da Equação 1-2 fornece o tempo de resistência ao fogo de um painel sanduíche em função da sua espessura, do tipo de agregado

utilizado e do material isolante, em que T é o tempo requerido de resistência ao fogo de todo o componente em minutos, e T₁ e T₂ para cada camada de material diferente.

Tabela 2-4 - T₁^{0.59} em função do tipo de material isolante (PCI, 1989)

Material	T ₁ ^{0.59}
Material termoplástico tipo poliestireno (>25mm)	2.5
Ar	3.33
50mm de espuma de vidro	10.6

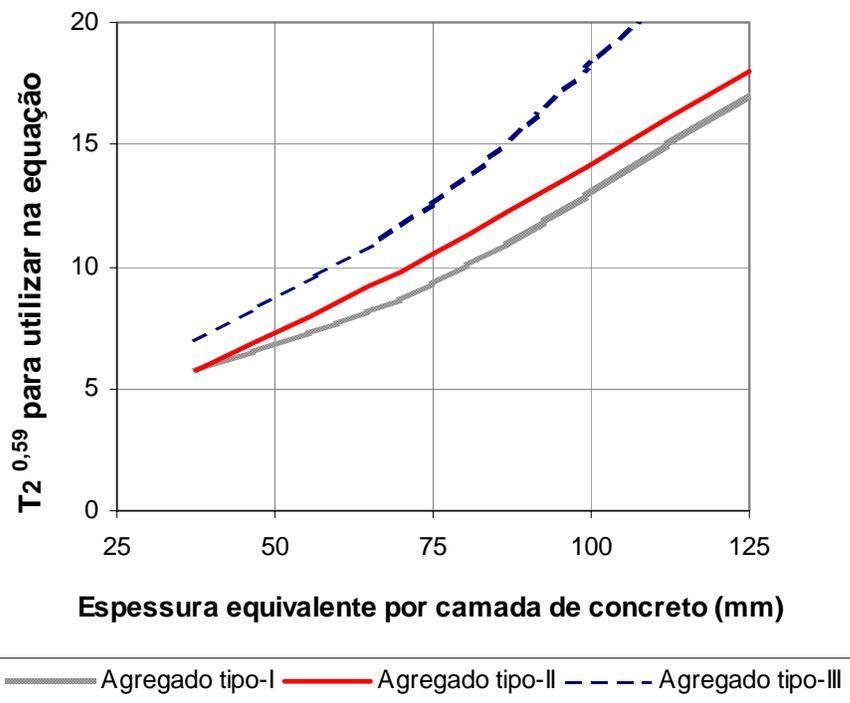


Gráfico 2-1– T₂^{0.59} em função da espessura e do agregado da camada de concreto (PCI, 1974; PCI, 1989)

Equação 1-2 -T^{0.59} em função do material isolante e da espessura e do tipo de agregado da camada de concreto em minutos

$$T^{0.59} = (T_1^{0.59} + T_2^{0.59} + T_3^{0.59})^{1.70}$$

O segundo grupo relaciona-se com as características que o componente painel deve apresentar para atender aos níveis mínimos de habitabilidade, cujos requisitos de desempenho são relativos às características acústicas e térmicas:

Quanto às características acústicas: de acordo com Baring (1998), o dimensionamento quanto ao isolamento acústico para o padrão Classe A e B⁹ não deve ser menor do que 45 e 40dB, respectivamente, para as fachadas. Desta forma, os componentes que formam o elemento de fachada e contribuem para o isolamento acústico devem ser projetados dentro dessa faixa.

Segundo Harris (1994), cada vez que duplica a espessura de um componente (qualquer tipo), sua CTSA (classe de transmissão de som aéreo) aumenta 5 pontos. Por exemplo: se uma parede de 75mm tem CTSA de 47, duplicando sua espessura para 150mm esse valor alcança 52. A Tabela 2-5 mostra uma correlação entre a espessura dos painéis e sua CTSA, e o Grafico 2-2 mostra uma correlação entre o peso dos painéis por unidade de área e sua CTSA.

Tabela 2-5 - Classe de transmissão de som aéreo em função da espessura do componente (HARRIS, 1994)

Descrição	Espessura (mm)	CTSA
Painel de concreto	100	49
	150	55
Painel de concreto alveolar	150	48
	200	58

⁹ Classe A corresponde a hotéis de primeira linha próximos ao aeroporto e Classe B a quase totalidade dos imóveis comerciais e residenciais (BARING, 1998).

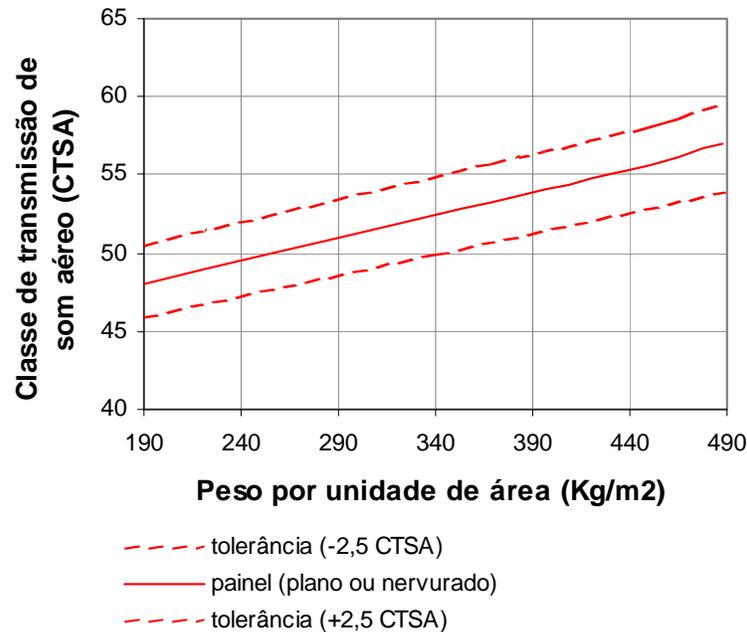


Gráfico 2-2 – CTSA em função do peso por unidade de área (PCI, 1989)

Quanto às características térmicas: neste caso, tanto as espessuras como os materiais constituintes da camada de concreto influem nas características térmicas do componente. Classificam-se os componentes em bom, médio ou péssimo isolante térmico em função do seu coeficiente global de transmissão térmica (K)¹⁰. A ABCI (1990) expõe que componentes mediamente isolantes apresentam um K num intervalo entre 1 e 1,8 Watt/m²°C. A Tabela 2-6 mostra os valores de K para alguns tipos de painel

¹⁰ K= característica térmica de grande importância que mede a capacidade do material ao ser atravessado por um fluxo de calor induzido por uma diferença de temperatura entre duas faces de um componente (FROTA & SCHIFFER, 1999).

Tabela 2-6 - Valores do coeficiente global de transmissão térmica para o componente painel (Calculo demonstrado no Anexo-II)

Descrição	Espessura	(K) (Watt/m ² °C)
Painel maciço de concreto comum ¹¹	150	3,84
	200	3,46
Painel maciço de concreto com argila expandida	150	2,85
	200	2,44
Painel alveolar	150	0,25
Painel sanduíche com duas camadas de concreto e uma de material isolante tipo poliestireno expandido	200	0,28

Além do coeficiente global de transmissão térmica (K), é interessante analisar o amortecimento térmico, pois a inércia térmica em componentes de concreto é elevada, existindo um atraso térmico maior¹² que em componentes fabricados com outros materiais, o que é um fator positivo que pode contrabalançar com os valores elevados do K.

Desta forma, recomenda-se uma análise global do projeto, em que se considere outras variáveis como inércia térmica do componente, localização e particularidades da edificação.

O terceiro grupo relaciona-se com a capacidade do componente painel em manter sua integridade física sem necessidades de reparos de alto custo ao longo de sua vida útil. Propõe-se que esse requisito seja determinado pela análise de pelo menos dois fatores:

- Composição, traço do concreto e características do aço da armadura; e
- Cobrimento ou espessura do concreto sobre as armaduras.

Em relação ao primeiro fator, expõe-se que o concreto é composto de cimento, agregado

¹¹ Neste trabalho, considera-se concreto comum aqueles feitos com agregado de pedras calcárias

¹² Atraso térmico é o tempo que o fluxo de calor leva para atravessar um parâmetro, atrasando a transmissão daquele de um ambiente em relação a outro. É dado em horas (ABCI,1992).

gráudo e miúdo, e que a escolha do cimento é função do valor da resistência inicial necessária para viabilizar a desforma e içamento das peças num intervalo mínimo de seis (6) horas e máximo de dezoito (18) horas. Por isso, na maioria dos casos, utiliza-se cimento de alta resistência inicial, denominado cimento ARI (PCI, 1989).

A escolha dos agregados é feita, principalmente, em função de suas dimensões e tipo. A maioria das misturas contém agregados com dimensão máxima característica inferior a 20mm e com teor de finos suficiente para garantir acabamento superficial adequado. Os agregados mais utilizados são granitos, basaltos e calcários (PEREIRA, 2001).

Por fim, o aço carbono comum é utilizado como armadura da camada de concreto e é responsável por colaborar ativamente na capacidade do painel resistir a:

- (a) ações atuantes;
- (b) tensões provenientes da desforma, armazenamento, transporte e montagem; e
- (c) movimentações devidas à retração por secagem e deformações térmicas.

Cabe destacar, também, a importância da relação água-cimento para a composição do concreto, já que ela influencia diretamente as características de permeabilidade e porosidade do material. Estas, por sua vez, afetam o desempenho do componente quanto à sua estanqueidade e características de resistência mecânica, que afetam a segurança estrutural. Com relação à estanqueidade, Freedman (1999) recomenda que a camada de concreto do painel deve apresentar baixa absorção capilar e baixa permeabilidade, o que pode ser alcançado com uma relação água-cimento menor ou igual a 0.4.

E, em relação ao segundo fator, a espessura de cobrimento das armaduras, este deve ser analisado em função da agressividade da atmosfera e da segurança estrutural. O Projeto de Revisão da ABNT (2000) propõe, para atmosferas de média e forte agressividade (atmosfera urbana e industrial), um cobrimento mínimo de 25 e 35 mm, respectivamente. A Construction Industry Research Information – CIRIA – (1992) recomenda, para painéis pré-fabricados de concreto com fator água/cimento em torno de 0,55, um cobrimento de 40mm. Freedman (1999), por sua vez, recomenda para componentes pré-fabricados em concreto com resistência à compressão de 35MPa, com

armadura em aço que apresente boa resistência à corrosão, um revestimento mínimo de 20mm.

Portanto, como no Brasil, a maioria dos componentes de concreto é feita com aço carbono, cuja resistência à corrosão é baixa, com fator água-cimento num intervalo entre 0,4 e 0,5, recomenda-se que o revestimento mínimo das armaduras, em função da agressividade da atmosfera, obedeça a valores no intervalo entre 30 e 40mm.

É interessante ressaltar que a definição da espessura do painel deve ser dimensionada não só em função dos requisitos de desempenho anteriormente descritos, mas também, em função da capacidade do equipamento de transporte utilizado tanto na etapa de desforma (equipamento disponível na fábrica - pórticos) quanto na montagem em canteiro (equipamento de transporte vertical - guindaste fixo e/ou móvel).

Portanto, para a definição das dimensões e, conseqüentemente, do peso dos painéis, é recomendável ter conhecimento da capacidade do equipamento da fábrica e do equipamento a ser utilizado no canteiro.

2.3.2 Camada de Revestimento

A camada de revestimento pode ser classificada de acordo com a sua função, com as condições de exposição, com o material constituinte da camada de acabamento, com o acabamento superficial e com as técnicas de execução.

No caso do **componente painel**, a camada de revestimento pode apresentar diferentes tipos de acabamentos superficiais que variam conforme as técnicas de execução (ARCHITECTURAL PRECAST ASSOCIATION - APA, 2000). Propõe-se uma classificação da camada de revestimento do componente painel em função do seu processo de execução:

- Revestimento incorporado na moldagem: é a camada de revestimento que é executada juntamente com a camada de concreto na própria forma do painel. Pode ser executada em micro concreto, argamassa ou ser a própria camada de

concreto que, após desforma, recebe em sua superfície tratamento com jato de água ou areia, gerando acabamentos superficiais rugosos com baixa, média ou elevada exposição do agregado, brilhosos ou opacos. A Figura 2-3 ilustra os acabamentos superficiais rugosos de baixa, média e elevada exposição do agregado.

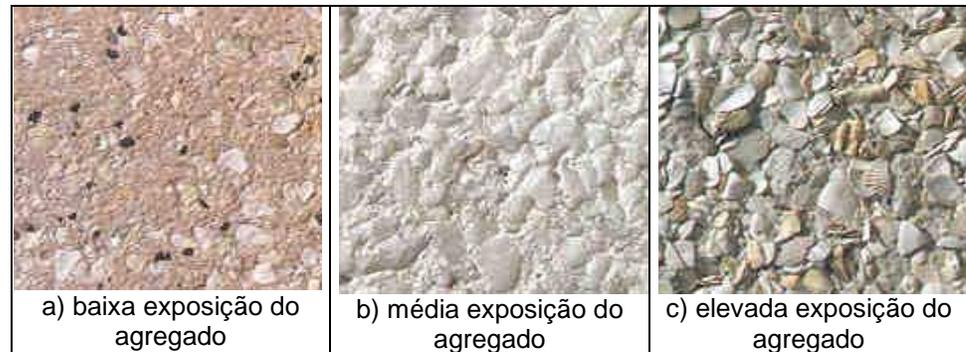


Figura 2-3 – Acabamentos superficiais do componente painel (APA, 2000)

→ Revestimento incorporado posteriormente: é a camada de revestimento executada depois da desforma do painel e pode, basicamente, ser de três tipos: em placas de rocha ou cerâmica, fixadas na camada de concreto com argamassa colante ou com dispositivos de fixação; em revestimento de argamassa; e revestimento de pintura.

A especificação da camada de revestimento do componente painel depende de análises que contemplem, primeiramente, as funções que esta camada deverá exercer e as condições de exposição ao longo de sua vida útil.

A partir dos critérios definidos dessa primeira análise, faz-se uma segunda, em que se busca obter a aparência requisitada pelo empreendedor, arquiteto e construtor, por meio da confecção de algumas amostras da camada de revestimento.

Essas amostras, preparadas pelos fornecedores de PPAC, são o resultado das combinações entre os processos de execução, os tratamentos superficiais e os materiais da camada de revestimento, em especial, variando a cor da pasta de cimento e as cores e tamanhos dos agregados. Isto permite obter acabamentos de baixa ou elevada

rugosidade, cores claras ou escuras, brilhantes ou opacas.

É sempre importante ressaltar que a tonalidade das cores não é uma constante, e que é influenciada pela luz, sombra, umidade, temperatura e outros fatores presentes no ambiente. Por isso, as amostras devem ser analisadas, tanto em ambientes úmidos quanto secos, simulando todas as condições a que o painel estará exposto. Além disso, deve-se estabelecer tolerâncias em relação às cores e suas tonalidades, a fim de condicionar o aceite ou não das peças (O uso de aparelhos, como os colorímetros, pode ser bastante interessante).

De acordo com alguns dos fornecedores de PPAC, a diferença entre as tonalidades das cores dos painéis em ambientes secos e úmidos é amenizada quando se utiliza cimento branco. Os cimentos, geralmente, são cinza ou branco e apresentam tonalidades que dependem da sua procedência.

Se a uniformidade da cor é essencial, recomenda-se que o cimento utilizado para a produção dos PPAC, para uma mesma obra, tenha sempre a mesma procedência e com a mesma granulometria. Pois os cimentos com maior teor de finos são, em geral, mais claros do que os com granulometria mais graúda, mesmo tendo composições químicas semelhantes. A relação água-cimento também influencia na cor, pois a pasta com relação água-cimento menor é, muitas vezes, mais escura do que a pasta com relação água-cimento maior. (PCI,1989).

Outro fator que contribui para a coloração da pasta de cimento da camada de revestimento é o percentual de pigmentos que a ela será adicionado. Segundo a ASTM (1998), os pigmentos são adicionados às pastas de cimento para obter cores que não são alcançadas somente com a mistura cimento - agregado. Geralmente, esses pigmentos são inorgânicos, à base de óxidos sintetizados, nas cores vermelho, amarelo, verde, azul, marrom e preto.¹³

A quantidade de pigmento utilizada é função da quantidade de cimento na pasta. Os diferentes percentuais de pigmento em relação ao peso do cimento produzem a variação

¹³ <<http://www.bayer.com.br/contentbf/home.nsf>> Acesso, 10/04/2002.

da tonalidade das cores. E quanto maior a concentração, mais escura a cor. No entanto, altas percentagens de pigmento reduzem a resistência do concreto devido ao alto teor de finos introduzidos na mistura, recomendando-se evitar que esse percentual ultrapasse 5% do peso do cimento (PCI,1989).

Recomenda-se também que os agregados, graúdo e miúdo, utilizados na camada de revestimento, denominados agregados decorativos, tenham a mesma procedência. E para melhor uniformização da cor, o ACI (1993) recomenda uma proporção de 1:3 entre agregado miúdo e graúdo.

Cabe expor, ainda, que a coloração final não depende apenas da combinação entre cimento, agregados e pigmento, mas também do tratamento superficial dado ao painel, que proporcionará desde superfícies com baixa rugosidade até superfícies com agregados expostos (elevada exposição dos agregados).

Segundo o PCI (1989), três fatores também devem ser considerados durante a escolha dos tipos de acabamento superficiais dos PPAC:

- Área da superfície: geralmente agregados graúdos não podem ser utilizados em áreas muito pequenas pois, quanto maior o agregado, mais difícil de acomodá-lo em quinas e contornos de uma peça;
- Escala de Visibilidade: é representada pela distância máxima da fachada da qual ainda se consegue visualizar o acabamento superficial do painel. Este fator é diretamente influenciado pelo tamanho do agregado, como ilustra a Tabela 2-7; e
- Orientação da fachada do edifício: esta orientação determina a quantidade e direção da luz a que a superfície do painel estará exposta.

Tabela 2-7 - Escala de visibilidade do agregado exposto na superfície do PPAC (PCI,1989)

Diâmetro do agregado (mm)	Distância máxima em que a textura ainda é visível (m)
6,30-12,50	6,00 – 9,00
12,50 –25,00	9,00 –21,00
25,00-50,00	21,00 –35,00
50,00-75,00	35,00 –50,00

Conclui-se, para a camada de revestimento, que esta deve ser projetada levando-se em conta as funções que deverá cumprir, sua vida útil, sua viabilidade econômica, processos de execução, cor da pasta de cimento, cores e tamanhos dos agregados e tratamentos que proporcionarão os acabamentos superficiais da peça.

2.4 DISPOSITIVOS DE FIXAÇÃO

De acordo com El Debs (2000), as ligações são as partes mais importantes no projeto das estruturas de concreto pré-fabricado. Elas são de fundamental importância, tanto para o processo de produção, quanto para o comportamento da estrutura montada.

No caso dos PPAC, essas ligações são, também, de extrema importância. E são denominadas **dispositivos de fixação** ou **fixações**, uma vez que os painéis são fixados à estrutura suporte.

Os dispositivos de fixação são os responsáveis pela interação painel - estrutura. São eles que garantem a segurança estrutural do painel no edifício, devendo ser projetados levando-se em consideração os fatores que condicionam seu desempenho, durabilidade e aspectos de construtibilidade.

De acordo com Castilho *et al.* (1998), os dispositivos de fixação dos PPAC têm a finalidade de suportar o peso próprio dos painéis, as tensões devidas ao vento e, ainda, absorver certas movimentações diferenciais.

Então, o propósito das fixações é transferir as cargas provenientes do painel para a estrutura-suporte, promovendo a estabilidade do conjunto, e absorver certas movimentações diferenciais entre painel e estrutura. Para tanto, as fixações devem

apresentar alguns requisitos de desempenho que garantam seu funcionamento, tais como:

- Resistência mecânica: resistência às forças de vento, às variações volumétricas do próprio painel e às movimentações diferenciais entre a estrutura suporte e o painel;
- Ductilidade, ou seja, capacidade de sustentar um percentual de deformações plásticas sem perda significativa de resistência; e
- Resistência à corrosão.

Os critérios que atendem a esses requisitos são, de modo geral, discutidos no Capítulo 3, uma vez que são também responsáveis por garantir a segurança estrutural das fachadas em PPAC. No entanto, a classificação das fixações segundo seu material constituinte e segundo sua função (tipos) também interfere no cumprimento desses requisitos de desempenho.

2.4.1 *Materiais*

Os materiais mais utilizados nos dispositivos de fixação dos PPAC são os metais, devido, principalmente, às suas propriedades de resistência mecânica e ductilidade. Existe uma grande variedade de metais, que se diferenciam pela sua composição química, podendo ser caracterizados como metais mais ou menos nobres e, conseqüentemente, mais ou menos propensos à corrosão.

Geralmente, os principais metais utilizados para compor os dispositivos de fixação dos painéis são: o aço carbono (que pode ser revestido por galvanização ou eletrodeposição de metais como o zinco), o aço aclimável ou patinável e o aço inoxidável.

Os aços carbonos são aqueles que não contêm elementos de liga. Podem ser divididos em baixo, médio e alto carbono, sendo os de baixo carbono os mais recomendáveis para a construção civil. O principal deles é o ASTM-A36, que corresponde, nas normas brasileiras, ao NBR 6648/CG-26 (perfis soldados) e ao NBR 7007/MR-250 (perfis

laminados), com resistência ao escoamento de 250MPa ¹⁴.

Os aços patináveis, também denominados de aços de baixa liga sem tratamento térmico, são aqueles que recebem elementos de liga, com teor inferior a 2%, suficientes para adquirirem resistência ao escoamento maior que 300MPa e boa resistência à corrosão. Os principais são: COS-AR-COR 500, COS-AR-COR 400, USI-SAC-350 e USI-SAC-250. Não existem os correspondentes em normas brasileiras¹⁵

Os aços inoxidáveis são um grupo de ligas ferrosas resistentes à corrosão que contêm baixo teor de carbono e, no mínimo, 12% de cromo. Os aços inoxidáveis são classificados em três grupos, de acordo com a microestrutura básica formada, em Martensítica, Ferrítica e Austenítica. Os austeníticos são os mais utilizados na construção civil por sua elevada resistência à corrosão e por possuírem boa resistência mecânica. Os principais são o ABNT 301, 302, 304, com resistência ao escoamento de 280MPa, e os 201 e 202 com 315MPa (TEBECHERANI, 2002).

Portanto, os projetistas de PPAC devem escolher os metais dos dispositivos de fixação em função da sua resistência mecânica, da sua resistência à corrosão e de uma análise econômica comparativa entre as possibilidades existentes.

2.4.2 Tipos de fixações

Segundo o PCI (1989) e o Reescrete Industries PTY – REESCRETE – (2000), os princípios que regem a elaboração dos projetos de fixação dos painéis são relativamente fáceis. Na maioria das vezes, são fixados por quatro pontos: dois suportam o peso próprio do painel, enquanto outros dois suportam as forças laterais e possíveis movimentações diferenciais entre painel e estrutura. O PCI (1989) subdivide essas fixações, segundo suas funções, em três tipos:

14 <<http://www.lmc.ep.usp.br/people/valdir/PEF5736/materiais/materiais.html>>, Acesso (28/06/02)

15 <<http://www.lmc.ep.usp.br/people/valdir/PEF5736/materiais/materiais.html>>, Acesso (28/06/02)

- a) Fixações de alinhamento, aquelas responsáveis por impedir o deslocamento relativo entre os painéis e contribuir para alinhar o painel na montagem. Esse tipo de fixação pode ser aparafusada ou soldada, como ilustra a Figura 2-4;

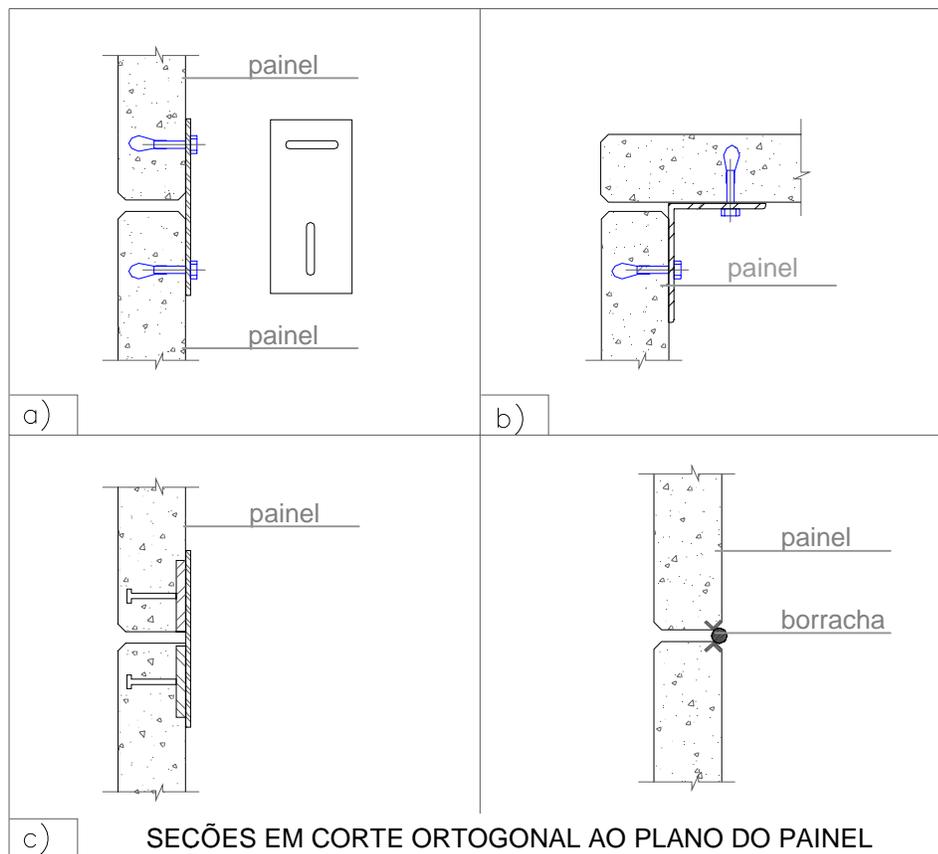
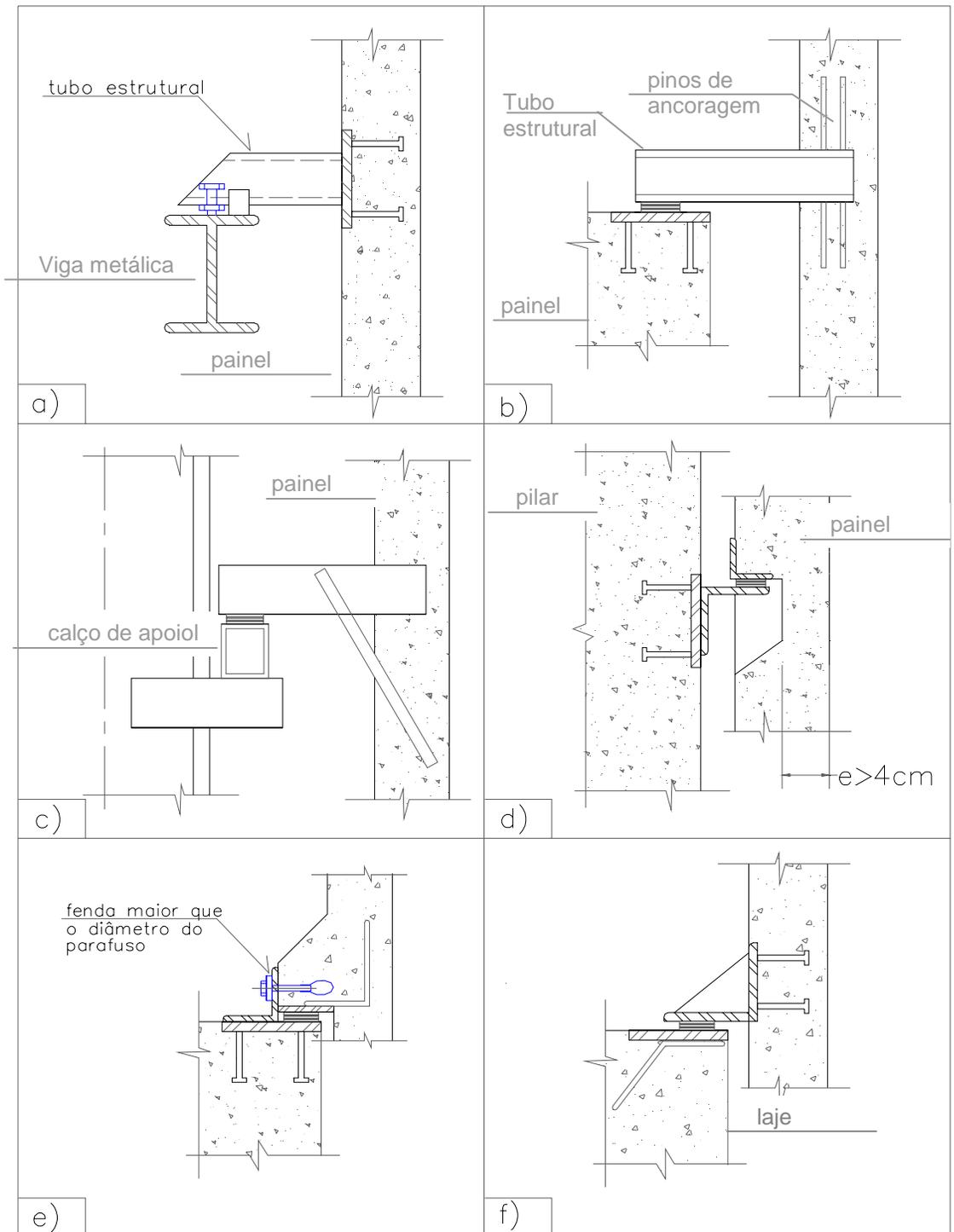


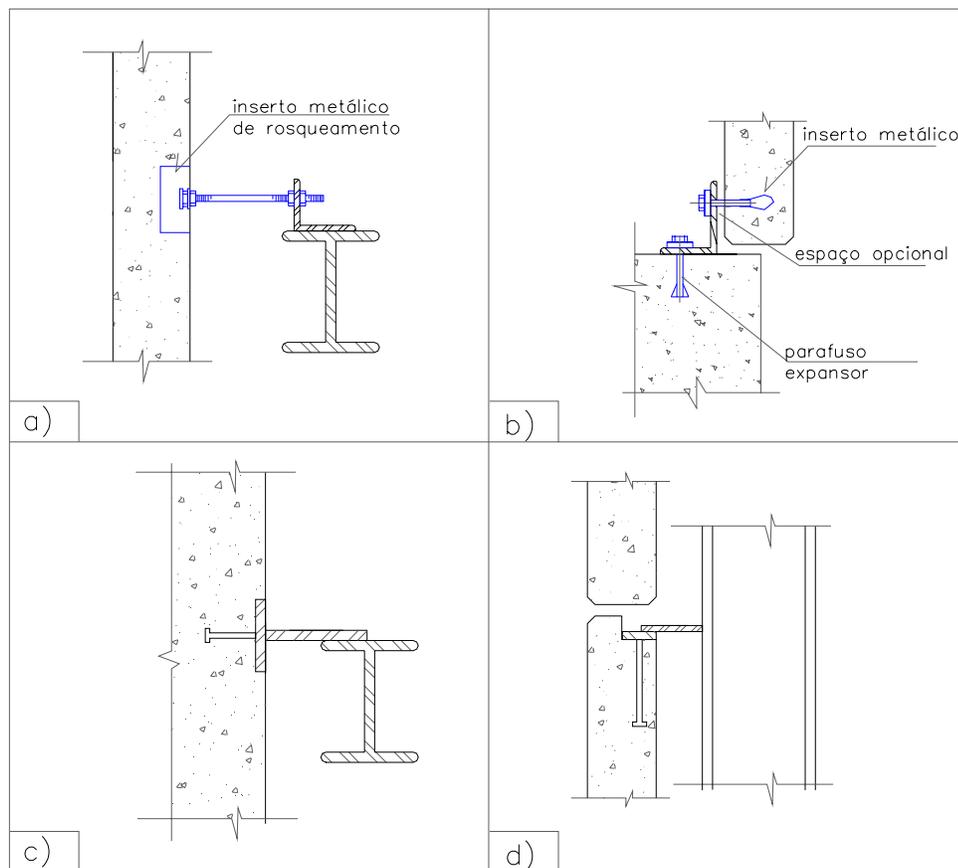
Figura 2-4 –Fixações de alinhamento (PCI, 1988)

- b) Fixações de apoio vertical, aquelas responsáveis pela transmissão do peso próprio do componente painel para a estrutura suporte. Essas fixações podem ser soldadas e ou aparafusadas. A Figura 2-5 ilustra alguns tipos possíveis de fixações de apoio vertical; e



SEÇÕES EM CORTE ORTOGONAL AO PLANO DO PAINEL E EM VISTA LATERAL;
 Figura 2-5 - Fixações de apoio vertical (PCI, 1988)

- c) Fixações de apoio lateral, aquelas responsáveis por transmitir as forças horizontais devidas à ação do vento. A Figura 2-6 ilustra alguns tipos possíveis de fixações de apoio lateral, que também podem ser aparafusadas e ou soldadas.



SEÇÕES EM CORTE ORTOGONAL AO PLANO DO PAINEL

Figura 2-6– Fixações de apoio lateral (PCI, 1988)

Na maioria das vezes, as fixações de apoio lateral são projetadas para também servirem como fixações de alinhamento.

2.4.2.1 Fixações aparafusadas

As fixações aparafusadas, geralmente, são simples e práticas, conseqüentemente,

umentam a eficiência da montagem dos PPAC. Essa vantagem decorre do fato de que a fixação poder ser feita imediatamente, quando a peça for colocada no seu local definitivo; e porque os ajustes e alinhamentos finais podem ser feitos depois, sem a necessidade de imobilizar equipamentos de transporte vertical.

O sistema de fixações aparafusadas pode ser dividido em dois grupos: os pré-ancorados (*cast in place*), nos quais os dispositivos metálicos são colocados na fôrma do painel antes da concretagem; e os pós-ancorados (*post-installed*), em que os dispositivos de fixação são instalados após a peça ter sido concretada.

Os dispositivos pré-ancorados podem ser divididos em dois tipos: os internos (ancorados ao concreto), em formatos de presilhas, abertas ou fechadas; e os externos, em formato de haste ou parafusos, que serão aparafusados nessas presilhas, como ilustra a Figura 2-7 a), b) e c) respectivamente.

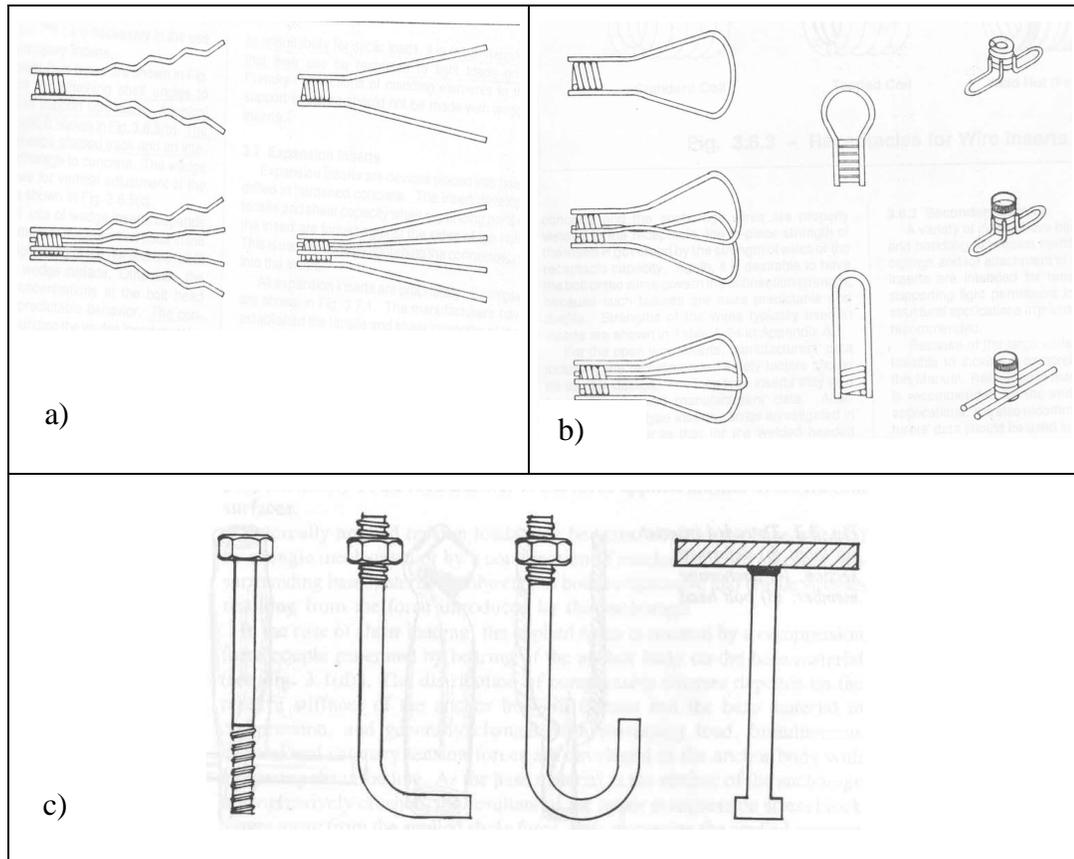


Figura 2-7 – Dispositivos metálicos pré-ancorados (PCI, 1988; Comitê Euro-International du Béton- CEB, 1994)

Taylor (1992) recomenda que os dispositivos de fixação pré-ancorados internos devem estar, no mínimo, 75mm afastados da borda da peça e com profundidade de imersão no concreto de, no mínimo, 75mm, como é representado pela Figura 2-8.

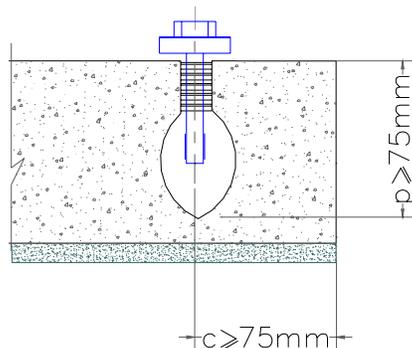
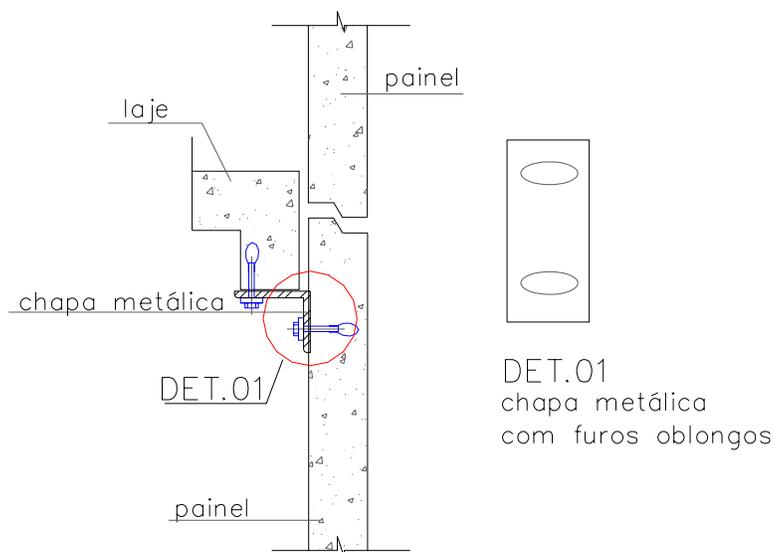


Figura 2-8 – Ancoragem mínima dos dispositivos de fixação pré-ancorados no painel (Taylor, 1992)

A fim de possibilitar ajustes de montagem e a acomodação de alguma movimentação diferencial entre painel e estrutura, as fixações aparafusadas devem permitir certa movimentação na direção vertical e na horizontal. Isto é conseguido utilizando-se uma combinação entre parafusos e hastes (varetas) rosqueadas em ancoragens com fendas (furos oblongos) maiores que os diâmetros estabelecidos para esses parafusos, como ilustra a Figura 2-9 (PCI, 1988).



CORTE ORTOGONAL AO PLANO DO PAINEL

Figura 2-9 – Detalhe de chapa metálica com furos oblongos

Já os dispositivos pós-ancorados podem ser colocados nos pré-furos feitos com brocas por rosqueamento ou por energia de impacto. Esses dispositivos são chamados de

chumbadores de expansão e introduzem cargas de tensão no concreto, principalmente, por fricção.

Para o caso dos PPAC, não é recomendada a utilização de chumbadores de expansão que utilizem energia de impacto (ACI, 1993). A Figura 2-10 ilustra um esquema em corte de chumbadores de expansão por rosqueamento.

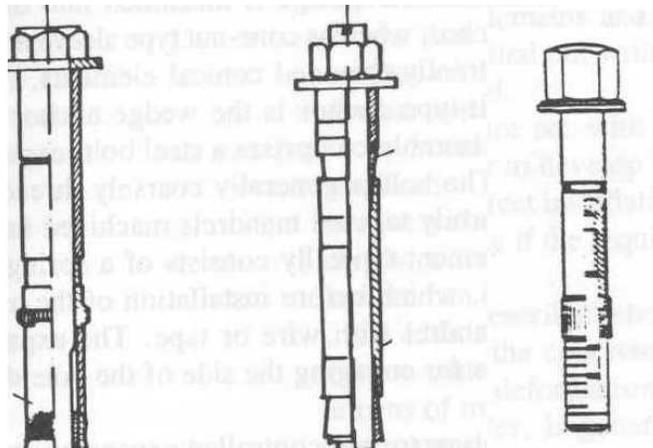


Figura 2-10 – Parafusos de expansão (CEB,1994)

2.4.2.2 Fixações soldadas

As fixações soldadas são eficientes e facilmente ajustáveis a várias situações. O desempenho estrutural e a durabilidade da solda dependem da habilidade da mão-de-obra e da compatibilidade entre os materiais que serão soldados.

O desempenho da solda deve ser especificado em projeto por meio de critérios que especifiquem o tipo de solda, tamanho (dimensões), resistência, localização, tipo de eletrodo, aquecimento mínimo e, se crítico, a seqüência de soldagem (PCI, 1989).

As soldas podem ser classificadas de acordo com o processo físico envolvido na transformação, como ilustra a Figura 2-11.

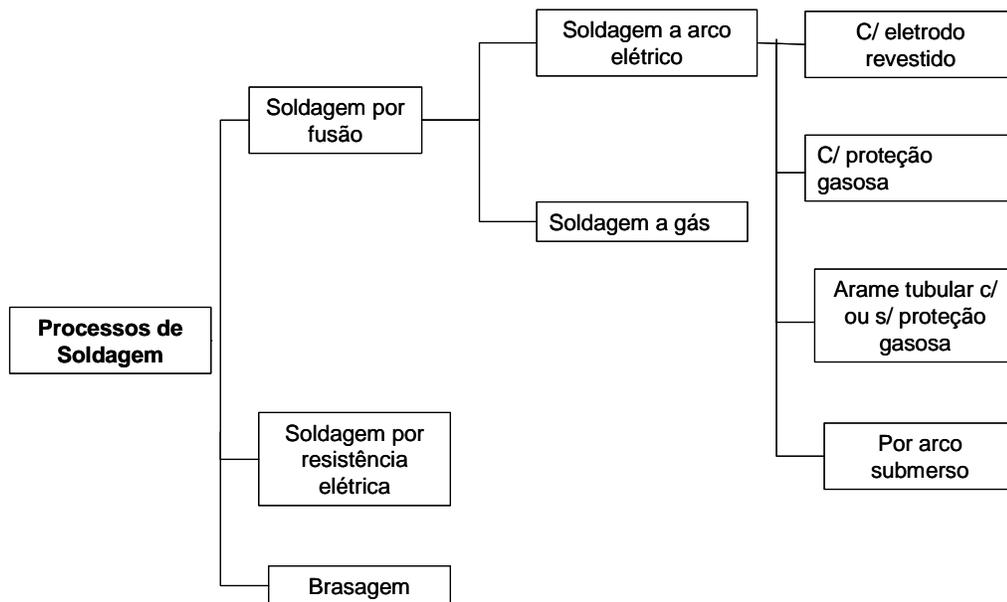


Figura 2-11- Processos de soldagem (Cardoso, 1988)

De acordo com Cardoso (1988), a qualidade do processo de solda é função da combinação de três fatores: temperatura, tempo e pressão. E cada um dos processos, por fusão, por resistência elétrica e por brasagem caracteriza-se pela maior ou menor participação de cada um desses fatores (temperatura, tempo e pressão). Por exemplo: o processo por fusão caracteriza-se pela maior participação do fator temperatura, através do fornecimento de quantidades elevadas de energia.

O presente trabalho trata somente das soldagens por processo de fusão por arco elétrico com eletrodo revestido, pois é o processo de solda mais utilizado na fixação dos PPAC na estrutura das obras brasileiras.

Drapinski (1979) coloca que existem dois tipos de soldagem através de arco elétrico: o que utiliza o arco entre o eletrodo e a peça apenas como fonte de calor (eletrodo não consumível) e o que gera e transfere o material do eletrodo para a área de soldagem (eletrodo consumível).

Os processos de soldagem por fusão mais utilizados na fixação dos painéis na estrutura são aqueles que utilizam eletrodos consumíveis. A escolha do tipo de eletrodo consumível mais adequado depende das diferentes situações, como, por exemplo,

variação do tipo e do tamanho da junta a ser soldada e da posição da soldagem. A Figura 2-12 ilustra as diferentes posições em que uma peça pode ser soldada.

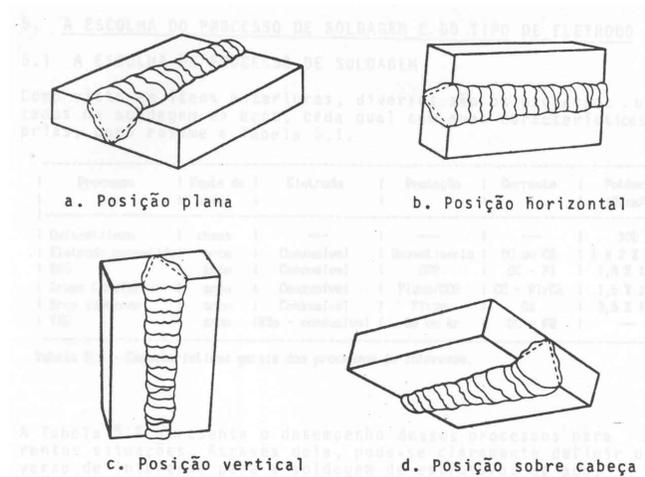


Figura 2-12 – Posição da solda (HICKS, 1987)

Resumindo: para a definição do tipo de eletrodo, alguns parâmetros devem ser levantados previamente, tais como:

- as características físicas e químicas do metal-base;
- o tipo da junta e do seu desenho;
- a posição de soldagem;
- as características dos equipamentos utilizados e;
- as características adicionais desejadas do metal depositado.

Um dos maiores problemas da fixação por solda é como fazer o seu controle garantindo a durabilidade, segurança estrutural e construtibilidade do processo. A inspeção na solda consiste, basicamente, da análise do cordão de solda, do material-base, do tipo de chanfro, do eletrodo mais adequado à soldagem e das temperaturas de pré-aquecimento (HICKS, 1987).

Outro cuidado a ser tomado é na soldagem de aços galvanizados (zincados por imersão a quente), pois, além do eletrodo ter, obrigatoriamente, que ser compatível com o metal-base (utilizando um de mesma composição química do metal-base ou com adição de

metais mais nobres), o controle operacional deve ser mais rigoroso, comparativamente com aços comuns não zincados.

Resumindo, as fixações dos PPAC podem ser, segundo suas funções, de três tipos, ou seja, aquelas que têm a função de suportar o peso próprio do painel, ou de absorver as cargas laterais e movimentações diferenciais da estrutura e do próprio painel, ou de alinhar o painel na montagem. E podem ser executadas por aparafusamento e/ ou solda. Entretanto, tanto os parafusos quanto os eletrodos das soldas devem ser compatíveis com o metal-base dos dispositivos de fixação. Além do cuidado com a seleção dos materiais que formam os dispositivos, é necessário analisar a construtibilidade dessas fixações, sua durabilidade e se atendem, ou não, aos seus requisitos estruturais.

2.5 JUNTAS

Martin (1977) explica que toda construção é formada pela união de vários elementos e entre eles formam-se as juntas. No caso dos PPAC, as juntas constituem a linha de separação entre painéis.

As juntas, particularmente as situadas entre painéis, devem ser o mais estanque possível, sem, com isso, criar uma monolitização do conjunto. Ao contrário, espera-se que não propaguem as tensões provenientes de movimentações, tanto dos painéis como da própria estrutura suporte, para elementos adjacentes, evitando a introdução de tensões adicionais nos próprios painéis (TAYLOR, 1992).

Desta forma, as juntas devem ser projetadas segundo alguns critérios que atendam aos requisitos de desempenho relativos à estanqueidade à água e ao ar, e à capacidade de absorver deformações sem introduzir tensões extras nos painéis. O estabelecimento desses critérios depende da análise do tipo de junta, da seleção dos materiais selantes e do estabelecimento das dimensões mínimas das juntas.

A análise, dos materiais selantes e do dimensionamento das juntas direciona o estabelecimento de critérios que cumpram, não só, com o desempenho funcional da

própria junta mas, principalmente, com a estanqueidade das fachadas em PPAC. Por isso, essa análise é feita no Capítulo 3.

E, neste item, propõe-se analisar os tipos de juntas, através de uma classificação em função: da sua localização, vertical ou horizontal; do seu preenchimento, abertas, seladas ou coladas; e do seu formato geométrico, justapostas ou sobrepostas.

2.5.1 Quanto à localização

As juntas, como ilustra a Figura 2-13, podem ser verticais ou horizontais.

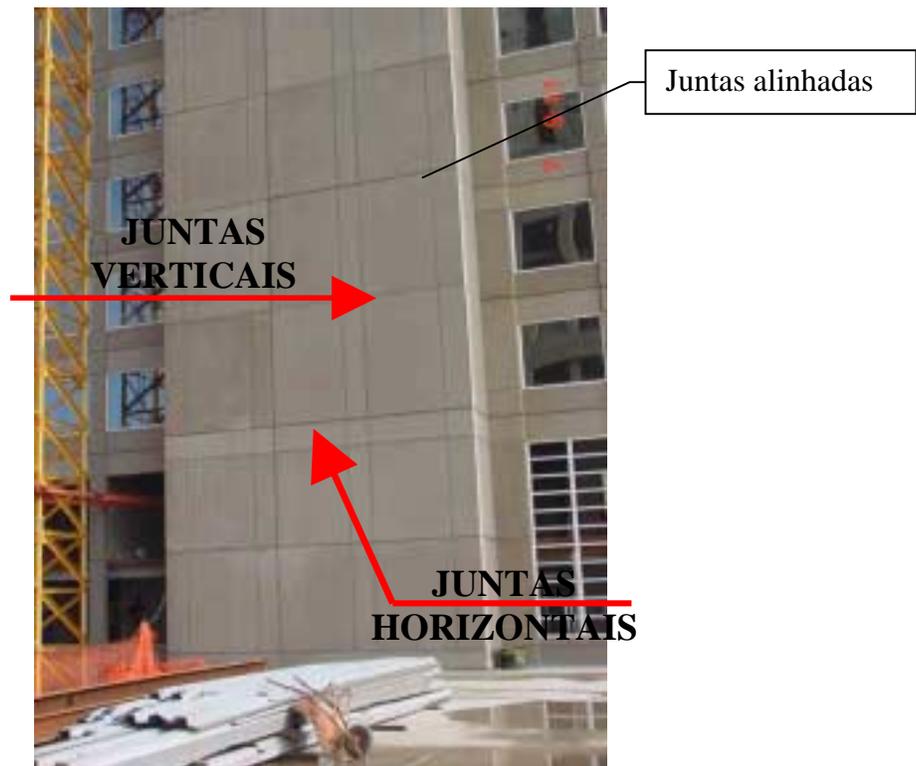


Figura 2-13- Juntas entre PPAC (Mondial Business Hotel, Pça IV Centenário-Guarulhos- S.P.)

Ressalta-se que a localização das juntas é um fator que afeta diretamente a sua capacidade de ser mais ou menos estanque; a produtividade da mão-de-obra, relacionada à facilidade do seu preenchimento com material selante; e sua capacidade de absorver movimentações sem dissipar tensões.

As juntas são simples de preencher se estiverem localizadas nas extremidades, tanto da espessura quanto do comprimento, do painel. E, se houver algum tipo de nervura nos painéis, recomenda-se que as juntas estejam próximas dessas nervuras e das bordas. A Figura 2-14 exemplifica que o painel que apresenta nervuras deve ter um formato geométrico em U, pois, além de facilidades construtivas, incrementa seu comportamento estrutural (PCI,1989).

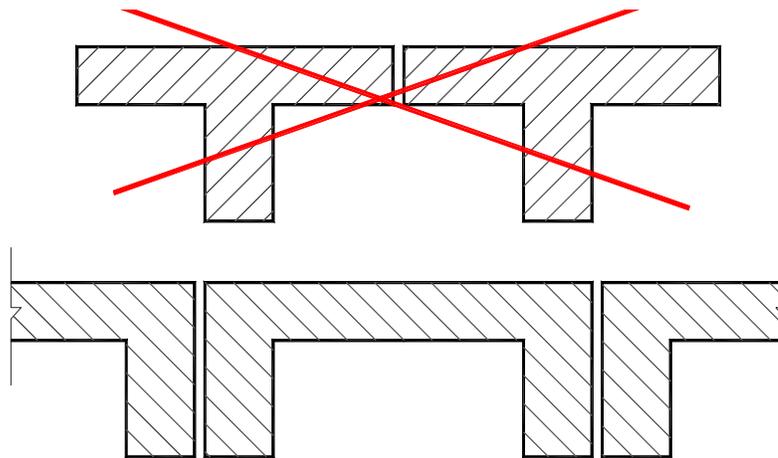


Figura 2-14 – Seção dos painéis com nervura

Deve-se, ainda, evitar juntas em superfícies inclinadas e, também, no meio da abertura de vãos, pois, nestes casos, fica difícil criar formas geométricas, tanto das juntas quanto do próprio painel, que conduzam a água de chuva para fora da face da fachada e da esquadria (Figura 2-15).

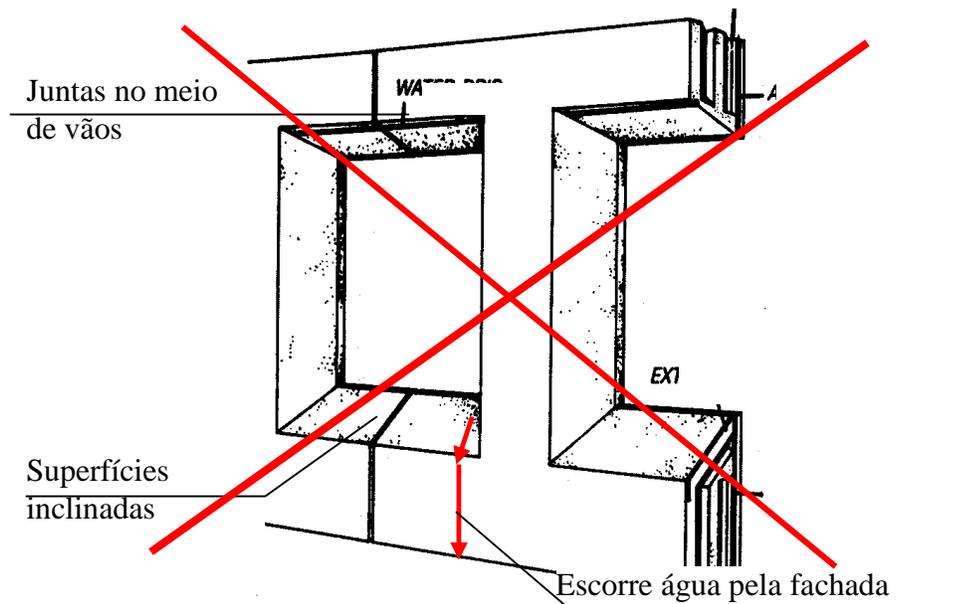


Figura 2-15 – Juntas no meio de vãos e em superfícies inclinadas (PCI,1989)

2.5.2 Quanto ao preenchimento e ao formato geométrico

Em relação ao preenchimento das juntas, tem-se: as juntas abertas, aquelas cuja própria geometria e ou introdução de um dispositivo de drenagem garante a sua estanqueidade à água; as juntas seladas, aquelas preenchidas por um material selante que contribuirá com a sua estanqueidade e formará uma descontinuidade no conjunto, atenuando a dissipação de tensões para os elementos adjacentes; e as juntas coladas, aquelas preenchidas com um tipo de material colante que criará uma monolitização entre os componentes, dissipando tensões para os elementos adjacentes (MARTIN,1977; WOOLMAN, 1994; FREITAS,1999).

As juntas abertas podem também ser de drenagem quando utilizam sua geometria e um dispositivo de drenagem (obturadores flexíveis) para evitar o acúmulo da água de chuva e da umidade nos painéis de concreto, e para impedir a penetração de água e ar no interior da edificação. A Figura 2-16 ilustra um dos possíveis esquemas de juntas de drenagem.

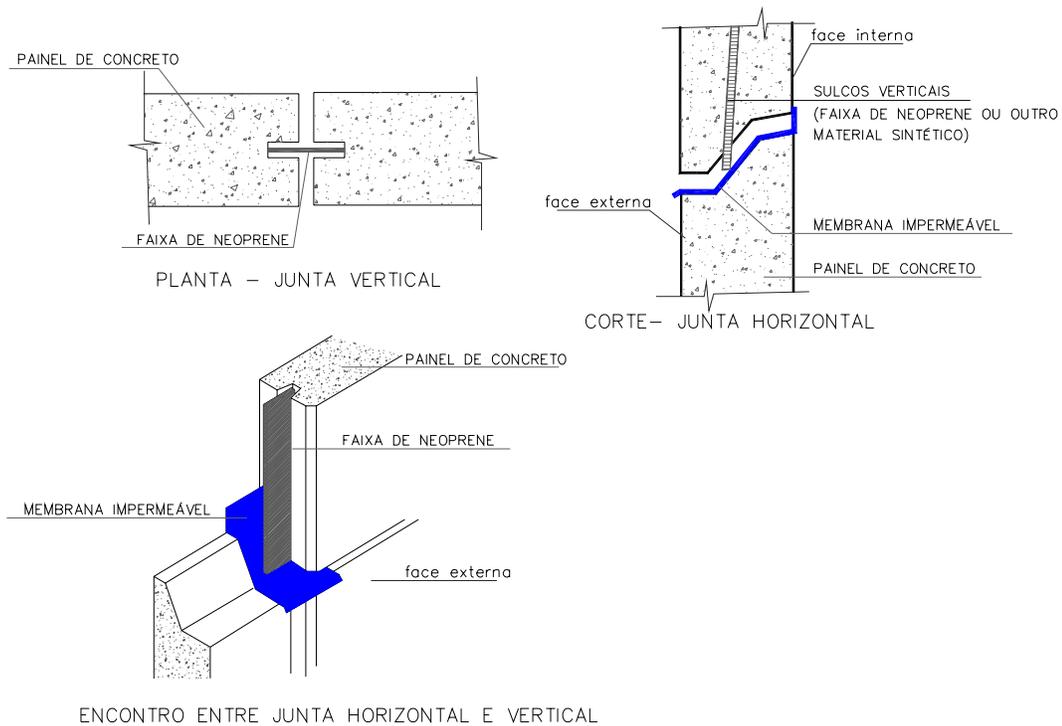


Figura 2-16 – Esquema de juntas de drenagem (MARTIN, 1977)

Como ilustrado na Figura 2-16, as juntas de drenagem são obtidas por meio da sobreposição de bordas horizontais somadas à existência de sulcos verticais, onde são posicionadas faixas de neoprene, que funcionam como uma barreira estanque à água. E, no encontro entre as juntas horizontais e verticais há uma membrana impermeável (borracha butílica ou manta betuminosa) que auxilia na garantia da estanqueidade (BROOKES, 1998).

Já em relação às juntas seladas, pode-se dizer que sua estanqueidade é basicamente garantida por um material de preenchimento, denominado selante, e por sua geometria (justapostas ou sobrepostas), podendo ainda ser classificadas em dois tipos: as de um estágio e as de dois estágios.

As juntas de um estágio apresentam só uma linha de defesa porque, geralmente, têm um formato geométrico simples, justapostas, com presença de selante somente em uma de suas bordas. A Figura 2-17 ilustra as juntas justapostas de um estágio.

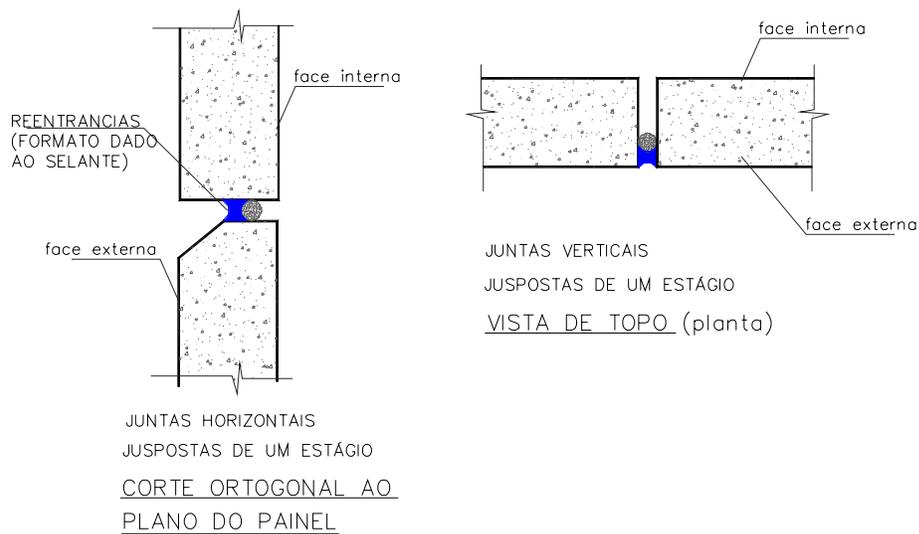


Figura 2-17 – Juntas classificadas como de um estágio (PCI,1989)

Segundo o PCI (1989), esse tipo de junta apresenta algumas desvantagens:

- uma pequena falha do selante pode permitir que a água penetre, por capilaridade ou por pressão diferencial, no interior do edifício, porque a geometria da junta não contribui muito para que a água seja desviada; e
- o selante estará exposto aos agentes de deterioração atmosféricos como os raios ultravioletas, umidade, variação de temperatura e outros.

As juntas de dois estágios, por sua vez, são baseadas na idéia de criar um anteparo à água de chuva por meio do seu próprio formato geométrico (sobrepostas) e da presença de selantes em uma ou duas de suas bordas, tendo condições de apresentar duas linhas de defesa¹⁶ a favor da estanqueidade à água de chuva e ao ar, como ilustra a Figura 2-18.

¹⁶ Entende-se no presente trabalho como linhas de defesa o caminho por onde tanto a água quanto o ar devem percorrer antes de penetrar a face interna do painel

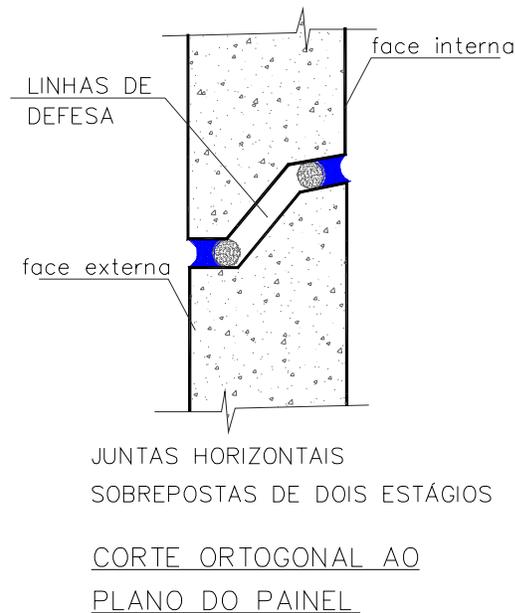


Figura 2-18 - Juntas classificadas como de dois estágios (PCI,1989)

O PCI (1989) expõe também algumas desvantagens em relação às juntas de dois estágios:

- necessidade de maior cuidado na etapa de montagem, evitando quebras e retrabalho, visto que as quinas ficam mais vulneráveis; e
- maior dificuldade em aplicar os selantes, particularmente, os da face interna do painel, e maior dificuldade de reaplicação, numa possível etapa de manutenção.

Então, além da seleção dos materiais selantes e do dimensionamento da junta (assunto tratado no Capítulo 3), o tipo de junta, que é função da sua classificação (horizontal ou vertical, justapostas ou sobrepostas, de um ou dois estágios), apresentada neste item, também influencia no seu desempenho de ser mais ou menos estanque à água e ao ar e de ter maior ou menor capacidade de absorver deformações.

3

DIRETRIZES DE PROJETO PARA FACHADAS EM PAINÉIS PRÉ-FABRICADOS ARQUITETÔNICOS DE CONCRETO: FATORES QUE CONDICIONAM O DESEMPENHO

Ao se projetar um edifício, os fatores que condicionam o seu desempenho são um dos primeiros aspectos a serem discutidos, pois é essa discussão que balizará, empírica e cientificamente, a escolha dos elementos construtivos.

A análise desses fatores é tarefa complexa, que exige critério, pois é necessária, inicialmente, a identificação das características que os elementos devam possuir para atender à finalidade a que se destinam, ou seja, devem-se definir os requisitos de desempenho para o atendimento às exigências humanas (AGOPYAN, 1978).

Esse autor destaca ainda que, após a identificação qualitativa das características de desempenho de um elemento, a etapa seguinte é a da quantificação dessas características, na qual se criam subsídios (critérios) para a elaboração das especificações de projeto.

A ISO (1984) expõe que os requisitos e os critérios de desempenho devem ser atendidos por um produto, expressos em níveis de segurança, habitabilidade e durabilidade, e propõe que a análise de desempenho seja sistêmica e realizada por meio de quatro ações principais:

- identificação da funcionalidade do edifício;
- definição do subsistema e suas funções;
- definição dos requisitos mínimos de desempenho exigidos para o atendimento das necessidades humanas; e

- definição dos agentes de degradação mecânicos, eletromagnéticos, térmicos, químicos e biológicos que afetam a durabilidade do elemento construtivo.

Partindo da premissa de que a funcionalidade do edifício foi identificada e de que a fachada é o subsistema objeto desse trabalho, direciona-se, então, a análise dos fatores que condicionam o desempenho desse subsistema para a identificação das suas funções e dos requisitos mínimos que devam atender. Como tratado no Capítulo 2, as fachadas têm função ambiental, de servir como mediadora entre os meios externo e interno do edifício, de modificar as condições interiores como requerido pelo usuário, e têm também função estrutural e estética (ELDER, 1977).

Para atender a essas funções de forma satisfatória e dentro de uma durabilidade especificada (seja a prescrita por normas, como a BSI (1992), ou pelos usuários), é necessário que o subsistema, no caso de fachadas, seja projetado segundo alguns critérios que garantam o cumprimento dos requisitos de desempenho especificados, qual sejam:

- segurança estrutural: estabilidade estrutural em relação às cargas mecânicas e resistência ao intemperismo;
- resistência ao fogo: estabilidade estrutural, estanqueidade às chamas e aos gases, e isolamento térmico;
- estanqueidade: ser estanque às águas de chuva e ao vento;
- estética: ter superfície adequada para escoamento das águas de chuva e apresentar detalhes construtivos que impeçam o manchamento dessas superfícies;
- características térmicas: apresentar inércia térmica do vedo, analisada segundo coeficientes de amortecimento e condutibilidade térmica; e
- características acústicas: não propagar o som e, principalmente, isolar acusticamente o ambiente interno do externo.

Para avaliar o conforto térmico e acústico das fachadas em PPAC além das

características térmicas e acústicas do componente painel (discutidas no item 2.2) é necessária uma avaliação mais global, levando-se em consideração as juntas, os elementos de vedação adicionais, o sistema de ar condicionado, o ambiente em que o edifício está inserido e uma série de outras variáveis. Isto torna o estabelecimento de critérios para a sua avaliação um tanto complexa. Por isso não será abordada neste item, ficando como recomendação para trabalhos futuros.

Neste capítulo pretende-se, então, apresentar e analisar possíveis critérios e especificações que quantifiquem os requisitos de desempenho relativos à segurança estrutural, resistência ao fogo, estanqueidade e estética, a fim de contribuir para elaboração dos projetos de fachadas em que o componente painel pré-fabricado arquitetônico de concreto, os dispositivos de fixação e as juntas formam o elemento construtivo desse subsistema.

3.1 SEGURANÇA ESTRUTURAL

A segurança estrutural do elemento painel pré-fabricado arquitetônico de concreto (PPAC) depende do próprio componente painel, discutido no item 2.2 e, principalmente, dos dispositivos de fixação, pois são estes que garantem a estabilidade do painel na estrutura suporte.

Desta forma, a segurança estrutural do painel depende das características estruturais dos dispositivos de fixação metálicos analisados em função das cargas mecânicas e da sua disposição na estrutura suporte, do material utilizado (no caso os metais) e da resistência desse material ao intemperismo, principalmente em relação à corrosão, que afeta a durabilidade do dispositivo e, conseqüentemente, a segurança estrutural da fachada.

3.1.1 *Considerações estruturais*

As características estruturais devem ser analisadas segundo dois aspectos: o primeiro, relativo às cargas mecânicas e às movimentações possíveis de serem absorvidas; e o segundo, relacionado à localização dos dispositivos metálicos na estrutura suporte. Esses dois aspectos serão tratados conjuntamente, pois, na maioria das vezes, um é função do

outro.

O Levitt (1982), o PCI (1989) e o RESCRETE (2000) sugerem que algumas recomendações devem ser seguidas para evitar a ocorrência de problemas que impeçam que a fixação cumpra com as suas funções, quais sejam:

- Os painéis de fechamento devem ser apoiados (pendurados) nas lajes ou vigas de cada pavimento, para facilitar a etapa de montagem; e
- As fixações dos painéis devem ser ajustáveis às tolerâncias provenientes de erros de montagem, execução da estrutura e outros.

Segundo, ainda, esses institutos, uma solução comum seria as fixações de apoio vertical localizarem-se nas extremidades de baixo do painel e as de apoio lateral acima. Alguns projetistas e autores como o Levitt (1982) preferem especificar as fixações de apoio vertical acima e as de apoio lateral abaixo. Essa escolha não é consenso, resulta da simplicidade que cada uma dessas configurações impõe na etapa de montagem.

Recomenda-se, também, que as fixações de apoio vertical, que transferirão as cargas de peso próprio para a estrutura, localizem-se no mesmo nível, evitando possíveis deformações do elemento suporte (viga) devido às diferenças de cargas que o solicitarão.

O PCI (1989) e o RESCRETE (2000) prescrevem ainda outras considerações:

- As fixações devem ser detalhadas para garantir que os dispositivos de fixação de cada painel suporte apenas seu peso próprio e que nenhum peso seja transmitido às unidades adjacentes;
- As fixações devem ser escolhidas para que as cargas sejam transferidas da maneira mais simples possível, minimizando o quanto possível as excentricidades;
- Os detalhes de fixação devem ser padronizados, tanto quanto possível, resultando em economia, velocidade e simplicidade durante a montagem e;
- As unidades dos painéis devem ser providas de pelo menos quatro pontos de fixação, sendo recomendável que não mais que dois pontos, por painel, sejam

os responsáveis pela transferência de cargas referentes ao peso próprio. A Figura 3-1 ilustra um esquema das diferentes configurações recomendadas para os dispositivos de fixação dos PPAC.

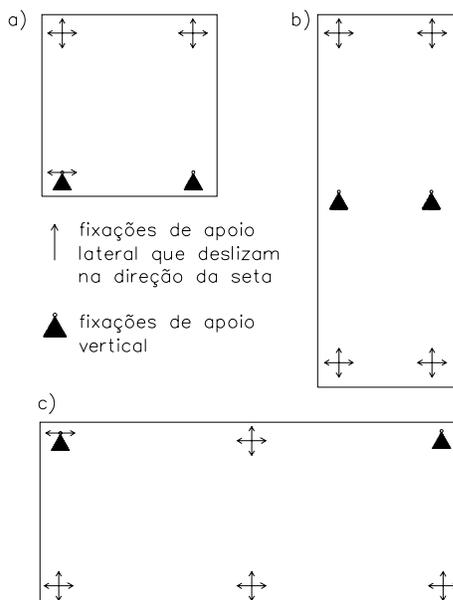


Figura 3-1– Tipos de Configurações das Fixações dos PPAC (PCI, 1989)

3.1.2 Resistência ao intemperismo : Corrosão

A resistência ao intemperismo é um dos requisitos que os dispositivos de fixação devem apresentar a fim de garantir a segurança estrutural do painel no edifício. Um dos maiores problemas dos materiais desses dispositivos, ou seja, dos metais, quando expostos às intempéries, no exterior ou interior das edificações, é a corrosão, especialmente a atmosférica, que afeta o material degradando suas propriedades físicas e mecânicas, reduzindo a durabilidade do dispositivo de fixação e, conseqüentemente, das fachadas.

De acordo com Chaves (1982), a corrosão atmosférica pode ser definida como um processo resultante de reações eletroquímicas, por meio do qual um metal ou ligas metálicas se deterioram quando submetidos à ação climática.

A corrosão atmosférica somente ocorre na presença de um eletrólito, o que significa dizer, quando a superfície do metal está umedecida. A água pura é um mau condutor de

eletricidade, mas, quando sua condutividade é aumentada pela contaminação de um sal ou ácido, a reação é acelerada. Logo, a velocidade de corrosão é maior em atmosferas que apresentem maiores teores de substâncias que geram a formação de ácidos, como o dióxido de enxofre (SO_2) e os cloretos (Cl^-) (PANNONI, 1991).

A ASTM (1994) classifica as atmosferas climáticas em muito severas, severas, moderadas e amenas, podendo também ser industriais, urbanas, rurais, marinhas e interiores. Apesar dessa classificação, nem sempre as atmosferas ditas como severas afetam da mesma maneira todos os metais.

Kajimoto (1988) coloca que *“o comportamento dos diferentes metais frente aos poluentes é diferenciado; assim, a classificação feita, tendo como referência o aço carbono, é diferente daquela, quando se toma o zinco como referência. No caso do aço carbono, os parâmetros mais significativos são a umidade relativa e o teor de SO_2 , tendo sido observada também a influência do H_2S . No caso do zinco, o principal é o SO_2 .”*

E, em relação ao PPAC, a primeira análise diz respeito à atmosfera na qual o sistema está inserido. É necessário conhecer as taxas de corrosão¹⁷ e o comportamento dos metais passíveis de serem utilizados nessas atmosferas e fazer uma análise da durabilidade (vida útil) desses materiais e do fator de risco que essa escolha pode ocasionar.

Apesar de haver alguns trabalhos que ditam taxas de corrosão e comportamento dos metais, essa é uma análise difícil de ser feita devido à complexidade de fatores que a influenciam e pelas diferentes taxas de corrosão obtida em pontos diversos da mesma cidade.

A Tabela 3-1 fornece alguns dados que subsidiam uma primeira etapa da análise do processo de escolha dos metais das fixações em função da durabilidade frente à corrosão atmosférica. A Tabela 3-2 ilustra alguns tipos possíveis de revestimento de proteção à base de pintura que podem ser utilizados nessas fixações.

¹⁷ taxa de corrosão é a velocidade de corrosão por ano de exposição em ($\mu\text{m.a}^{-1}$)

Tabela 3-1– Dados sobre taxa de corrosão atmosférica e durabilidade dos metais mais utilizados nos dispositivos metálicos do PPAC

Metais	Aço carbono comum Tipo ASTM A-36			Aço patinável			Aço galvanizado espessura de galvanização =100 μm^3			Aço inoxidável Tipo Austenítico ABNT 304		
	Taxa de corrosão ($\mu\text{m.a}^{-1}$) ¹		Durabi- lidade (anos)	Taxa de corrosão ($\mu\text{m.a}^{-1}$) ²		Durabi- lidade (anos)	Taxa de corrosão ($\mu\text{m.a}^{-1}$) ⁴		Durabi- lidade (anos)	Taxa de corrosão ($\mu\text{m.a}^{-1}$) ⁵		Durabi- lidade (anos)
Atmosfera	1º ano	4ºano		1º ano	4ºano		1º ano	4ºano		1º ano	4ºano	
Rural	12,90	8,70	nd	nd	nd		nd	nd	65	não apresenta taxa de corrosão significativa		
Urbana	20,40	8,30	nd	nd	nd		1,21	1,16	35			
Industrial	49,40	7,20	nd	8,0	12,0 (cte)	nd	1,23	0,60	30			
Marinha	118,30	nd	nd	10,0	40,0 (cte)	Obrigatória a aplicação de revestimento	nd	nd	50			
Mista (Marinha+ Industrial)	159,90	85,2	nd	nd	nd		nd	Nd	nd			
Interiores	nd	nd	nd	nd	nd		nd	nd				

nd = dados não determinados por essas bibliografias

¹ (Programa Iberoamericano de ciencia y tecnologia para el desarrollo - CYTED, 1999)² (www.seccional.com.br/english/cosipa_ing.htm; www.usiminas.com.br/produtos/tiras_frio_05.asp)³ Espessura de revestimento de zinco por imersão a quente para chapas maiores que 6,4mm (ASTM A-23, 1989)⁴ Guia del especificador- B.Bosch ingenieria y construccion⁵ KAJIMOTO, 1991

Cabe ressaltar que a maioria dos dados contidos na tabela anterior vale para atmosferas em ambientes exteriores, e que os metais ensaiados não estavam sob tensão. No caso do presente trabalho, os dispositivos metálicos encontram-se em ambientes interiores, nas diferentes atmosferas descritas, e sob tensão constante.

Poucos dados existem sobre taxas de corrosão em interiores e sob tensão, mas se pode afirmar que as taxas de corrosão em interiores são menores, porque não existem ciclos de molhagem e secagem. No entanto, sob tensão essas taxas se elevam, porque a tensão também causa diferença de potencial.

Tabela 3-2– Revestimento de Pintura (1)

Revestimentos a base de Pintura						
	Preparo da superfície	Tinta de Fundo	Tintas de Acabamento	Espessura recomendada (um)	Durabilidade (anos)	
Atmosfera						
Rural	Remoção de 65% de carepas e ferrugens	Alquídica com pigmentos anti-corrosivos	Epoximastic(*)	70-125		
Urbana	Remoção de 95% de carepas e ferrugens	Alquídica com pigmentos anti-corrosivos	Epoximastic	100-175		
Industriais	Remoção de 95% de carepas e ferrugens	Epóxi com pigmentos anti-corrosivos	Poliuretânica ou Epoximastic	250-300		
Marinas						
Mistas	Remoção de 95% de carepas e ferrugens	etil silicato de zinco e epóxi	Epóximastic	350,00	perda de brilho e fragilização da película de revestimento após 05 anos de exposição	
Interiores	Remoção de 95% de carepas e ferrugens	Epóxi com pigmentos anti-corrosivos	Epóximastic	250-300		

(1) www.metálica.com.br/artigos/cosipa.htm

(*) Epoximastic refere-se ao tipo de tinta que funciona como fundo e acabamento

Em relação ao aço carbono, tipo ASTM-A36, o mais utilizado na construção civil, afirma-se que ele só pode ser utilizado como material dos dispositivos de fixação dos PPAC se receber um tratamento com revestimento à base de pintura. E, este tratamento deve incluir: preparo das superfícies com remoção das carepas, jateamento de areia, e aplicação de uma tinta de fundo e outra de acabamento. E, essa possibilidade só pode ser utilizada se, e somente se, for prevista uma manutenção de cinco em cinco anos nesse revestimento (entrevista Kajimoto, 2001).

Os aços patináveis apresentam resistência à corrosão atmosférica em ambientes exteriores aproximadamente quatro vezes maior o aço-carbono, devido aos elementos de liga da sua composição e também à formação de uma película de proteção, denominada patina¹⁸

18 < <http://www.cosipa.com.br/arquivos/cosacor.pdf>

No entanto, como os dispositivos de fixação encontram-se em ambientes interiores, não é possível afirmar quantas vezes essa taxa de corrosão é menor que a do aço-carbono, porque a boa patina se forma quando a secagem do aço se dá a temperaturas superiores a 50°C, com presença de teores moderados de SO₂. Mas, mesmo em ambientes interiores, a ferrugem formada é diferente da do aço-carbono, e é protetiva. Entretanto, por não se saber quão significativa é essa proteção, recomenda-se, em função da segurança estrutural, a aplicação de um revestimento de pintura com tinta de fundo anti-corrosiva e acabamento à base de tinta epóxi, como demonstra a Tabela 3-2 (entrevista Prof. Pannoni, 2002).

O aço galvanizado, por sua vez, se respeitadas as condições de espessura mínima e cuidados com solda, é uma alternativa viável, recomendando-se ainda uma aplicação de revestimento à base de pintura, a fim de incluir uma segurança adicional a durabilidade desses metais ¹⁹.

O aço inoxidável não apresenta taxas de corrosão significativa e apresenta-se como o mais recomendável para a situação, como prescreve a BSI (2000) e Taylor (1992), havendo necessidade de cuidados especiais em ambientes com presença elevada de cloretos (Cl⁻) (KAJIMOTO, 1988).

Outra questão a ser considerada é a compatibilidade dos diferentes metais que formam os dispositivos. Parafusos, arruelas, placas e soldas devem apresentar material de mesma composição química, ou contendo metais com potenciais eletroquímicos bem próximos, para evitar o que se denomina de corrosão galvânica. Esta pode ocorrer quando dois metais de potenciais diferentes estiverem em contato e forem expostas a soluções condutoras de eletricidades, com presença de água, sais ou ácidos (PANNONI, 1991).

Observa-se, então, que a escolha dos metais expressos em níveis de durabilidade, como apresentado, é altamente técnica e exige uma análise criteriosa, na qual se levem em consideração: a atmosfera em que o edifício estará inserido; os metais viáveis técnica e economicamente, considerando-se a projeção da durabilidade da fachada; a compatibilidade química entre os metais e, se houver soldas, dos eletrodos; e ainda, a

¹⁹ <[http:// www.bbosch.com.br/index.htm](http://www.bbosch.com.br/index.htm)>

preocupação quanto à necessidade de manutenção periódica. De preferência, esses dispositivos de fixação devem ter a mesma durabilidade prevista para a fachada do edifício.

3.2 RESISTÊNCIA AO FOGO

A resistência ao fogo de fachadas em PPAC depende da estabilidade estrutural do painel na estrutura suporte, da estanqueidade às chamas e aos gases e do isolamento térmico das juntas por um período suficiente para:

- possibilitar a saída dos ocupantes da edificação em condições de segurança;
- garantir condições razoáveis para o emprego do socorro público; e
- evitar ou minimizar danos ao próprio prédio e às edificações adjacentes.

Para tanto, os elementos construtivos (no caso os PPAC) devem ser projetados conforme alguns critérios que contribuam para o cumprimento das exigências de desempenho em relação à resistência ao fogo.

De acordo com a ABNT (1980), o critério básico de classificação das edificações em relação à resistência ao fogo é função do tempo em que um elemento estrutural deve manter sua integridade em situação de incêndio. Os tempos padrões definidos correspondem a 60, 120, 180 e 240 minutos.

Segundo a legislação do Corpo de Bombeiros (Decreto Estadual S.P. 46076/2001-IT08/01), os elementos de compartimentação (incluindo as fachadas, as paredes externas e a selagem dos shafts e dutos) e os elementos estruturais devem apresentar um tempo requerido de resistência ao fogo (TRRF), no mínimo, igual ao da estrutura principal. A determinação deste TRRF é função do tipo de ocupação da edificação e da altura da mesma, como exemplifica a Tabela 3-3.

Tabela 3-3 – Tempos requeridos de resistência ao fogo –TRRF (Corpo de Bombeiros - Decreto Estadual 46076/2001-AnexoA- IT08/01)

Grupo	Ocupação/ Uso	Altura da edificação (m)					
		Classe P1 h ≤ 6m	Classe P2 6 ≤ h ≤ 12	Classe P3 12 ≤ h ≤ 23	Classe P4 23 ≤ h ≤ 30	Classe P5 30 ≤ h ≤ 80	h > 80
A	Residencial	30	30	60	90	120	CT
B	Serviços de hospedagem	30	60	60	90	120	CT
C	Comercial varejista	90	60	60	90	120	CT
CT= Utilizar Comissão Técnica junto ao Corpo de Bombeiros da Polícia Militar							

* Essa tabela só pode ser utilizada se a área dos pavimentos da edificação em análise for menor que 750m²

E, como as fachadas em PPAC são consideradas elementos de compartimentação, devem apresentar um TRRF igual ao da estrutura principal. Então, para atender a essa exigência, propõe-se que a resistência ao fogo para as fachadas em PPAC seja avaliada segundo três aspectos:

- da resistência ao fogo do componente painel, que depende do seu comportamento estrutural e da transmissão térmica de calor, discutida no item 2.2;
- da integridade estrutural dos dispositivos de fixação, que depende da proteção passiva destes, e
- da estanqueidade das juntas, que é proporcional à utilização de materiais de proteção contra o fogo (proteção passiva das juntas entre painéis e entre painéis e estrutura) e às dimensões das juntas.

3.2.1 Proteção Passiva dos Dispositivos de Fixação

Os dispositivos de fixação, que são de materiais metálicos, perdem sua resistência mecânica e ductilidade quando aquecidos a uma temperatura em torno de 550°C, o que

afeta a estabilidade estrutural do painel na estrutura. Portanto, devem receber proteção de mesmo grau de intensidade que a requisitada para a estrutura.

O tipo e a espessura do material de proteção contra o fogo desses dispositivos de fixação dependem das características de resistência ao fogo do metal que está sendo utilizado; do tempo de exposição ao fogo; e da intensidade do mesmo, ou seja, a espessura do material de proteção contra o fogo (materiais de baixa condutibilidade térmica) é tão maior quanto mais severas forem as condições consideradas.

O Gráfico 3-1a) ilustra a espessura dos materiais de proteção contra o fogo comumente utilizados, a uma temperatura crítica de aproximadamente 550°C, em função do TRRF. E, ilustra, ainda, a relação da espessura do metal com a espessura do material de proteção contra o fogo, pois, para uma peça de mesma seção transversal com diferentes espessuras, a peça de maior volume apresentará fator de massividade²⁰ menor e, conseqüentemente, necessitará de menor espessura do material de proteção ao fogo.

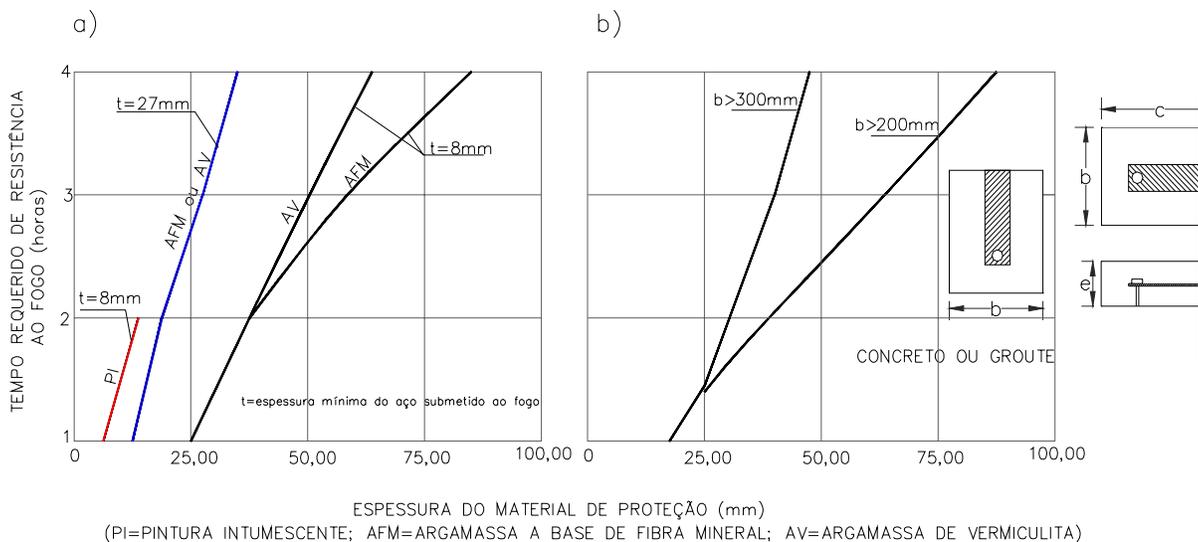


Gráfico 3-1- Espessura dos materiais de proteção contra o fogo para as fixações metálicas (figura traduzida do PCI, 1989)

Em relação aos materiais de proteção contra o fogo apresentados no Gráfico 3-1a),

²⁰ Fator de massividade de um corpo é a relação entre a área exposta ao fogo e o volume aquecido do corpo (SILVA, 2001)

comenta-se:

A curva da pintura intumescente pára, no máximo, no ponto de TRRF até duas horas (120 minutos), pois, além desse ponto, não é recomendada a utilização de pinturas intumescentes, mesmo com perfis metálicos de espessuras maiores. As pinturas intumescentes apresentam três limitantes: o primeiro em relação à sua durabilidade, em média, de cinco a dez anos; o segundo em relação à espessura do perfil metálico a ser utilizado, pois, segundo o Catálogo da Nultifire, a peça não deve apresentar um fator de massividade menor do que 200m^{-1} para um TRRF de 120 minutos; e ,terceiro, em relação ao seu custo, pois essas tintas são caras e, se não utilizadas com cautela, podem inviabilizar economicamente o processo construtivo (SILVA, 2001).

As argamassas à base de fibras minerais e as à base de agregado de vermiculita são interessantes quando há a possibilidade de que esse material seja projetado. No entanto, essa situação geralmente ocorre quando as estruturas-suporte são metálicas e também necessitam de proteção contra o fogo.

A argamassa à base de fibras minerais, apesar de ter custo menor e produtividade maior que a vermiculita, tem uma resistência mecânica menor e aparência menos agradável, sendo recomendada apenas para lugares em que não haverá circulação de pessoas, equipamentos ou outros agentes que possam deteriorar o material.

Já quando os painéis forem fixados à estrutura em concreto armado, uma das alternativas é embutir os dispositivos de fixação no concreto das lajes ou vigas. O Gráfico 3-1b) mostra a espessura desse nicho de concreto em função da sua largura e dos TRRF. Como exemplo, tem-se: se um dispositivo de fixação estiver embutido num nicho de 200mm de largura e for especificado um TRRF de $2^{1/2}$ horas, esse nicho deverá ter uma espessura mínima de aproximadamente 50mm.

Entretanto, existirão situações em que não será possível o embutimento nem a projeção de argamassa nessas fixações. A solução mais viável, então, será a aplicação manual de concreto ou argamassa à base de vermiculita nas mesmas espessuras recomendadas no gráfico anterior.

3.2.2 Proteção Passiva das Juntas

Existem dois tipos de juntas que devem ser consideradas quando se analisa a resistência ao fogo de fachadas em PPAC:

- Juntas entre painel e estrutura; e
- Juntas entre painéis (A Figura 3-2 ilustra o esquema das juntas).

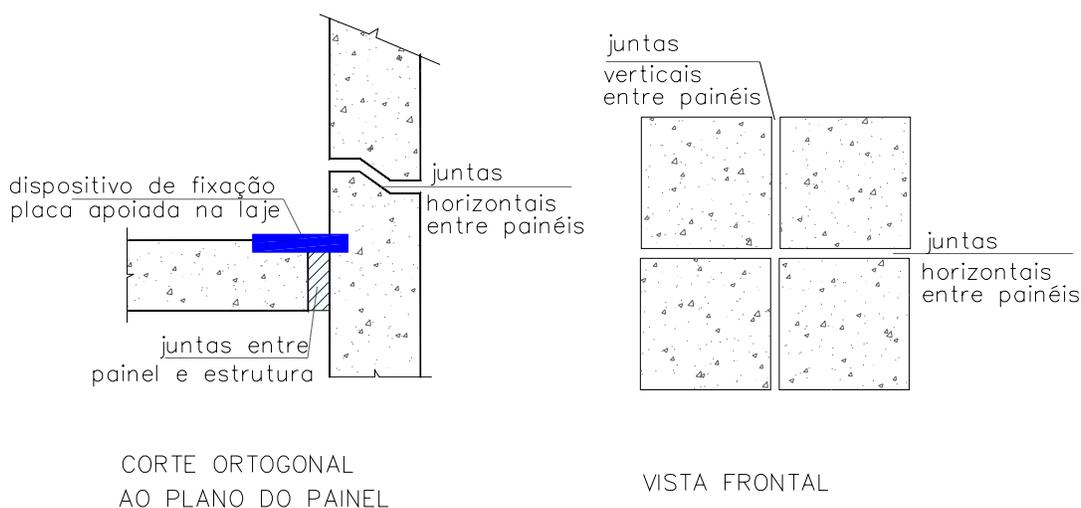


Figura 3-2 – Juntas entre painel e estrutura e juntas entre painéis

As juntas entre painel e estrutura devem ser preenchidas com material isolante, a fim de que o fogo não ultrapasse o pavimento, evitando a propagação de calor e gases. Essa medida de vedação entre pavimentos é uma medida de compartimentação vertical, que também evita o efeito chaminé⁶, exigida pela legislação do Corpo de Bombeiros (Decreto Estadual 46.076/2001). Esse preenchimento terá também a função de proporcionar isolamento acústico entre os pavimentos.

Essas juntas podem ser preenchidas com argamassa, concreto com agregados de pedra calcária ou de agregado leve (tipo vermiculita), ou mantas de fibra mineral, o que for mais viável a nível construtivo e econômico.

Em relação às juntas entre painéis, não há uma legislação brasileira clara que prescreva a

⁶ Efeito chaminé é o fluxo de ar vertical dentro das edificações, causado pela diferença de temperatura interna e externa (Corpo de Bombeiros, Decreto Estadual 46076/2001-IT03/01).

necessidade de seu preenchimento, a fim de evitar que o fogo saia por entre elas para fora da edificação e se alastre. Existem casos em que o próprio detalhe construtivo da junta impede que isso ocorra, ou seja: a estanqueidade da junta em relação à propagação do fogo pode ser alcançada não só mediante seu preenchimento com materiais de proteção contra o fogo, mas, também, com a adoção de algum detalhe construtivo que permita certa descontinuidade entre as peças, como mostra o esquema da Figura 3-3.

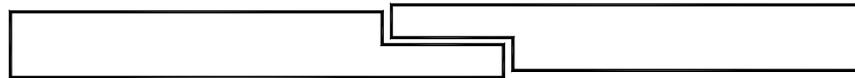


Figura 3-3 – Esquema de descontinuidade de juntas

Outra opção é utilizar uma barreira de chapas de gesso acartonado resistentes ao fogo na parte interna dos PPAC, funcionando como vedação adicional. Assim, além de proporcionar acabamento, as chapas impedem que o fogo e o calor atinjam os painéis e as juntas durante certo tempo.

E, para os casos em que os detalhes construtivos das juntas entre painéis não contribuam para a estanqueidade quanto às chamas e aos gases, e não existam chapas de gesso acartonado resistentes ao fogo do lado interno dos painéis, as juntas devem ser preenchidas com materiais de proteção contra o fogo (tais como manta de fibra cerâmica), para que apresentem uma resistência ao fogo pelo menos igual à do painel. Cabe ressaltar que esse material não substitui o selante nem o limitador de profundidade, é um terceiro material a ser inserido na junta.

O Gráfico 3-2 mostra o tempo de resistência ao fogo de juntas que não foram preenchidas com material de baixa condutibilidade térmica. A Tabela 3-4, por sua vez, ilustra o tempo de resistência ao fogo de juntas que foram preenchidas com um material de baixa condutibilidade térmica (no caso, manta de fibra cerâmica) em função da espessura da junta e da profundidade deste material. E a Figura 3-4 ilustra o posicionamento desse material na junta.

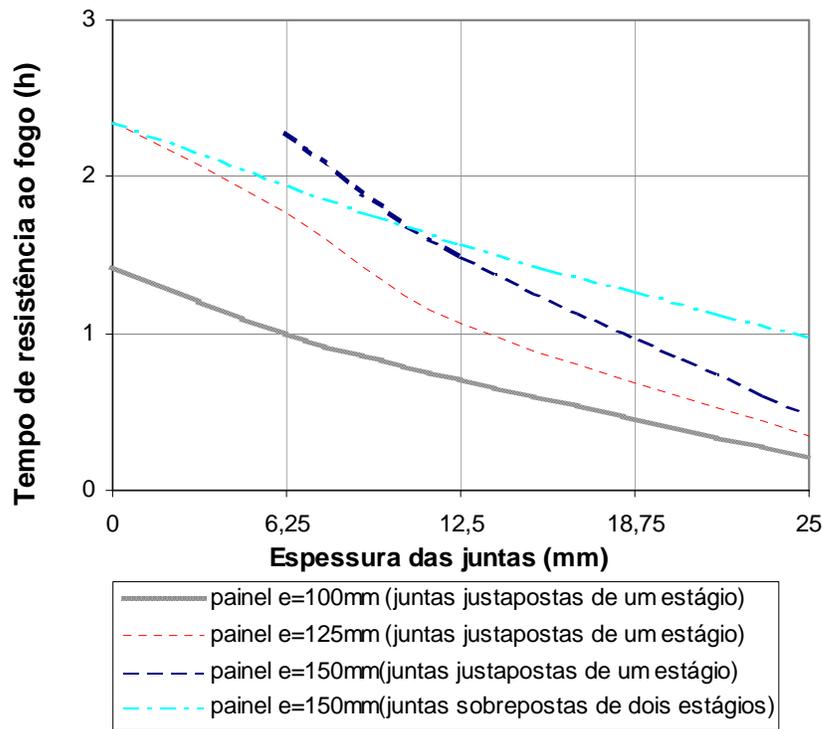


Gráfico 3-2 – Tempo de resistência ao fogo de juntas não preenchidas com material isolante (PCI, 1989)

Tabela 3-4 - Tempo de resistência ao fogo das juntas em função da sua largura, da espessura do painel e da profundidade da manta de fibra cerâmica (PCI, 1989)

Espessura do painel (mm)	Profundidade manta de fibra cerâmica							
	Largura da junta j=10mm				Largura da junta j=25mm			
	1 hora	2 horas	3 horas	4 horas	1 hora	2 horas	3 horas	4 horas
100	6,35	nd	nd	nd	20,00	nd	nd	nd
125	0	20,00	nd	nd	12,50	54,00	nd	nd
150	0	0	28,60	nd	6,35	31,75	88,90	nd
175	0	0	0	25,00	6,35	22,22	50,00	95,25
nd=não determinado								
0 = não há necessidade de preenchimento das juntas								

Da observação da tabela nota-se que para painéis com espessura de 150 a 175mm, com TRRF mínimo de duas horas (120 minutos), com juntas entre painéis de 10 mm, não há necessidade de preenchê-las com material de baixa condutibilidade térmica resistente ao

fogo.

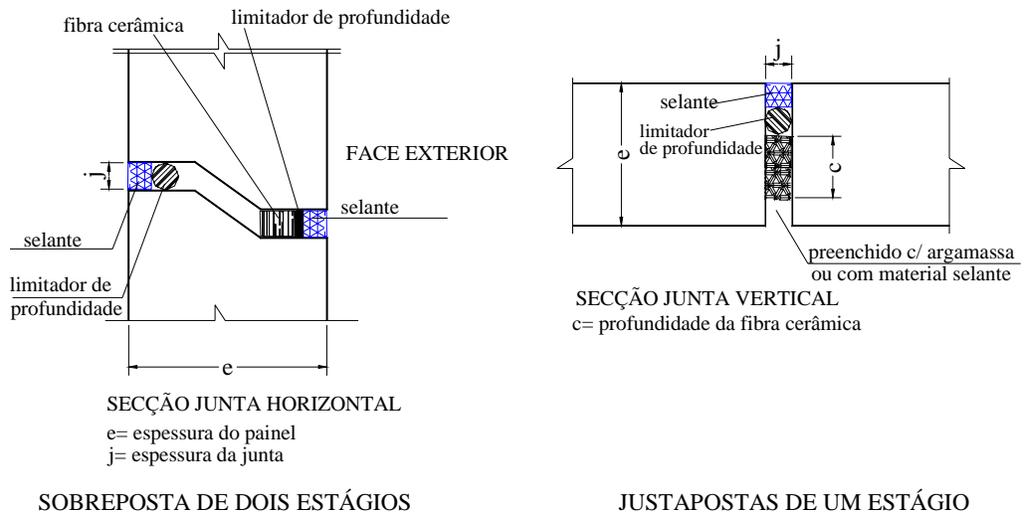


Figura 3-4 – Posição dos materiais de proteção contra o fogo das juntas

Desta forma, todas as fachadas, independentemente do seu elemento construtivo, devem apresentar resistência ao fogo, incluindo as em PPAC. Por isso, como no Brasil ainda não existem normas específicas sobre esse assunto, é que se propôs, nesta dissertação, avaliar as fachadas em PPAC segundo três aspectos: da resistência do componente painel, da integridade estrutural dos dispositivos de fixação e da estanqueidade das juntas. Cabe ressaltar que o não cumprimento de um desses três requisitos põe em risco a segurança do edifício e não proporciona tempo adequado de resistência ao fogo.

3.3 ESTANQUEIDADE À ÁGUA E AO AR

A estanqueidade à água e ao ar do subsistema de fachadas em PPAC é garantida por três fatores principais:

- do controle de fissuras e da porosidade do componente painel;
- da interface entre as esquadrias e o painel; e
- da interface entre painéis.

Em relação ao primeiro fator, tem-se que, geralmente, o componente painel não gera

problemas quanto à estanqueidade à água de chuva e ao ar. Isto porque apresenta baixa permeabilidade e reduzida porosidade devido à baixa relação água-cimento (0,4), ao processo de cura e ao adensamento.

Já na interface entre a esquadria e o painel existe juntas, que devem ser preenchidas com material selante adequado, a fim de impedir que a água e o ar penetrem no interior da edificação. No entanto, o problema de estanqueidade relativo a essa interface pode ser amenizado com a criação de alguns detalhes construtivos, como pingadeiras e parapeitos, que evitam que a lâmina d'água escorra pela superfície da esquadria, dificultando sua entrada no interior da edificação (fatores discutidos no item 3.4).

O terceiro fator, a interface entre painéis, é a situação mais crítica em relação à estanqueidade à água e ao ar das fachadas em PPAC, pois as juntas entre painéis, tanto verticais quanto horizontais, que são as responsáveis por canalizar o fluxo da água de chuva proveniente da superfície da fachada e impedir que entrem para o interior da edificação.

Além de serem responsáveis pela estanqueidade desse subsistema, as juntas entre painéis são projetadas para limitar as dimensões das peças, com o objetivo de diminuir as tensões nelas introduzidas, em razão, especialmente, de movimentações térmicas. Para tanto, as juntas devem apresentar dimensões suficientes para absorver parte dessas movimentações.

Portanto, propõe-se, nesta dissertação, que a estanqueidade das fachadas em PPAC seja analisada sob dois aspectos: o da seleção do material selante e o do dimensionamento adequado da largura da junta.

3.3.1 Seleção dos materiais selantes

O material selante é um fator de grande importância, pois contribui para o cumprimento do desempenho satisfatório das juntas em relação a estanqueidade à água de chuva, ao ar e também ao som e à umidade.

A norma BSI (1994) aponta que os selantes devem apresentar duas características

principais:

- a) acomodar movimentações sem perder aderência às laterais das juntas;
- b) suportar condições de exposição, como a ação da água e a radiação ultravioleta.

Para tanto, algumas propriedades como elasticidade, aderência, dureza e durabilidade devem ser analisadas ao escolher-se um selante.

3.3.1.1 Propriedades elastoméricas

Segundo Medeiros (1999), os selantes devem resistir aos esforços solicitantes e acomodar as movimentações previstas no dimensionamento das juntas. A capacidade de movimentação de um selante é medida por meio do percentual de movimentação, denominado Fator de Acomodação do Selante (FAS), que é função do seu módulo de elasticidade. Quanto maior o módulo de elasticidade, menor o FAS.

O FAS representa a capacidade de movimentação do selante aplicado na junta, tanto em relação ao alongamento quanto à contração, podendo ser utilizado para classificar os selantes em categorias de +/- 5%; 12,5%; 25%; 50% e 100% (MEDEIROS, 1999).

A norma ASTM (1998a) classifica os selantes segundo vários critérios, dentre os quais a capacidade de absorver deformações sem perder aderência à base, conforme ensaio da ASTM (1993). Essa classificação tem duas categorias: “Classe 25” e Classe 12,50”, ou seja, um selante Classe 25 deve suportar, no mínimo, deformações correspondentes a 25% da largura da junta, sem perder aderência ao substrato.

Atualmente, existem selantes que apresentam fatores de acomodação maiores que 25%. No entanto, para o cálculo da largura das juntas recomenda-se não utilizar valores de FAS maiores que 25%, em favor da segurança e para evitar situações não planejadas (PCI, 1989; ASTM, 1998a).

3.3.1.2 Resistência de aderência

A resistência de aderência consiste na capacidade dos selantes de se manterem aderidos aos substratos (painéis), evitando a passagem de água. Essa resistência pode ser

determinada por meio de ensaios que medem a tração direta ou a tração e a compressão cíclica. Os ensaios de aderência dos selantes são regidos pela norma ASTM (1993).

Além da escolha de um selante com capacidade de deformação sem perda de aderência ao substrato e compatível com sua utilização e solicitação, outro fator que contribui para o desempenho dos selantes quanto à resistência de aderência são os limitadores de profundidade. Eles definem melhor a espessura do selante e evitam seu consumo excessivo, fazendo com que o material tenha aderência apenas com as laterais, deformando-se livremente em dois lados.

A Dow Corning (2000) recomenda que o material do limitador de profundidade seja uma espuma à base de poliuretano de célula aberta ou de polietileno de célula fechada, bem como fitas de polietileno para juntas pouco profundas, com capacidade de compressão de até 50%, sem perder suas propriedades. A Figura 3-5 ilustra o esquema dos limitadores de profundidade e das fitas de fundo.

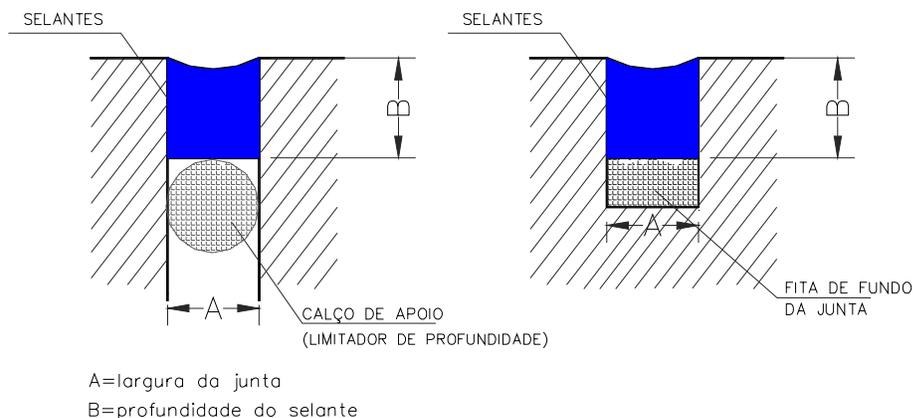


Figura 3-5 – Limitador de profundidade e fita de fundo (DOW CORNING, 2000)

Ressalta-se que alguns selantes, para obter aderência adequada com os substratos presentes nas juntas, requerem a aplicação de um líquido selador especial, conhecido como fundo preparador (*primer*).

Havendo a necessidade de pré-aplicação do *primer* ao selante, deve-se atentar para sua cura completa. Sugere-se que o *primer* e o material selante sejam sempre do mesmo fornecedor.

3.3.1.3 Dureza

A dureza, isto é, a resistência à penetração superficial, pode ser determinada através da escala *Shore A* de medidas relativas. Em uma variação de 0 a 100, a dureza pode ser classificada em vários níveis, associados ao módulo de elasticidade. Os selantes de baixo módulo, os mais recomendados para fachadas em PPAC, devem apresentar dureza *Shore A* entre 10 e 30. Para ilustrar essa escala de dureza tem-se que a borracha de um pneu de automóvel tem cerca de *Shore A* 70 (PANEL; COOK, 1991).

É interessante ressaltar que alguns selantes apresentam, no início da cura, uma dureza entre 30 e 40, e após um ou dois anos, passam para 60 a 80. Portanto, sua capacidade de alongar-se e não fissurar ou quebrar vai sendo reduzida ao longo do tempo (KLOSOWSKI, 1989).

3.3.1.4 Durabilidade

A durabilidade dos selantes utilizados em fachadas é uma propriedade fundamental, uma vez que estarão expostos a agentes agressivos como água, chuva, raios ultravioletas e a agentes químicos presentes na atmosfera ou resultantes de possíveis limpezas realizadas na fachada.

A ação dos agentes agressivos sobre os selantes pode provocar microfissuras e enrugamento superficial. Apesar desses efeitos serem superficiais, potencialmente, qualquer fissura na superfície do selante em uma junta que trabalha continuamente pode se tornar um problema (MEDEIROS, 1999).

Portanto, recomenda-se, na escolha de um tipo de selante, analisar o ambiente atmosférico em que a construção estará inserida, buscando informações sobre oscilações de temperatura, incidência de raios ultravioletas, quantidade de partículas sólidas (poluição) e, depois, comparar esses dados às propriedades dos selantes disponíveis no mercado, a fim de escolher o mais adequado para cada situação, buscando garantir maior durabilidade.

3.3.1.5 Tipos de materiais selantes

No caso dos PPAC, como as juntas entre painéis são suscetíveis de sofrer movimentações, os selantes mais recomendáveis são os feitos à base de silicone, poliuretano ou polissulfeto de baixo módulo de elasticidade. Eles são capazes de absorver movimentações da junta superiores a 12% da sua largura (KLOSOWSKI, 1989).

Desta forma, para a escolha dentre esses três tipos de selantes, deve-se analisar tanto as propriedades anteriormente descritas como os limites de temperatura no momento da aplicação do material e em condições de serviço, o tempo de cura e a resistência aos raios ultravioletas. A análise da Tabela 3-5 e da norma ASTM (1998a) pode contribuir para a tomada de decisão quanto à escolha dos selantes.

Tabela 3-5 – Propriedades dos selantes (tabela modificada dados do KLOSOWSKI, 1989; PCI, 1989; BSI ,1994; FOSROC²¹; DOW COORNING, 2000)

Propriedades	Polissulfetos		Poliuretanos		Silicones ²²	
	Monocomponente	Bicomponente	Monocomponente	Bicomponente	Monocomponente	Bicomponente
Capacidade em absorver movimentação (FAS)	± 25%	± 25%	± 25%	± 25%	± 25% a -50% ou +100%	± 12,50% a ± 50%
Durabilidade (anos)	10-20	10-20	10-20	10-20	10-50	10-50
Dureza inicial (1 a 6 meses) (20°C)	20-40	20-45	20-45	10-45	15-40	15-40
Dureza após 5 anos (20°C)	30-55	20-55	30-55	20-60	15-40	25-50
Temperatura de serviço (° C)	-40 a +82	-51 a +82	-40 a +82	-32 a +82	-54 a +200	-54 a +200
Temperatura de aplicação (° C)	+4 a +50	+4 a +50	+4 a +50	+4 a +80	-5 a +70	-5 a +70
Tempo de cura antes de uso em serviço (dias)	7 a 21 Cura úmida Velocidade depende principalmente da temperatura	1 a 7 Cura química Velocidade depende principalmente da temperatura	3 a 14 Cura úmida Velocidade depende da temperatura e da umidade relativa do ar		1 a 14 Cura úmida Velocidade depende da temperatura e da umidade relativa do ar	
Comportamento	elástico	elástico	elástico	elástico	elástico	elástico

21 <<http://www.fosrocreax.com.br>>, Acesso (maio, 2002)

22 Os Silicones podem ser de cura acética, recomendado somente para substratos não porosos de composição química não cimentícia ou de cura neutra, recomendado para bases porosas, como o concreto.

mento estrutural						
Resistência à raios UV	bom	bom	médio	médio	excelente	excelente
Cor	Cinza- Não se recomenda a aplicação de pinturas		Cinza – Aceitam pintura após curados		Aceitam pigmentos em sua mistura, tendo uma grande variedade de cores, mas não aceitam pinturas	
Resistência à atração de partículas sólidas (manchamento do selante)	Bom		Bom		Ruim	

É importante ressaltar que o processo de cura dos selantes tem uma grande interface com o ambiente, pois os selantes que dependem da umidade relativa do ar, como os silicões e poliuretanos monocomponentes, terão cura rápida em presença de altas taxas de temperatura e de umidade. Por sua vez, os bicomponentes, geralmente, têm cura mais rápida em altas temperaturas e independem da umidade relativa do ar (BROWER, 1992).

Atualmente, os fornecedores de PPAC no Brasil vêm utilizando selantes à base de silicone monocomponente com cura neutra, que independem da aplicação prévia do primer, embora exijam limpeza adequada das faces do painel que ficarão em contato com o selante e, principalmente, a retirada de todo o produto utilizado na etapa da desforma dos painéis (desmoldante).

Cabe ainda lembrar que quando as juntas entre painéis coincidirem com as juntas estruturais do edifício (em especial, nos casos dessas juntas estruturais serem muito distantes umas das outras), os selantes tenderão a apresentar fissuras, isto porque os selantes têm capacidade de absorver um percentual de deformação proveniente da

largura da junta (movimentação do painel) e não da movimentação e da variação dimensional da estrutura. Por isso, as juntas entre painéis que coincidem com as juntas estruturais do edifício devem ser um pouco mais largas e preenchidas com selantes de alto desempenho, cujo FAS seja maior que 50%, ou do tipo juntas de drenagem, aquelas preenchidas com obturadores flexíveis (BARTH, 1997).

3.3.2 Dimensionamento das Juntas

O desempenho das juntas depende, entre outras variáveis, de suas dimensões. As juntas devem ser largas o suficiente para acomodar movimentações dos painéis adjacentes. As falhas das juntas, na maioria das vezes, não ocorrem porque elas são muito largas, e sim porque são muito estreitas, não apresentando deformação e folga suficientes para acomodar certas movimentações, comprometendo o desempenho dos selantes (HUTCHINSON; WOOLMAN, 1995).

Segundo Klosowski (1989), o problema das juntas serem muito largas diz respeito ao aspecto construtivo, pois dificulta o seu preenchimento, e ao custo, pois há um consumo excessivo de selante.

Recomenda-se, então, que as larguras máximas e mínimas das juntas sejam determinadas em função do cálculo antecipado das movimentações do conjunto estrutura e vedação, que possam vir a ocorrer num determinado período, do desempenho do selante, relacionado à capacidade do selante de absorver deformações, e das dimensões de tolerância da junta, como apresentado na Equação 3-1 (PCI,1989; ASTM, 1991; HUTCHINSON; WOOLMAN, 1995).

$$Largura _ da _ junta = \frac{100}{FAS} x (movimentação) + (tolerância _ da _ junta)$$

Equação 3-1 – Fórmula para cálculo da largura da junta

Onde:

→ FAS: Fator de Acomodação do Selante que varia conforme o material correspondente, como demonstra a Tabela 3-5;

- movimentação: soma do montante de movimentações térmicas, de retração, de deformação lenta e outras que ocorrem com o conjunto estrutura e vedação. No caso de fachadas que empregam PPAC, no cálculo da largura das juntas só é levada em conta a movimentação dos próprios painéis;
- tolerância da junta: variação do dimensionamento da junta que deve ser explicitada em projeto, que é função do acúmulo de desvios de fabricação e montagem das peças. O PCI (1989) prescreve uma tolerância de + ou – 6,25mm para as juntas entre painéis.

A título de exemplo de como utilizar essa fórmula, consideram-se dois painéis adjacentes de concreto, compostos por agregado à base de calcário com coeficiente de expansão térmica da ordem de 6×10^{-6} mm/mm°C, com cinco metros de comprimento, expostos a uma variação térmica de 50°C (desconsideram-se, neste exemplo, as deformações provenientes de retração e deformação lenta). Especifica-se, inicialmente, para preencher essa junta um selante à base de silicone monocomponente com fator de acomodação (FAS) de 30%. No entanto, como discutido no item 3.3.1.1, adotar valor de FAS de 25% como medida de segurança.

Movimentação térmica do painel = $5000 \times 6 \times 10^{-6} \times 50 = 1,50\text{mm}$;

$$largura_da_junta = \frac{100}{25} \times (1,50) + (6,25) = 12,25\text{mm}$$

Após o cálculo da largura mínima da junta, que no exemplo apresentado equivale a 12,25mm, compara-se o resultado obtido com alguns critérios mínimos de especificação da largura das juntas, como os apresentados pelo PCI (1989).

O PCI (1989) recomenda, a fim de garantir qualidade no preenchimento das juntas e desempenho do selante, que as juntas de um estágio devem estar num intervalo entre 12,50 e 20mm e as juntas de quinas devem apresentar largura mínima de 25mm, para acomodar movimentações extras e encurvamentos de montagem. Já para as juntas de dois estágios, esse Instituto sugere uma largura mínima de 20mm para possibilitar a

colocação do selante na face interna do painel. A Figura 3-6 ilustra esses esquemas.

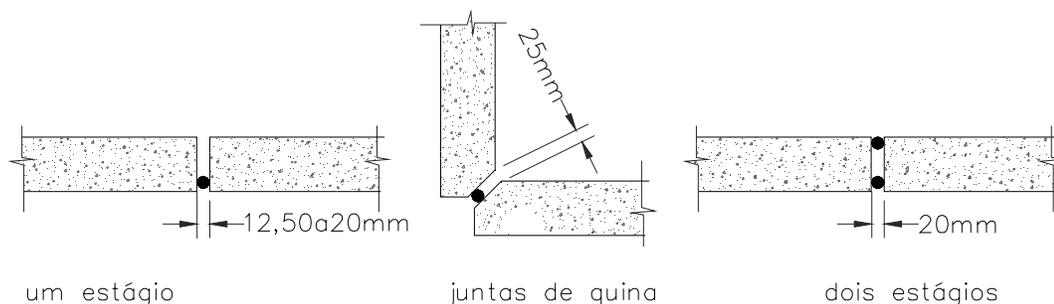


Figura 3-6 – Espessuras mínima das Juntas entre painéis e entre quinas.

Em relação à profundidade das juntas, a Figura 3-7 ilustra a proporção largura-profundidade em função do comportamento estrutural do selante.

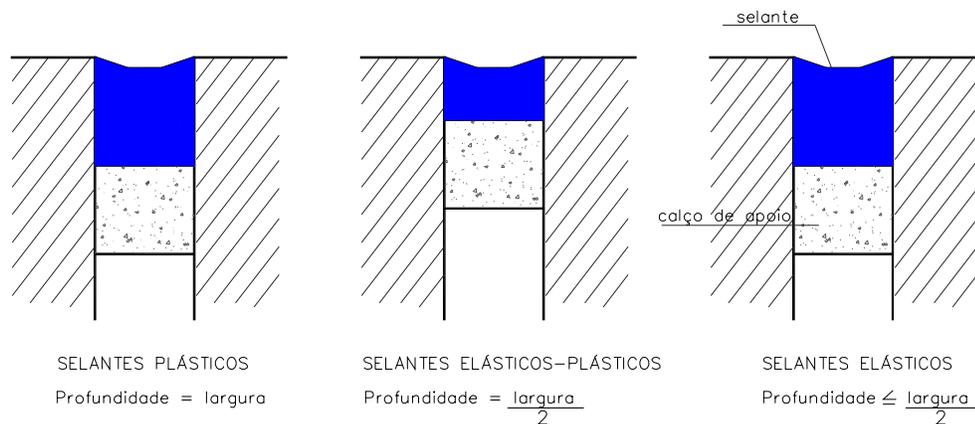


Figura 3-7 – Profundidade das juntas para diferentes selantes (HUTCHINSON; WOOLMAN 1995)

Segundo as diretrizes dadas pelo PCI (1989), apesar dos selantes elásticos apresentarem um fator de forma²³ menor ou igual a 2:1, devem, ainda, obedecer a uma profundidade mínima igual a 6,25mm e máxima de 15mm.

3.4 ESTÉTICA

A estética de um edifício, em particular da fachada, está ligada à sua aparência (visual) e é de fundamental importância para agregar valor econômico ao empreendimento e para a

²³ Fator de forma= proporção largura:profundidade

durabilidade do edifício.

O desempenho estético das fachadas em PPAC depende das exigências estabelecidas pelos clientes²⁴, principalmente, quanto à planeza, alinhamento das juntas, prumo e uniformidade dos acabamentos superficiais. Os aspectos referentes à planeza, alinhamento das juntas e prumo dependem, e muito, da qualidade da mão-de-obra na etapa de montagem e da conformidade das obras com as tolerâncias pré-estabelecidas, tratadas no Capítulo 4. Neste item discutem-se apenas os aspectos relativos à uniformidade dos acabamentos superficiais, que são um dos responsáveis pela integridade visual da fachada.

A integridade visual da fachada (ou seja, a conservação de sua aparência original por um período de vida útil previsto) depende de vários fatores, dentre eles, dos tipos de materiais e acabamentos superficiais utilizados no painel, da presença de detalhes construtivos na fachada, evitando a formação de manchas, e da seleção de técnicas de limpeza compatíveis com a superfície do painel (essa última não é escopo deste trabalho).

As manchas ocorrem quando partículas de poluição, sujeiras ou fungos, combinados com vento e chuva, interagem com os materiais da superfície da fachada. Para que isso não ocorra, devem ser previstos, em projetos, detalhes construtivos que reduzam ao mínimo o escoamento de água de chuva pela superfície da fachada (TAYLOR,1992).

Para o atendimento dos requisitos de desempenho em relação à estética das fachadas em PPAC, isto é, aqueles que garantirão a integridade da fachada, propõem-se que os projetos sejam elaborados sob duas análises:

- da elaboração de especificações para a camada de acabamento superficial do painel; e
- da elaboração de detalhes construtivos que controlem o caminho por onde escorre a água de chuva.

Cabe ressaltar que as fachadas em PPAC, cujos painéis têm seção transversal tipo

²⁴ Pode ser compreendido como cliente os projetistas, construtores, incorporadores, investidores ou usuários.

sanduíche, em que uma das camadas é um material isolante como o poliestireno expandido, tendem a desenvolver manchas causadas pelo desenvolvimento de microorganismos e pela condensação de vapor d'água, comprometendo prematuramente sua estética, como ilustra a Figura 3-8 (SATO *et al.*, 2002).



Figura 3-8 – Fachada com presença de manchas devido ao desenvolvimento de microorganismos (foto tirada por SATO *et al.*, 2002).

O aumento da espessura das camadas de concreto e a aplicação de pinturas com tintas higroscópicas são apresentados como possíveis soluções para esse problema. Entretanto, esse assunto não é tratado com a devida profundidade no presente trabalho, sendo por isso proposto como tema para a continuidade da pesquisa.

3.4.1 Elaboração de especificações para a camada de acabamento superficial do painel

Para a elaboração das especificações para a camada de acabamento superficial dos painéis é necessário avaliar os tipos de acabamento, as cores e a qualidade do acabamento das peças, que é função tanto da qualidade da produção em fábrica quanto dos cuidados com o seu armazenamento.

Os cuidados com o armazenamento dos painéis, tanto na fábrica quanto no canteiro de obras, devem ser mais rigorosos quando esses forem armazenados em posição diferente da sua final, devendo-se protegê-los para que não apareçam linhas de manchamento em sua superfície de acabamento.

Os acabamentos lisos ou de baixa rugosidade são mais suscetíveis ao manchamento que os de maior rugosidade. Embora os acabamentos de maior rugosidade, como aqueles com agregados expostos, acumulem mais sujeira, eles conseguem manter a aparência mais facilmente, pois o agregado tende a interromper e distribuir o fluxo de água, reduzindo o manchamento em forma de listras. Há também que se considerar a questão da forma do agregado: é mais conveniente que este seja arredondado do que angular, já que os cantos dos agregados angulares são locais onde facilmente se depositam sujeiras (PCI,1989).

E, em relação às cores da camada de acabamento do painel, a escolha pelas mais escuras pode ajudar a “mascarar” o depósito de sujeiras nas fachadas e o contraste entre as superfícies molhadas e não molhadas. Para tanto, é necessária uma análise da combinação entre as tonalidades do cimento, dos pigmentos e dos agregados.

Conclui-se, então, que o uso apropriado das cores mais escuras, e superfícies de média e alta rugosidade, são mais adequados que às claras, de superfícies de baixa rugosidade, principalmente, em atmosferas com grande concentração de poluentes (atmosferas urbanas).

3.4.2 *Elaboração de detalhes construtivos*

Em relação aos detalhes construtivos, Bucher (1992) expõe que: *“além de prevenir a penetração de água pelo próprio revestimento, a existência de detalhes construtivos pode evitar o acúmulo de partículas sólidas, que através do direcionamento do fluxo de água pelas superfícies, poderiam formar manchas nas mesmas.”*

Há vários tipos de detalhes construtivos do painel que devem ser levados em conta, mas alguns são imprescindíveis, como: peitoris, pingadeiras e rufos.

3.4.2.1 Peitoris

O peitoril é um detalhe que minimiza a ação da água na fachada, pois interrompe o fluxo de lâmina d'água, e deve ser devidamente projetado. O PCI (1989) recomenda que o peitoril ressalte do plano da fachada (superfície externa do painel), pelo menos 40mm, como mostra a Figura 3-10, e apresente um canal na face inferior para o descolamento da água, denominado pingadeira.

Baía *et al.* (1998) recomendam para peitoris em fachadas de alvenaria um caimento mínimo de 7%, que será recomendado também para os peitoris das fachadas em PPAC, pelo menos como uma referência inicial. Esses autores ressaltam, ainda, que os peitoris devem ser de baixa rugosidade e permeabilidade, para evitar acúmulos de sujeiras.

3.4.2.2 Pingadeira

As pingadeiras são detalhes construtivos que têm a função de “quebrar” a linha d'água, evitando que esta escorra pelas fachadas, e podem fazer parte do peitoril, conforme ilustra a Figura 3-9.

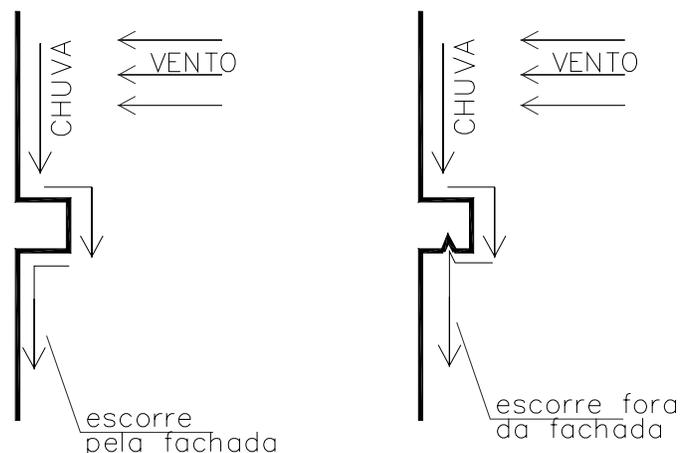


Figura 3-9 – Esquema função da pingadeira

Se não houver nenhum tipo de pingadeira ou coletor de água, as águas das chuvas podem escorrer pela superfície dos painéis, percorrendo toda a altura do edifício,

depositando sujeira e manchando a superfície na direção em que a água escorre.

A Figura 3-10 mostra algumas sugestões quanto aos tipos, dimensões e posicionamentos das pingadeiras, para que seu desempenho seja o mais adequado possível.

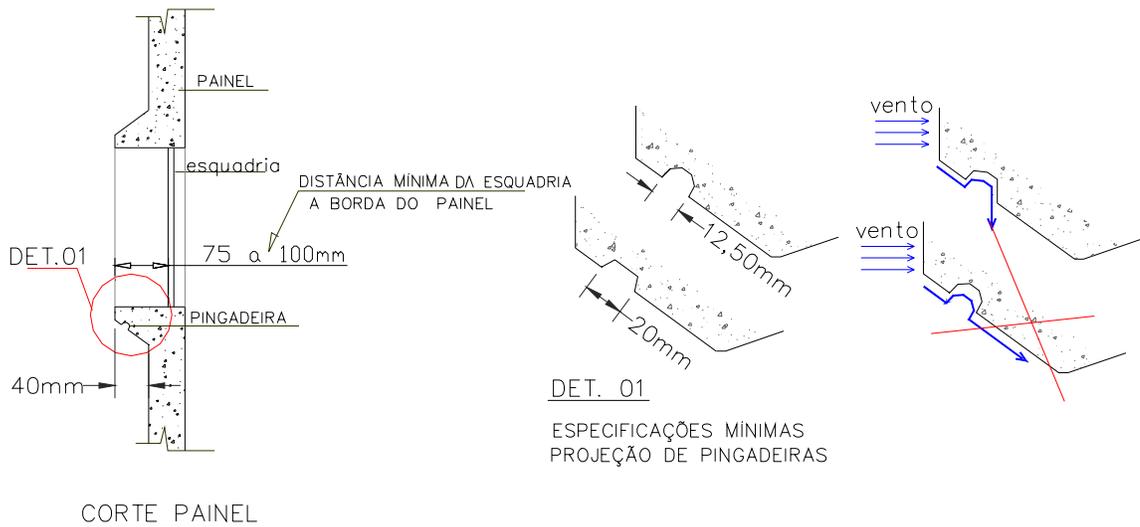


Figura 3-10 – Detalhes construtivos das pingadeiras e peitoris (PCI, 1989)

Destaca-se que o posicionamento e geometria das pingadeiras e peitoris devem ser analisados em função, também, do posicionamento das esquadrias. De acordo com o PCI (1989), o posicionamento das esquadrias no painel deve ser projetado segundo dois princípios:

- a) controlar a água que passa na sua região, evitando que escorra pela sua superfície ou penetre no interior da edificação; e
- b) dispersar a água proveniente de chuva através de detalhes de pingadeira no topo e ou abaixo do peitoril .

A Figura 3-11 mostra quatro alternativas de posições de pingadeiras e peitoris em função do posicionamento das esquadrias no painel.

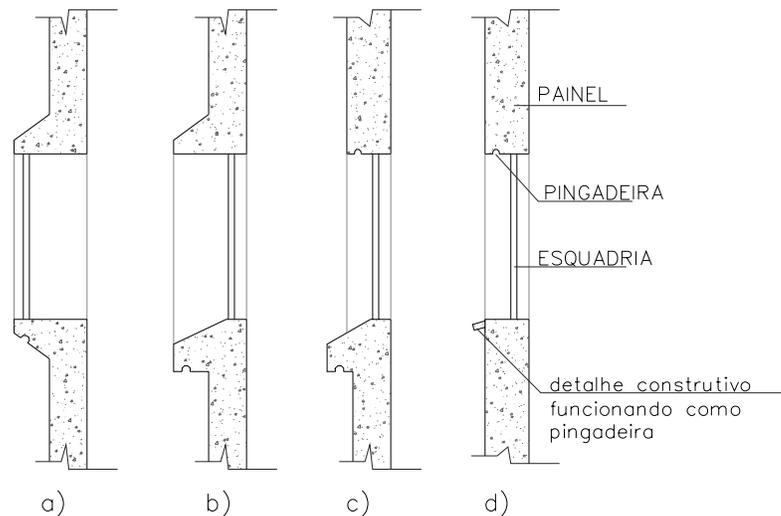


Figura 3-11 – Recomendações quanto ao posicionamento das esquadrrias e geometria dos peitoris (PCI, 1989)

Rufos: Os rufos devem ser projetados para evitar que a água proveniente do painel do último andar ou das lajes planas de cobertura escorra pela superfície da fachada ou se infiltre pelo painel. Eles devem, ainda, devido à altura da platibanda²⁵ desse painel, evitar que as águas concentradas na cobertura atinjam a superfície da fachada.

Outra questão a ressaltar em relação aos rufos é a seleção de seu material, que deve ser resistente à corrosão atmosférica e não manchar a superfície do painel.

Para atender a essas funções, o PCI (1989) propõe dimensões mínimas para a geometria dos painéis que estão no último andar e que receberão os rufos e as calhas, como mostra a Figura 3-12.

²⁵ Grade ou muro que contorna a cobertura de um edifício (www.uol.com.br/michaelis)

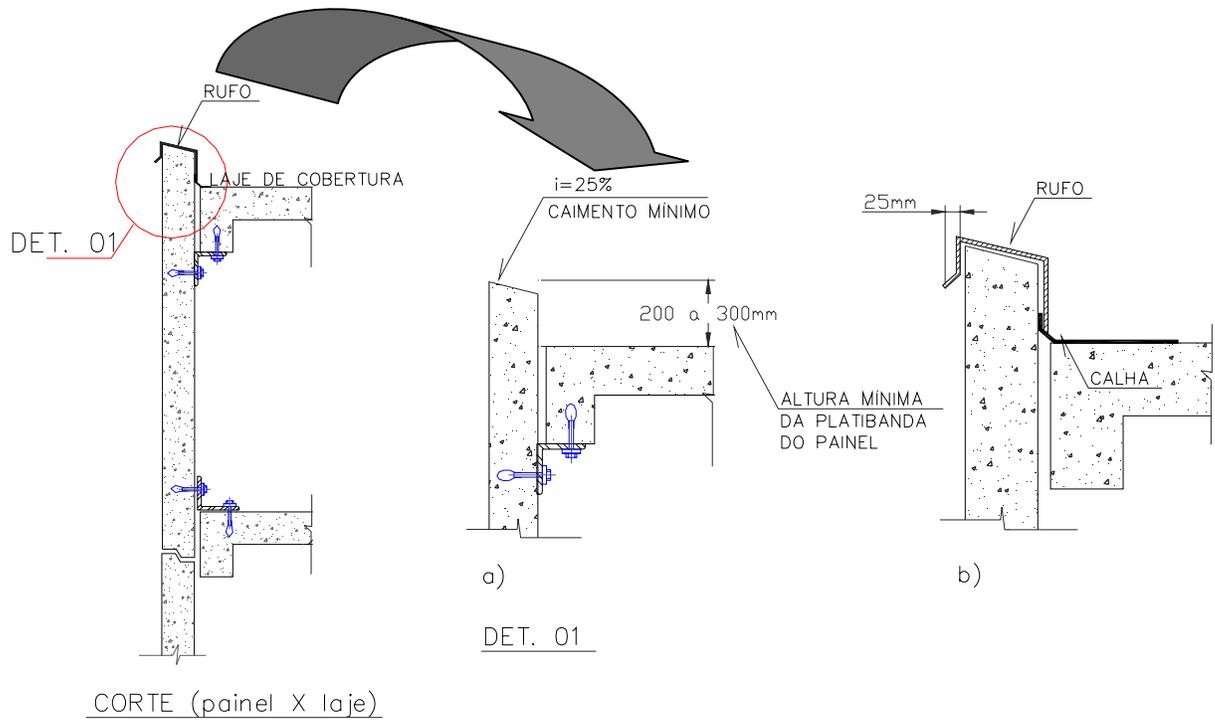


Figura 3-12 – Detalhes de seção do painel e de calhas e rufos – PCI (1989)

Portanto, a escolha adequada dos tipos de acabamentos superficiais, das cores e a presença de detalhes construtivos como pingadeiras, peitoris inclinados e rufos podem minimizar o manchamento das fachadas, contribuindo para sua integridade visual e, conseqüentemente, com a sua durabilidade.

4

PLANEJAMENTO DA EXECUÇÃO DE FACHADAS EM PAINÉIS PRÉ-FABRICADOS ARQUITETÔNICOS DE CONCRETO: FATORES QUE CONDICIONAM A EFICIÊNCIA DA MONTAGEM

No capítulo anterior foram expostos os fatores que condicionam o desempenho funcional das fachadas que empregam PPAC. Neste capítulo objetiva-se abordar os fatores considerados essenciais para a eficiência da execução dessas fachadas.

Para tanto, o capítulo trata de quatro fatores que, apesar de diferentes, são interligados pelo fato de interferirem na eficiência do processo de montagem. Esses fatores referem-se ao projeto e planejamento da montagem; às especificações de tolerâncias; ao estabelecimento de um sistema de coordenação modular e à definição dos equipamentos de transporte vertical.

Ressalta-se que esses fatores só terão condições de contribuir para o aumento da produtividade e da qualidade da montagem dos PPAC na estrutura, se analisados e definidos nas etapas de elaboração dos projetos.

4.1 PROJETO E PLANEJAMENTO DA MONTAGEM

Uma das maiores vantagens em empregar PPAC nas fachadas é sua velocidade de execução, ou seja, potencialmente, o sistema pode apresentar grande produtividade e, conseqüentemente, reduzir os prazos de entrega da obra e os custos de mão-de-obra. No entanto, essa vantagem só será realmente mantida se houver, por parte dos fabricantes, montadores, projetistas e construtores, o desenvolvimento de projetos e planejamentos dos PPAC voltados para a eficiência do processo de montagem.

Segundo o PCI (1985a), os projetos e planejamentos voltados para a eficiência da montagem dos painéis devem considerar alguns aspectos, como: seqüência de fabricação e envio das peças; localização das guias; método e seqüência de montagem; içamento, fixação e armazenamento. Esses aspectos são descritos a seguir, de forma sucinta, abordando somente as questões relativas às intervenções que podem ser adotadas em projeto e no planejamento e que interferem no processo de montagem.

4.1.1 Seqüência de fabricação e envio das peças

Recomenda-se que os painéis sejam enviados para o canteiro de obras após o término do tempo de cura do local na estrutura do edifício (pavimento) onde serão montados, a fim de possibilitar que os painéis sejam içados diretamente da carreta para seu local definitivo (PCI, 1989; ACI, 1993).

Esse método, denominado montagem *just in time*, é o que mais incrementa a produtividade, porque não é necessário prever áreas para armazenamento dos painéis na obra, diminuindo em uma etapa o processo de montagem. Para isso, é necessário que as unidades sejam transportadas para o canteiro na ordem em que serão montadas (BSI, 2000).

Alguns outros aspectos devem ser analisados para viabilizar a montagem *just in time* das peças nos prazos estabelecidos, quais sejam:

- a acessibilidade da carreta no canteiro;
- a capacidade da grua de içar o painel do local onde estará estacionada a carreta (ver item 4.1.2 e 4.4); e
- o número de carretas que o canteiro tem condições de receber é compatível com a quantidade de painéis necessários ao cumprimento da produtividade diária.

Além da questão da programação de envio dos painéis é interessante que eles estejam posicionados, na carreta, de uma forma que reduza o número de movimentos necessários para o seu içamento e fixação no local definitivo. Para tanto, recomenda-se que as peças

sejam transportadas, de preferência, na posição vertical (TAYLOR, 1992).

Segundo esse autor, a única razão de transportar os painéis na posição horizontal é quando uma de suas dimensões for muito maior do que a outra. Por exemplo: quando o comprimento é duas vezes maior que a largura. No entanto, os painéis na posição horizontal estão sujeitos a outros esforços, como os relativos aos impactos dinâmicos decorrentes da locomoção da carreta e os do içamento em duas posições, uma para descarregar a peça da carreta e outra para transportá-la até seu local definitivo. A Figura 4-1-a) ilustra uma peça com comprimento duas vezes maior que a largura transportada na horizontal e montada na vertical. A Figura 4-1-b) ilustra as peças sendo transportadas na vertical, a mesma posição da montagem.

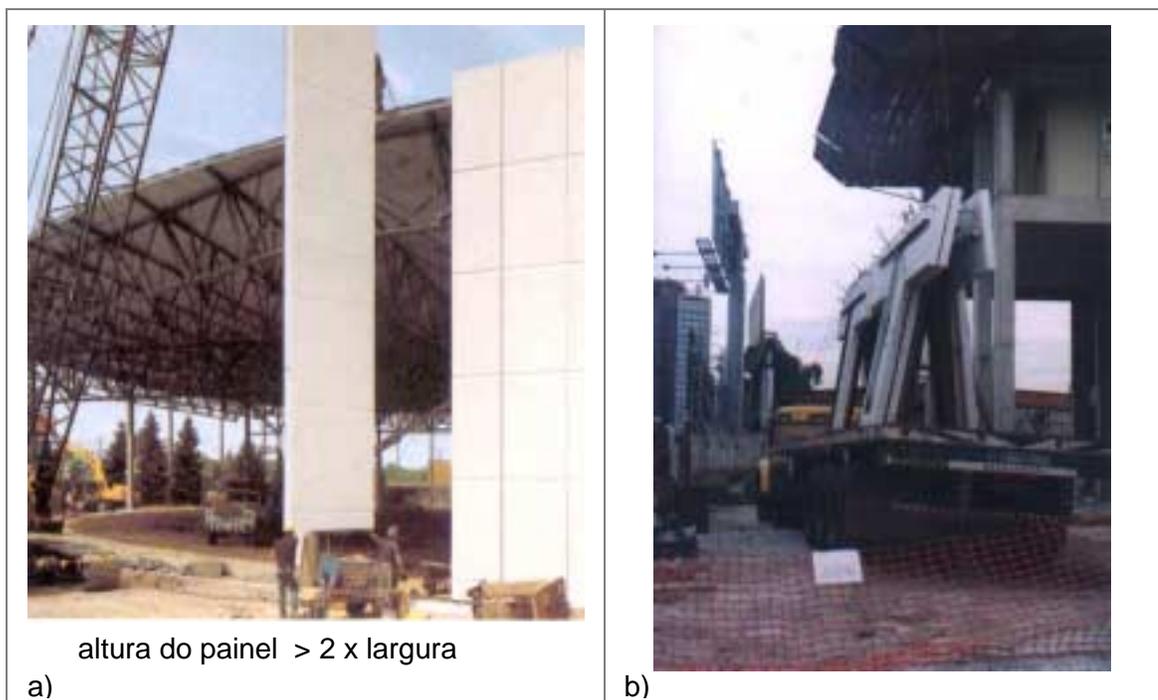


Figura 4-1– Montagem e Transporte das peças

4.1.2 Localização dos equipamentos de transporte vertical

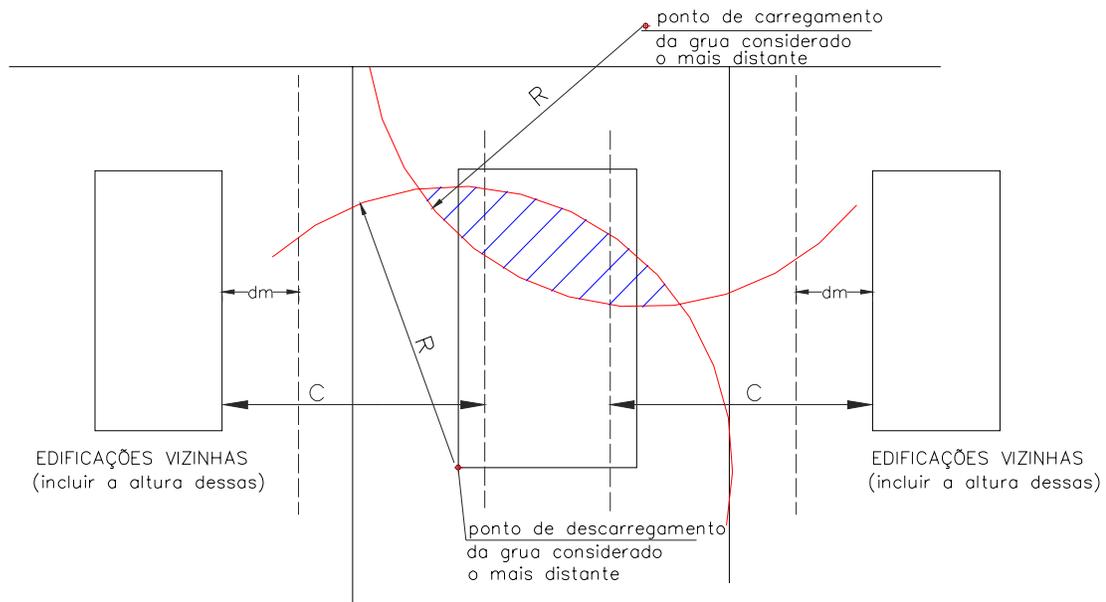
Segundo a nova versão da Norma Regulamentadora - NR18 - (1998), um dos cuidados a ser tomado em relação à localização, montagem e operação dos equipamentos de transporte vertical é com a rede elétrica, para evitar acidentes que possam afetar a

segurança e a produtividade da montagem.

No caso dos PPAC, os equipamentos de transporte vertical são, geralmente, os guindastes móveis ou os guindastes de torre (gruas). As possíveis localizações do guindaste móvel devem ser previamente definidas, levando-se em conta algumas características apresentadas no item 4.4.1. No entanto, sua localização é mais flexível do que a da grua, que grua tem uma localização praticamente fixa no decorrer de toda a obra. Por isso sua localização deve ser criteriosamente analisada, a fim de otimizar ao máximo sua utilização.

Então, para a análise da localização da grua, alguns fatores devem ser considerados: o comprimento da lança, o ponto mais distante de içamento (carregamento) e o de descarregamento, e a capacidade da grua, que é função do seu modelo, assunto tratado no item 4.4.2. A Figura 4-2, desenvolvida por Souza e Franco (1997), exemplifica como analisar a melhor localização da grua no canteiro de obras.

Esses mesmos autores reuniram alguns questionamentos que merecem ser discutidos, pois buscam dar mais subsídios para a definição da localização da grua. Por exemplo: é necessário furar a laje? é viável utilizar um orifício da laje, como o poço do elevador? quais são as distâncias das construções vizinhas? qual seria a posição mais adequada para as fundações da grua? a localização escolhida leva em consideração a facilidade de montagem e desmontagem das peças da grua?



R = raio = comprimento máximo da lança compatível com a carga

C = comprimento total da lança

 região possível de localização da grua

Figura 4-2 – Esquema para análise da localização da grua (SOUZA; FRANCO, 1997)

4.1.3 Método e seqüência de montagem

O ACI (1993) recomenda que algumas considerações relativas aos métodos e a seqüência de montagem dos PPAC na estrutura devem ser analisadas durante a elaboração do planejamento do empreendimento, quais sejam:

- A montagem das peças na estrutura deve ser liberada após análise dos tempos mínimos recomendados para que certas deformações ocorram, como a retração irreversível e fluência nas primeiras idades. Além da consideração sobre os tempos de deformação, deve-se levar em conta a estabilidade do edifício, ou seja, a fixação dos painéis na estrutura deve ser homogênea, sem causar solicitações num só ponto, ou num só lado da estrutura;
- Antes de iniciar a montagem das peças é necessário que se faça um *check-list* na estrutura, nas fundações e nas ancoragens, a fim de assegurar que a área

esteja pronta para a montagem; e

- Verificar se vai haver a necessidade de algum tipo de rotação da peça, ou seja, se haverá painéis que serão transportados numa posição e fixados em outra. E se foram previstos suportes para distribuir as solicitações devido à essa rotação, como, por exemplo, a construção de mais uma linha de içamento, evitando que a peça fissure ou quebre quando for içada. Isto costuma ocorrer quando os painéis são transportados na posição horizontal.

4.1.4 Considerações sobre o içamento

Todo equipamento de içamento deve ser testado e ter claramente demarcada a sua capacidade.

Se as peças foram planejadas para serem içadas numa posição particular, é essencial que essas especificações fiquem bem definidas, tanto nas instruções de montagem quanto com marcas nas próprias peças (BSI, 2000).

Recomenda-se que os dispositivos de içamento sejam os mais padronizados possível e que se localizem em posições que, após a montagem, não prejudiquem a estética do painel (PCI, 1985a e TAYLOR, 1992).

4.1.5 Considerações sobre as fixações

Além das fixações definitivas, é necessário discutir a necessidade de projetar fixações temporárias. É que, geralmente, quando as fixações definitivas requerem solda, *grouteamento* ou concretagem in loco, é recomendável planejar a utilização de fixações temporárias, a fim de não atrasar ou interferir na montagem de outras peças (PCI, 1989).

Essas fixações temporárias devem ser facilmente desmontáveis, suportar todas as cargas atuantes no edifício e não ter nenhuma ligação com o equipamento de transporte vertical (BSI, 2000). Essas fixações temporárias podem ser feitas por amarração, ou seja, amarrando o painel na estrutura, ou por aparafusamento, que também terá a função de alinhar a peça. A Figura 4-3 ilustra um esquema de fixação que atua tanto como fixação

temporária quanto como de alinhamento.

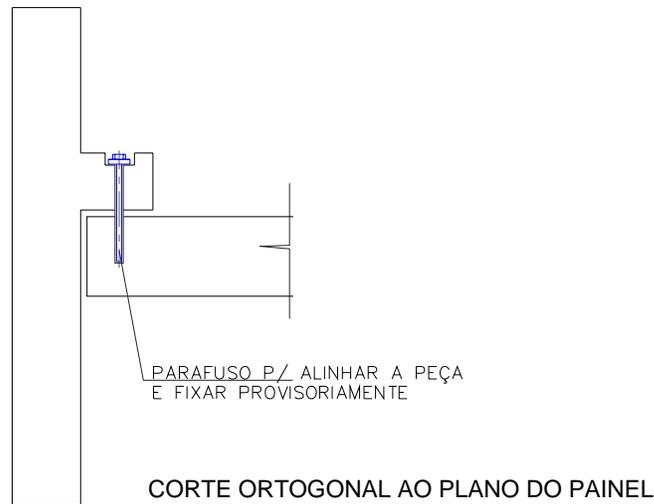


Figura 4-3 – Fixação temporária e de alinhamento (TAYLOR, 1992)

O PCI (1985a) faz algumas considerações sobre as fixações em geral, que devem ser levadas em conta nesta etapa de elaboração de projetos e planejamentos para a montagem:

- As fixações devem ser projetadas para que sejam acessíveis aos trabalhadores a partir de uma escada ou de uma plataforma estável. As fixações que requerem que o trabalhador fique em posições não ergonômicas e aquelas que exigem andaimes devem ser evitadas;
- Todas as fixações com funções similares devem ser padronizadas, para permitir que a mão-de-obra se familiarize com mais facilidade com o sistema;
- Quando as fixações definitivas forem feitas com preenchimento de argamassa ou *groute*, recomenda-se, primeiro, alinhar as peças e depois fixá-las definitivamente;
- Os calços utilizados para alinhar os painéis na montagem só devem ser removidos depois que as fixações definitivas tiverem sido feitas, a menos que esses calços sejam deformáveis e fabricados com material que apresente boa resistência à corrosão. Os calços plásticos devem ser evitados, pois são

deformáveis e podem gerar erros no nivelamento das peças (TAYLOR, 1992).

4.1.6 Armazenamento

Apesar da recomendação para fazer a montagem *just in time*, há muitas vezes a necessidade de armazenar as peças em canteiro. Nessas situações, é interessante analisar alguns aspectos expostos nas normas BSI (2000) e ACI (1993), quais sejam:

- o local para armazenamento: se o terreno ou a laje suporta o peso dos painéis;
- a posição de armazenamento: de preferência na posição em que será montada;
- a necessidade de cobrir as peças para protegê-las do acúmulo de sujeira, pó ou manchamento por contato com outros materiais; e
- a seqüência de armazenamento dos painéis, de preferência sempre ordená-los na mesma ordem em que serão montados.

Portanto, a análise dos fatores referentes à seqüência e envio das peças, localização da grua, métodos e seqüências de montagem, içamento, fixação e armazenamento, considerados nos projetos e planejamentos de forma sistêmica, é de grande importância para garantir a eficiência da montagem dos PPAC na estrutura.

4.2 TOLERÂNCIAS

A principal razão para o estabelecimento, em projeto, de tolerâncias é definir critérios de construção que assegurem que as partes se encaixem sem necessidade de modificações. Isto atende aos requisitos de economia, produtividade, funcionalidade, estanqueidade e estética.

Segundo a ABNT (1982), “*tolerância é a diferença máxima ou mínima admissível entre a medida de projeto e a medida real, e varia de acordo com as características próprias de cada material*”.

A falta de especificações ou especificações incorretas das tolerâncias de construção são algumas das causas que contribuem para o não cumprimento dos requisitos relativos ao

desempenho funcional do edifício, especialmente, os de estanqueidade e estética (COMMITTED TO HOUSING QUALITY / ONTARIO ASSOCIATION OF ARCHITECTS – CMHC/OAA, 1996).

Para o caso das fachadas em PPAC, a estanqueidade pode ser afetada devido às variações dimensionais das juntas que, conseqüentemente, influem no desempenho do material selante. A qualidade estética é afetada devido a fatores como falta de alinhamento das juntas entre painéis, painéis encurvados ou empenados e falta de prumo dos componentes da fachada.

Além dos requisitos relativos ao desempenho funcional das fachadas, as especificações de tolerância também influem na qualidade e produtividade da fabricação e da montagem das peças. Para tanto, recomenda-se o estabelecimento de tolerâncias adequadas, a fim de evitar retrabalhos, perdas de peças por não encaixarem em seus vãos, ou recolocação de peças por estarem desalinhadas e outras.

O PCI (1985) e o New Zealand Concrete Society – NZCS – (1991) propõem que as tolerâncias sejam analisadas sob três formas: de produto, de montagem e de interfaces.

Propõe-se, ainda, que os valores de tolerância referentes aos componentes pré-fabricados, apresentados neste capítulo, os quais são dados do PCI e do ACI, sejam assumidos como referência pelo mercado brasileiro, que não têm normas que balizem o estabelecimento dessas tolerâncias.

4.2.1 Tolerância de produto

As tolerâncias de produto definem as variações dimensionais que os componentes do PPAC podem apresentar para que o controle de qualidade na etapa de fabricação possa aceitá-los ou não. De acordo com o ACI (1990), qualquer componente pré-fabricado de forma plana deve ser controlado por meio de suas dimensões físicas, quais sejam:

Comprimento e altura; espessura da secção transversal; posicionamento das aberturas; alinhamento lateral das ancoragens e considerações sobre encurvamentos e empenamentos das peças.

A Figura 4-4 e a Tabela 4-1 ilustram as especificações de tolerâncias relativas às dimensões físicas dos painéis pré-fabricados de concreto, a serem consideradas em fábrica no controle de qualidade das peças.

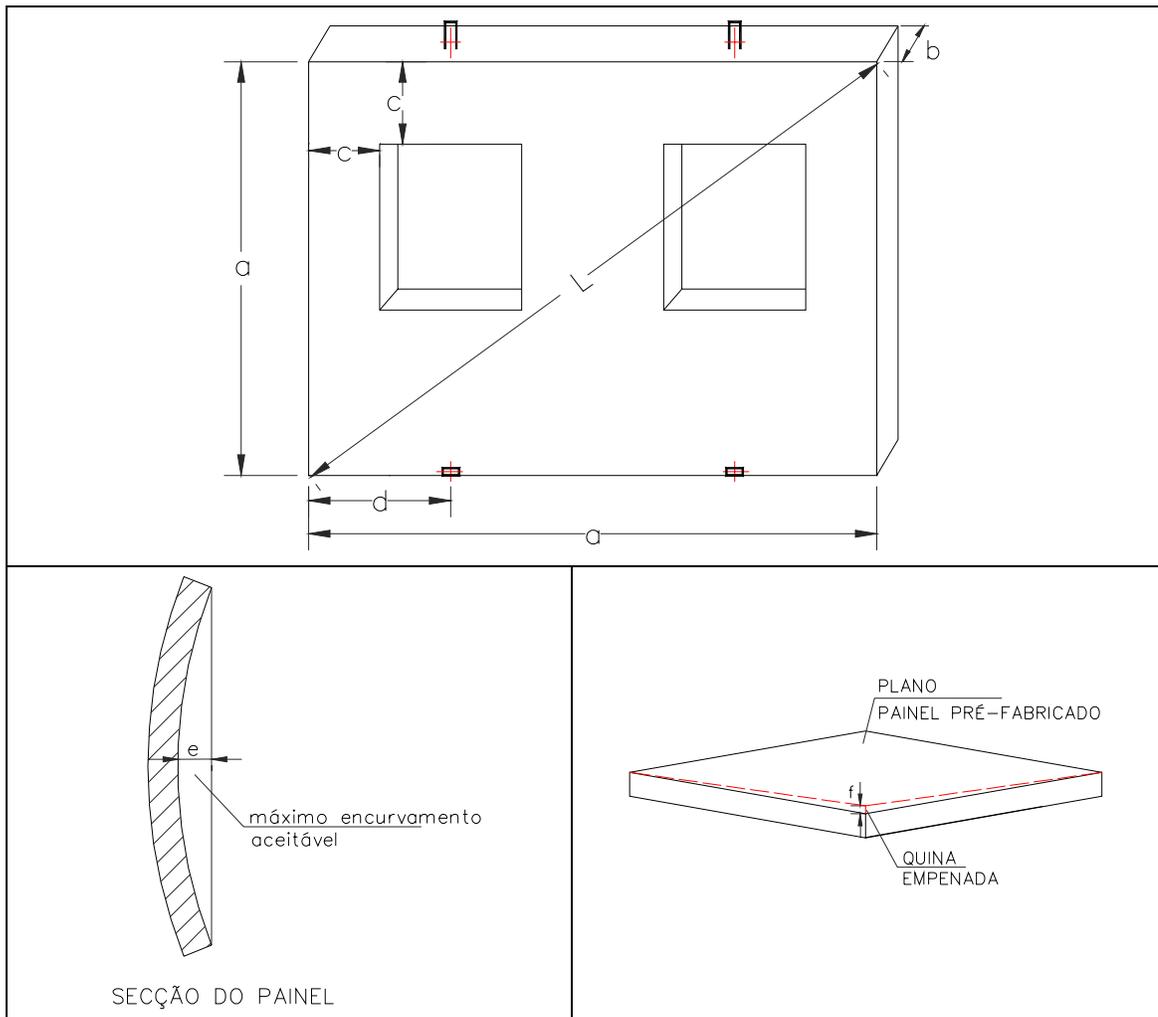


Figura 4-4 – Esquemas de tolerâncias a serem consideradas em projeto para o aceite das peças na etapa de fabricação (PCI, 1985; PCI, 1989)

Tabela 4-1– Tolerâncias de fabricação de elementos planos (PCI, 1985; PCI, 1989 ;ACI, 1990)

ITEM	DESCRIÇÃO	TOLERÂNCIA
a	Comprimento e ou altura	Menor que 3m $\pm 3\text{mm}$ Entre 3 e 6 .+3mm, -4,50mm Entre 6 e 12m $\pm 6\text{mm}$
b	Espessura da secção transversal	-3mm, +6mm
c	Posicionamento das aberturas	$\pm 6\text{mm}$
d	Alinhamento lateral dos dispositivos de fixação ancorados na peça	
	Parafusos	6mm
	Chapas soldadas	25,00mm
	Ancoragens	12,50mm
e	Encurvamento	$\pm L/360$ (máximo=25,00mm)
f	Empenamento (entre as quinas adjacentes)	1,50mm para cada 300mm

4.2.2 Tolerância de montagem

As tolerâncias de montagem são aquelas que estabelecem critérios de aceitação do componente pré-fabricado depois de montado na estrutura, ou seja, o quanto um painel pode estar desalinhado do outro, quais as aberturas máximas aceitáveis de juntas, quais as variações de prumo aceitáveis, entre outros.

O NZCS (1991) recomenda que as tolerâncias de montagem devem ser tão maiores quanto possíveis para contribuir na eficiência da montagem e que os projetistas façam as especificações em conjunto com fabricantes e montadores.

As tolerâncias de montagem devem ser analisadas sob três aspectos:

- componente pré-fabricado com componente pré-fabricado, conforme Figura 4-5 e Tabela 4-2;
- componente pré-fabricado com estrutura moldada in loco (em concreto ou alvenaria); e
- componente pré-fabricado com estrutura metálica. Os dois últimos aspectos

conforme Tabela 4-3.

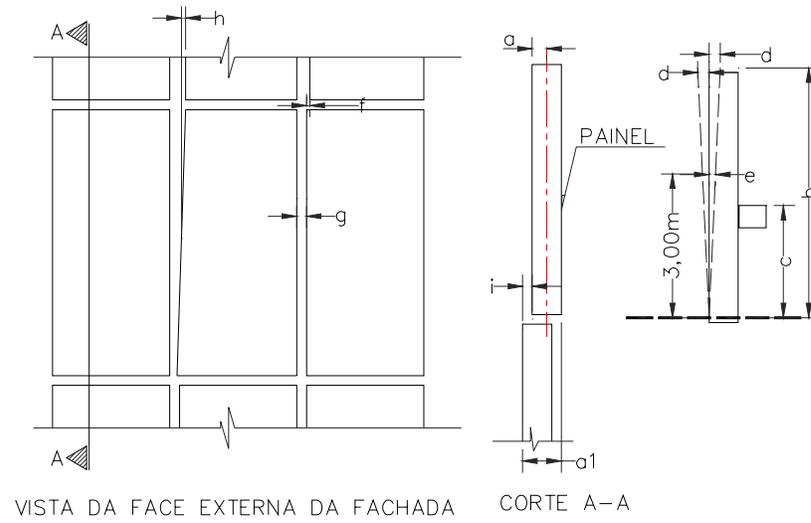


Figura 4-5 – Esquema de tolerâncias a serem consideradas em projeto para etapa de montagem (PCI, 1985)

Tabela 4-2 - Tolerâncias de montagem de elementos planos (PCI, 1985 ;ACI, 1990)

Item	Descrição	Crítérios de tolerância
a	Distância entre eixo e a face externa do painel	± 12 mm
b	Altura até o topo do painel	
	painel externo	± 6 mm
	painel interno	± 12 mm
c	Apoio	
	Distância menor	12,50 mm
	Distância maior	6 mm
d	Máxima variação de prumo	25 mm
e	Máxima variação de prumo a uma altura de 3m	± 6 mm
f	Máximo desalinhamento das quinas combinadas	± 6 mm
g	Variação da espessura das juntas	± 6 mm
h	Máximo afinilamento das juntas	9 mm
i	Variação de alinhamento entre as faces do painel	± 6 mm

Tabela 4-3 – Tolerâncias relevantes para serem consideradas em projeto para a etapa de montagem (PCI,1989)

Tolerâncias	Estrutura de concreto moldada in loco	Estrutura de aço
Variação de prumo (alinhamento vertical)	A cada 3,00m - 6,00 mm Tmax= ± 25 mm válido até 30 metros	até 20 pavimentos Tmax= ± 25 mm (interno) = ± 50 mm (externo) Acima de 20 pavimentos + 1,50 mm a cada pavimento adicional, ou Tmax = ± 50 mm (interno) = ± 75 mm (externo)
Variação em nível (altura)	Até 3,00 m ± 6 mm Maior que 6,00 m ± 10 mm	Não determinada (depende do fornecedor)
Variação do limite do edifício com colunas e paredes	qualquer vão $\pm 12,5$ mm vão < 6m $\pm 12,5$ mm vão < 12 m ± 25 mm	Estabelecido pelo alinhamento das colunas
Variação de dimensão de colunas e vigas	- 6,00 mm + 12,50 mm	1:1000 em alinhamento

colunas e vigas		
Variação nas localizações de ancoragens de fixação	$\pm 6,00$ mm	Não determinado

4.2.3 Tolerâncias de Interfaces

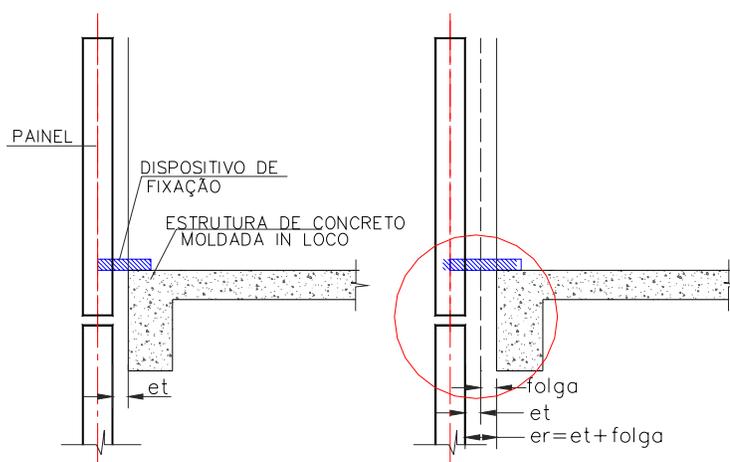
Essas tolerâncias são aquelas especificações relativas aos componentes que farão interface com os PPAC, como, por exemplo, as tolerâncias entre painel e esquadrias. As tolerâncias entre painel e estrutura podem ser consideradas de interface.

As tolerâncias para os componentes que farão interface com os painéis também podem ser analisadas segundo as dimensões físicas desses componentes (tolerância de produto) e seus alinhamentos quando montados em seus locais definitivos (tolerância de montagem).

4.2.4 Estabelecimento das folgas de projeto

Da análise ou sobreposição das três tolerâncias apresentadas anteriormente surge a necessidade de estabelecer folgas entre todos os componentes considerados. Essas folgas têm a finalidade de absorver as tolerâncias relativas às dimensões dos componentes e ao seu alinhamento após montados. A especificação das folgas em projeto deve ser clara e coerente, buscando economia e construtibilidade das peças.

A fim de exemplificar o estabelecimento das folgas, considera-se a Figura 4-6 e a Tabela 4-4 .



CORTE ORTOGONAL AO PLANO DO PAINEL

Figura 4-6 – Esquema para estabelecimento de folga em projeto (exemplo da Tabela 4-4)

Tabela 4-4 – Tolerâncias a serem consideradas para cálculo da folga entre painel e estrutura (Figura 4-6)

1	Tolerância de produto	
	Espessura da seção transversal do painel	-3mm; + 6mm
	Empenamento do painel	+1,50mm
	Varição dimensional da viga (estrutura de concreto moldado no local)	-6mm; +12,50mm
	Sub-total= (considerando pior situação)	+ 20mm
2	Deformações (desconsiderar por facilitar o cálculo de exemplo)	
3	Tolerância de montagem	
	Varição de prumo da estrutura de concreto	± 25mm
4	Ajustes de montagem devido à localização e tipo dos componentes (nada a considerar)	
5	Considerações econômicas	
	Soma algébrica	+45mm
6	Considerações Estruturais (Nenhum ajuste a considerar)	
7	Verificar as condições de tolerâncias mínimas (-3-6-25= 34mm)	
8	Estabelecimento da folga final (45mm)	

O PCI (1989) sugere alguns valores para estabelecimento de folgas, conforme Tabela 4-5.

Tabela 4-5 – Estabelecimento das folgas segundo os PCI (1989)

12,50mm – entre componentes pré-fabricados
25,00mm a 38mm – entre componentes pré-fabricados e estrutura em concreto moldada in loco
25,00mm - entre componentes pré-fabricados e estrutura metálica

Como apresentado neste item, se as tolerâncias não forem consideradas, muitas vezes pode-se inviabilizar a montagem das peças e/ou criar retrabalhos que prejudicam a qualidade e a produtividade da execução das fachadas em PPAC. Entretanto, as tolerâncias devem estar num intervalo que atenda a padrões técnicos e econômicos.

4.3 COORDENAÇÃO MODULAR

A coordenação modular é um sistema que pode servir como referência para a compatibilização espacial e dimensional de todos os elementos presentes em uma obra. Essa compatibilização pode ser realizada mediante um método que implica no emprego de um módulo básico ou de multimódulos (EICKHOFF, 1997).

A coordenação modular estabelece uma linguagem gráfica, descritiva e de especificações que é comum a fabricantes, projetistas e construtores e que pode ser aplicada nas diversas etapas do processo de produção, desde a concepção inicial do projeto até a sua execução em canteiro (LUCINI, 2001).

Salas (1992) destaca, conforme os princípios do grupo Sticking Architecture Research – SAR, que existem sete objetivos principais que justificam a adoção da coordenação modular, quais sejam:

- Facilitar a cooperação entre projetistas, fabricantes, distribuidores e promotores;

- Permitir o uso de componentes padronizados;
- Simplificar a preparação de projetos, possibilitando determinar as dimensões de cada componente no edifício e sua posição em relação a outros componentes e ao edifício como um todo;
- Otimizar a variedade de dimensões dos componentes;
- Permitir a intercambialidade destes componentes, sem preocupação com o material, forma ou método de fabricação;
- Simplificar os trabalhos “in loco”, mediante a racionalização da colocação e união dos componentes, reduzindo ao mínimo os ajustes, retoques e tempos necessários de montagem; e
- Assegurar uma coordenação dimensional entre instalações, unidades de armazenamento e equipamentos complementares com o resto do edifício.

Para o caso dos PPAC, todos esses objetivos se aplicam, especialmente, os tendentes a reduzir ajustes e tempos de montagem, tanto dos componentes do PPAC quanto dos componentes de interface.

É de grande importância que, na etapa de elaboração de projetos, as dimensões das peças sejam estabelecidas por meio da análise de uma quadrícula modular e do estabelecimento de medidas modulares. Para a melhor compreensão desses termos define-se, conforme Lucini (2001):

Quadrícula modular de referência: projeção ortogonal de uma malha espacial sobre um plano horizontal ou vertical. Possibilita o posicionamento de componentes, juntas e acabamentos no projeto e o lançamento de medidas em obra;

Módulo: é o elemento fundamental que define todo o sistema de medidas e espaços modulares. O módulo básico proposto para o Brasil desde 1936 é $M=100\text{mm}=10\text{cm}$ (TEIXEIRA, 1990).

Medida modular: medida de um componente, vão ou distância entre partes da construção. A medida modular inclui o componente e a folga necessária para absorver

tanto as tolerâncias de produto como de montagem;

Medida nominal: medida determinada para o projeto ou produção de um componente, sempre inferior à medida modular, para possibilitar a adição das tolerâncias de produto e montagem;

Junta nominal: distância prevista no projeto entre os extremos adjacentes de dois componentes da construção, considerados a partir da medida nominal;

Ajuste modular: estabelece a dimensão entre a medida nominal e modular de um componente. Nada mais é que o estabelecimento da folga necessária entre componentes para absorver as tolerâncias de produto (fabricação) e montagem, como discutido no item 4.2.

A Figura 4-7 ilustra a medida modular por meio da análise de uma quadrícula modular de referência, e a Figura 4-8, mostra um detalhe esquemático da medida modular de um painel de fachada.

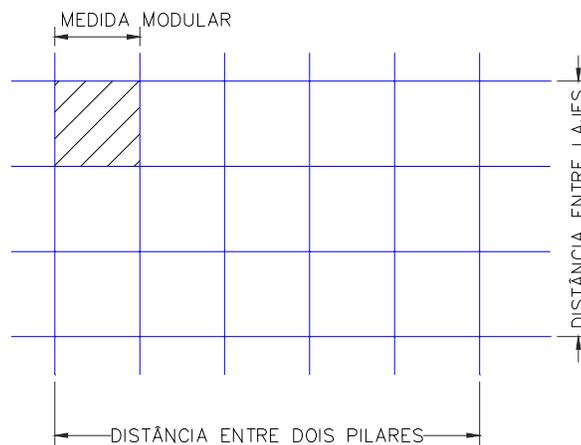


Figura 4-7 – Quadrícula Modular de referência

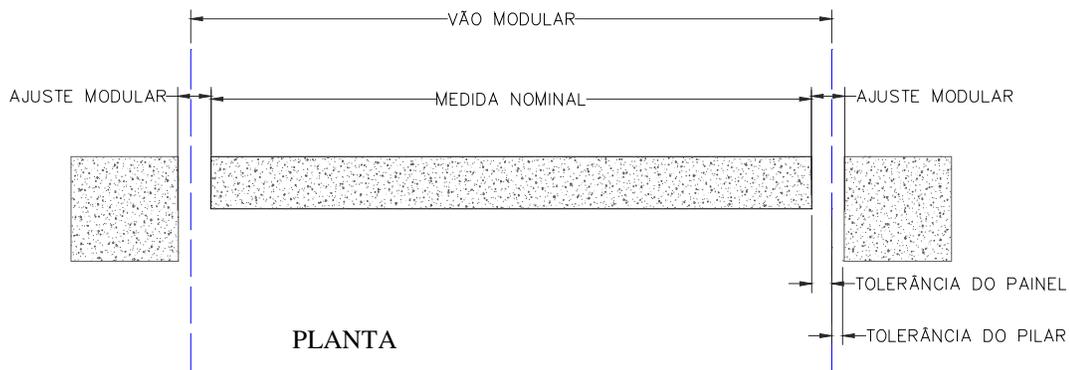


Figura 4-8 – Esquema de vão modular de um painel na fachada

Portanto, a partir da análise das tolerâncias necessárias, tanto de produto quanto de montagem, e do estabelecimento das folgas, pode-se estabelecer as medidas modulares, a fim de padronizar ao máximo as dimensões das peças (painéis).

Conclui-se, então, que a padronização das dimensões dos componentes do PPAC traz algumas vantagens, como:

- diminuição do custo de fôrmas e também aumento da produtividade no processo de fabricação;
- padronização do esquema de fixação do painel na estrutura, conseqüentemente, aumentando a familiaridade da mão-de-obra com o processo de montagem e, portanto, incrementando a produtividade da montagem; e
- compatibilização dimensional entre os componentes que fazem interface com o PPAC.

De forma geral, pode-se dizer que a falta de uniformidade dos projetos das fachadas dificulta a adoção de sistemas modulares. Uma ferramenta que pode contribuir, não para a criação de sistemas modulares, mas, pelo menos para aumentar os níveis de

padronização dos projetos, é a análise do número de repetições das peças nas etapas preliminares de elaboração de projetos (BARTH, 1997).

4.4 EQUIPAMENTO DE TRANSPORTE VERTICAL

Na análise do planejamento da montagem dos PPAC, é essencial que os projetistas conheçam as características dos equipamentos de transporte vertical mais viáveis para cada obra, evitando projetar peças que, chegando ao canteiro, não possam ser transportadas para seu local definitivo, devido à incompatibilidade com as características do equipamento.

Neste item são apresentados os dois equipamentos de transporte vertical, classificados como equipamentos de transporte sem decomposição de movimento, comumente utilizados para montar os PPAC na estrutura, quais sejam: o guindaste móvel e o guindaste de torre (grua) (LICHTENSTEIN, 1987).

4.4.1 Guindaste móvel

Segundo a definição de Lichtenstein (1987), “os guindastes móveis são formados por uma lança treliçada ou telescópica, uma cabina e um chassi montado sobre esteiras, sobre pneus ou sobre rodas de aço para circulação em trilhos”.

Os movimentos básicos dos equipamentos são:

- içamento vertical da carga;
- rotação da lança em torno de um eixo horizontal;
- rotação da cabine e lança em torno de um eixo vertical.

Além destes movimentos básicos, o guindaste equipado com lança telescópica possui a alternativa da telescopagem da lança, aumentando o alcance do equipamento.

Atualmente, existe grande diversidade de equipamentos no mercado e, para a análise da melhor alternativa, é recomendável conhecer a tabela e o gráfico de cargas, em que exista indicação de raio de operação (distância horizontal entre o eixo de rotação do

equipamento e a linha de posicionamento da carga), comprimento da lança, capacidade máxima de carga e custo diário do equipamento. O Gráfico 4-1 e a Tabela 4-6 mostram como calcular a capacidade de carga dos guindastes móveis.

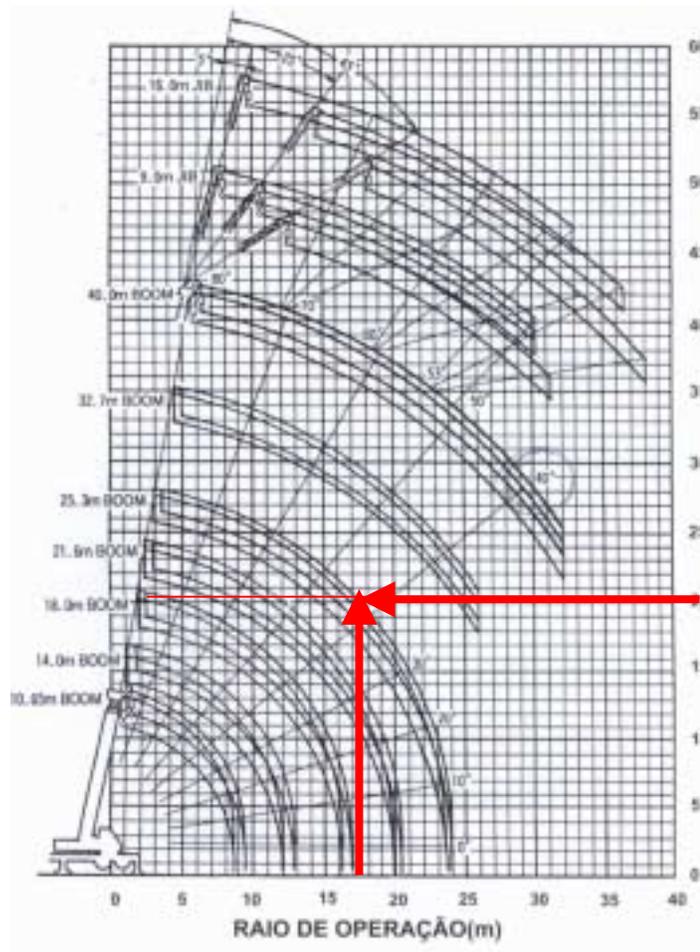


Gráfico 4-1– Capacidade física de um guindaste tipo TG-500E -TADANO (GONÇALVES GUINDASTES, 2000)

Tabela 4-6 – Capacidade de içamento do guindaste móvel tipo TG-500E (GONÇALVES GUINDASTES, 2000)

Patolas Inteiramente Estendidas															
Patola Frontal Estendida															
								C	9m			16m			
B \ A	10,65m	14,0m	18,0m	21,6m	25,3m	32,7m	40,0m	E/D	5°	25°	45°	5°	25°	45°	
3,0m	50,00	33,00	28,00	24,00				80°	3,50	2,20	1,20	2,30	1,10	0,60	
3,5m	43,00	33,00	28,00	24,00				79°	3,50	2,20	1,20	2,30	1,10	0,60	
4,0m	38,00	33,00	28,00	24,00	20,00			78°	3,50	2,20	1,20	2,30	1,10	0,60	
4,5m	34,00	30,50	28,00	24,00	20,00			77°	3,32	2,14	1,19	2,18	1,07	0,59	
5,0m	30,20	29,00	28,00	24,00	20,00			76°	3,13	2,08	1,18	2,06	1,05	0,59	
5,5m	27,50	26,50	25,60	23,20	23,20	13,00		75°	2,97	2,02	1,17	1,96	1,02	0,58	

6,0m	25,00	24,00	23,50	21,50	23,50	13,00		73°	2,68	1,91	1,15	1,78	0,97	0,57
6,5m	22,70	22,30	21,80	19,90	18,10	13,00	7,50	70°	2,33	1,74	1,10	1,56	0,91	0,56
7,0m	20,70	20,30	20,00	18,40	16,80	13,00	7,50	68°	2,15	1,64	1,09	1,44	0,87	0,54
7,5m	18,90	18,60	18,50	17,10	15,70	13,00	7,50	65°	1,91	1,49	1,07	1,27	0,81	0,53
8,0m	17,40	17,10	17,00	15,90	14,80	12,30	7,50	63°	1,78	1,39	1,03	1,18	0,78	0,51
9,0m	14,20	14,10	14,10	13,60	13,20	11,00	7,50	60°	1,60	1,26	1,00	1,06	0,74	0,50
10,0m		11,50	11,50	11,45	11,40	10,00	7,50	58°	1,30	1,19	0,98	0,98	0,72	0,49
11,0m		9,45	9,45	9,40	9,40	9,10	6,95	55°	0,90	0,85	0,80	0,70	0,60	0,47
12,0m		7,85	7,85	7,85	7,85	8,30	6,45	53°	0,70	0,65	0,60	0,55	0,45	0,40
14,0m			5,65	5,65	5,65	6,45	5,60	50°	0,40					
15,0m			4,10	4,10	4,05	4,90	4,80							
18,0m				2,90	2,90	3,75	4,10							
20,0m				1,90	1,90	2,85	3,40							
22,0m					1,20	2,10	2,65							
24,0m						1,50	2,05							
26,0m						1,00	1,55							
28,0m							1,15							
30,0m							0,80							
32,0m							0,50							

A= altura da lança
 B= Raio de operação
 C= comprimento do JIB
 D= Ângulo de inclinação do JIB
 E= Ângulo da lança c/ JIB montado

A título de exemplo de como utilizar esse gráfico e essa tabela de cargas tem-se: uma distância de 15m entre o eixo do equipamento e a posição de montagem de um painel de 2.000Kg, a uma altura de içamento de 20m. A partir da análise do gráfico anterior, conclui-se que é necessário uma lança com 18,00 m, e que terá uma capacidade de 4.100 Kg. Então, para essa situação é viável a utilização deste guindaste. Se, por acaso, fosse necessário içar uma peça com 5.000Kg, esse modelo de guindaste não seria suficiente.

A escolha do tipo de guindaste mais viável para a obra deve ser feita o mais cedo possível, de preferência na etapa de elaboração dos projetos, pois, além de influir na produtividade da montagem das peças, irá interferir no custo do processo de produção como um todo.

A capacidade do guindaste também depende do posicionamento das esteiras (retraídas ou estendidas), do uso ou não de patolas (no caso de guindaste sobre rodas), tipo de contrapeso e comprimento da lança.

Outro aspecto a ser analisado é relativo às condições de apoio, ou seja, sobre qual tipo de terreno o equipamento estará apoiado, pois o guindaste deve estar sempre em nível e apoiado sobre terreno firme.

Os guindastes sobre esteiras, quando estiverem trabalhando, podem utilizar estrados de madeira, que evitam a possibilidade de afundamento. Em circunstâncias especiais (por exemplo, em terreno muito mole), ou quando existir a necessidade de distribuir a carga em maior área, devem ser usadas madeiras resistentes em toda a superfície da operação, como ilustra a Figura 4-9.

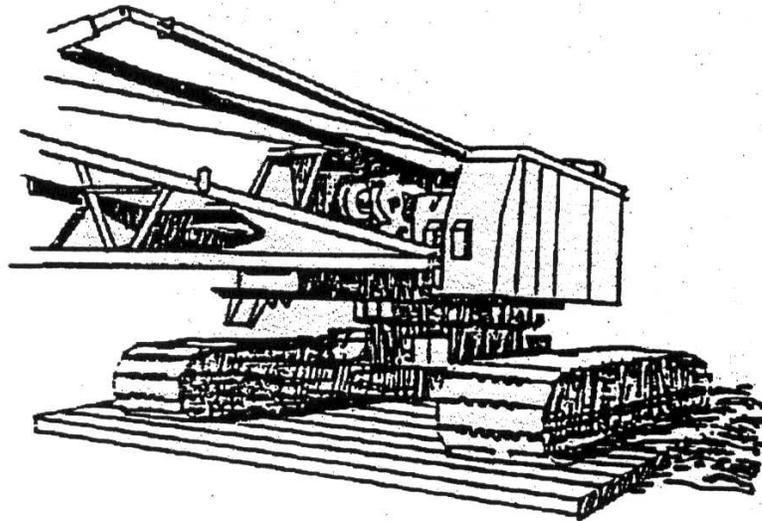


Figura 4-9 – Guindaste móvel sobre esteiras e sobre estrado de madeira (GONÇALVES GUINDASTES, 2000a)

Os guindastes sobre pneus, quando patolados, utilizam pranchas de madeira sob as sapatas. É recomendável que estas pranchas estejam dispostas umas nas outras, formando uma área pelo menos três vezes maior que a área de uma sapata. Recomenda-se, ainda, que as operações sejam executadas com as patolas totalmente estendidas, eliminando todo o peso da máquina sobre os pneus, como ilustra a Figura 4-10.

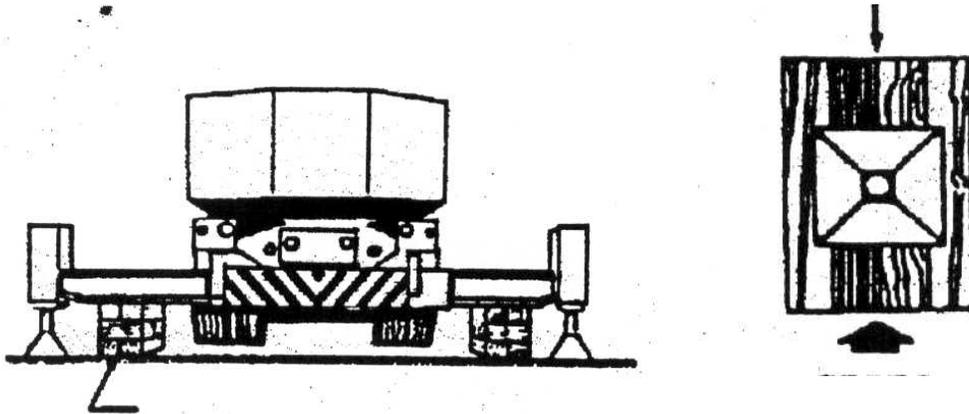


Figura 4-10 – Patola de guindaste móvel sobre rodas (GONÇALVES GUINDASTES, 2000a)

Portanto, se o canteiro de obras apresentar espaço suficiente para circulação e movimentação, tanto do guindaste como de sua lança, acesso para entrada e patolamento dos mesmos, terreno firme e compactado, o guindaste móvel pode ser uma alternativa tecnicamente viável. No entanto, após essa análise técnica é necessário uma análise econômica, ou seja, se o custo de locação, que depende do tipo do guindaste e de sua capacidade de carga e içamento, é viável para o empreendimento.

4.4.2 Guindaste de torre (grua)

Noss guindastes de torre, também denominados grua, a lança é suportada por uma estrutura metálica vertical denominada “torre”. Existe uma enorme variedade de modelos de guias, podendo-se citar :

- Torre giratória com lança móvel (horizontal ou inclinada);
- Torre estática com lança horizontal;
- Torre giratória com lança horizontal;
- Torre estática com lança móvel; e
- Torre estática com lança articulada.

Segundo Lichtenstein (1987), o que caracteriza todos os modelos mencionados anteriormente como guias é a existência de uma lança (horizontal, inclinada ou

articulada) que é suportada por uma torre metálica (estática ou giratória).

Dentre esses modelos, as guas de torre estática com lança horizontal são as mais utilizadas para a montagem dos PPAC no mercado brasileiro. Por isso, somente as características deste equipamento são apresentadas neste trabalho.

4.4.2.1 Grua de torre estática com lança horizontal

O modelo de grua de torre estática com lança horizontal é formado basicamente por uma torre, uma lança, uma contra-lança e um sistema de cabos e motores, podendo ser classificadas em:

- Guas fixas ou estacionárias;
- Guas ascensionais;
- Guas móveis sobre trilhos.

A Figura 4-11 ilustra um esquema desses três tipos de guas:

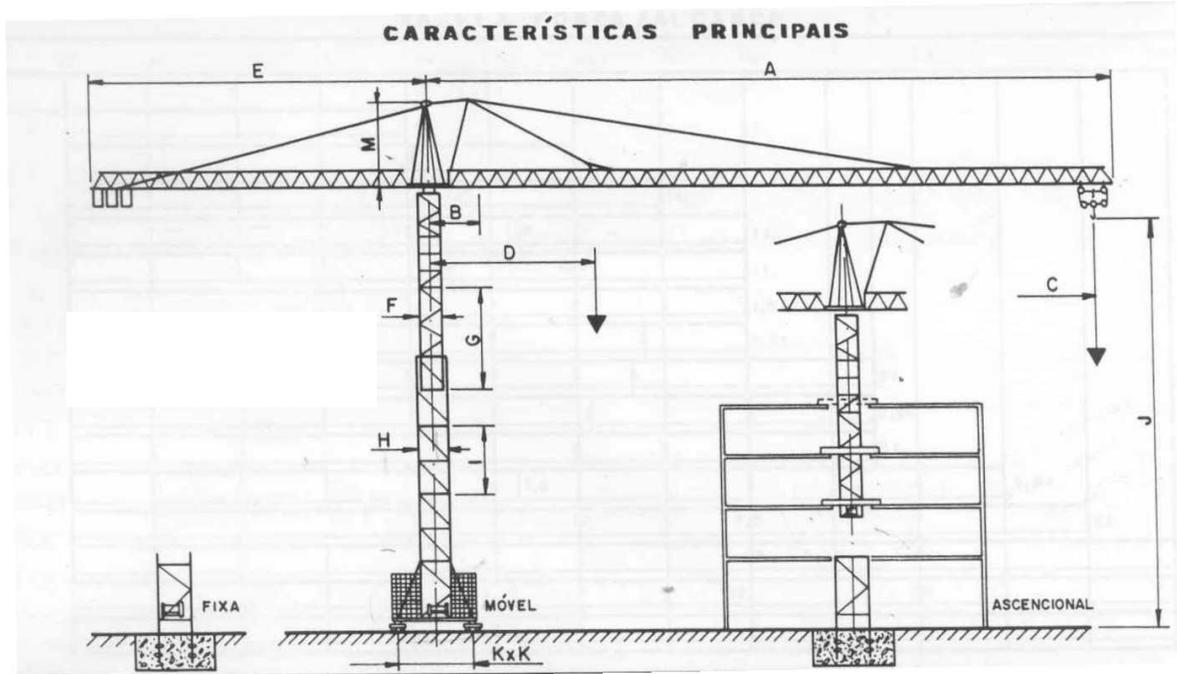


Figura 4-11 – Esquema das guias de torre estática com lança horizontal: fixa, sobre trilhos e ascensional (LICHTENSTEIN, 1987).

As guias fixas fazem três movimentos básicos: içamento vertical, translação da carga ao longo da lança e rotação da lança em torno do eixo da torre; e são apoiadas sobre blocos de fundação de concreto, como ilustra a Figura 4-12. As guias ascensionais têm possibilidade da realização, além dos movimentos básicos da guia fixa, da ascensão do conjunto no interior do edifício, apoiando-se na estrutura deste. E, as guias móveis sobre trilhos podem executar a translação de todo o conjunto ao longo de um segmento de reta ou mesmo de uma curva de grande raio de curvatura (LICHTENSTEIN, 1987).

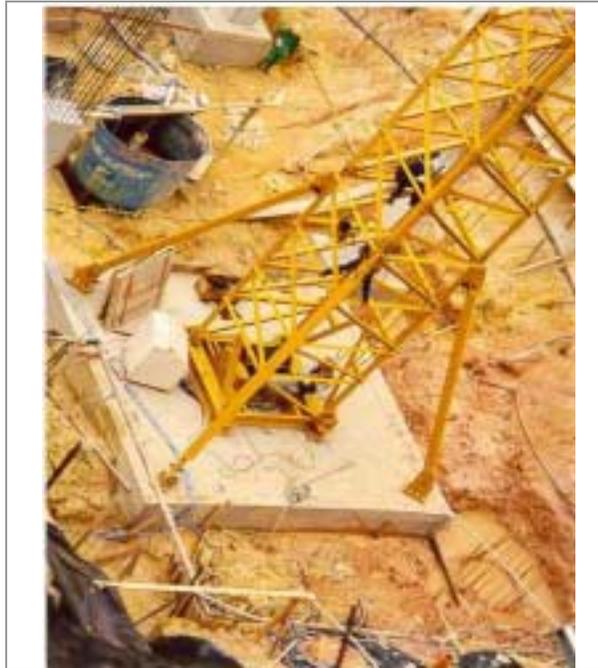


Figura 4-12 – Blocos de fundação das guias de torre estática c/ lança horizontal classificadas como fixas (Edifício Alberto Bonfiglioli – Cruzamento da Av. Paulista com a Alameda Santos)

Para a seleção do tipo de grua é necessário, primeiro, analisar as distâncias horizontais e verticais de carregamento e descarregamento necessárias, segundo a localização da grua e as cargas de içamento. A Tabela 4-7 ilustra as capacidades de içamento das guias em função do seu modelo e das distâncias de carregamento ou descarregamento necessárias.

Tabela 4-7 – Capacidade de içamento das guias de torre estática de lança horizontal (CENTRAL LOCADORA, 2002)

CAPACIDADE / ALCANCE														
	(m)													
TIPO	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	47,5	55	60	65
BR-20	1t													
BR-30	1t													
BR-35	1t													
BR-40	1t													
BR-45	1,5t													

BR-60	1t											
BR-100	2t											
BR-125	2,5t											
BR-150	3t											
BR-200	3,6t											
BR-300	5t											
BR-400	6t											
BR-500	7,7t											
BR-650	10t											

4.4.2.2 Análise comparativa entre as guias de torre estática com lança horizontal

Dentre os três tipos de guias de torre estática com lança horizontal apresentadas, pode-se dizer que o emprego das guias móveis sobre trilhos só é viável em terrenos de grandes dimensões, devido à sua movimentação, feita através da translação de todo o seu conjunto.

Para a construção de edifícios de múltiplos pavimentos em regiões urbanas é mais viável a utilização de grua fixa ou grua ascensional. Para uma melhor análise da escolha desses dois modelos de guias, apresenta-se, na Tabela 4-8, dados comparando as vantagens e desvantagens do emprego de cada uma delas. Cabe ressaltar que, além da análise das vantagens e desvantagens da utilização de cada um desses tipos, é preciso observar qual é a localização definida, pois este é um aspecto de extrema importância para a escolha do tipo da grua.

Tabela 4-8 – Tabela comparativa entre guias de torre estática com lança horizontal fixa e ascensional (LICHTENSTEIN,1987; GONÇALVES GUINDASTE,2000; CENTRAL LOCADORA, 2002)

	GRUA ESTACIONÁRIA	GRUA ASCENCIONAL
Posição no canteiro	Deve ser prevista área de canteiro para a base da grua,o que em terrenos pequenos, pode ser uma dificuldade.	Não exige área de canteiro
Suporte da base	Bloco de concreto especialmente construído sobre estacas	Eventualmente, pode ser apoiada, para a montagem inicial, em bloco de concreto da própria estrutura do poço de elevador, com possível reforço. Após o início da ascensão, a base passa a ser apoiada na estrutura , gerando a necessidade de eventual reforço.
Montagem inicial	Na montagem inicial, geralmente é empregado um guindaste móvel.	Idêntica
Altura da torre	Normalmente, na montagem inicial a torre tem uma pequena altura. À medida que a estrutura vai ficando pronta, vai se montando a torre da grua. O aumento da altura da torre pode ser realizado por acoplamento de novos módulos ou por mecanismos de telescopagem, independentemente do andamento da estrutura. A altura total da torre é dada pela altura do edifício, somada a uma altura livre pré-estabelecida de aproximadamente 6 metros.	A altura inicial da torre é idêntica à da correspondente grua estacionária. Com o andamento da estrutura, a torre permanece a mesma, apenas o conjunto inteiro ascende. Com isto, é reduzida a altura total necessária de torre com a contrapartida do custo do mecanismo ascensional.

Estaiamento da torre	A torre é estaiada na estrutura conforme espaçamento recomendado pelo fabricante. O estaiamento, além do custo de estais e quadros, representa uma carga extra na estrutura, o que, eventualmente, pode representar a necessidade de reforço.	A torre é apoiada na laje da estrutura. Para tanto, esses esforços devem ter sido considerados em cálculo.
Dimensão da lança	Locada fora da torre do edifício, normalmente está localizada fora do baricentro do edifício, o que tende a gerar a necessidade de comprimentos de lança maiores.	Podendo ser locada no corpo do edifício, está próxima do baricentro do edifício, o que tende a gerar comprimentos de lança menores.
Desmontagem	Processo de desmontagem exatamente inverso à montagem, realizando-se sem dificuldades. A desmontagem pode ser realizada ao final da obra, por interferir muito pouco no andamento desta.	Processo de desmontagem muito dificultado, com lança e contra-lança tendo de ser apoiadas na última laje e descidas através de equipamento auxiliar. A laje de cobertura, neste caso, deve prever este carregamento extra. No caso da grua ser montada no poço do elevador, normalmente, sua desmontagem deve se dar antes da concretagem da caixa d'água e casa de máquinas. Isto leva a grua ser empregada apenas na fase de estrutura e, possivelmente, alvenaria da obra.

Pode-se, então, concluir que há possibilidade de utilizar tanto os guindastes móveis quanto os fixos (gruas) para a montagem dos PPAC nas fachadas dos edifícios, mas essa escolha depende de análises das condições do canteiro de obras, das características de

cada equipamento e dos recursos financeiros direcionados para alocar tais equipamentos.

Após a análise desses quatro fatores (projeto e planejamento do processo de montagem, tolerâncias, coordenação modular e equipamentos de transporte), conclui-se que todos devem ser criteriosamente estudados e definidos na etapa de elaboração dos projetos e da concepção do empreendimento, para que todo o potencial de aumentar a velocidade de execução das fachadas e incrementar os níveis de industrialização do processo seja atingido.

5 ESTUDOS DE CASO

A apresentação das obras²⁶, neste capítulo, visa exemplificar como a tecnologia construtiva de painéis pré-fabricados arquitetônicos de concreto está sendo utilizada na Grande São Paulo.

Para o desenvolvimento dos estudos de caso foi elaborada uma metodologia a fim de direcionar a coleta e análise dos dados das obras. Desta forma, dividiu-se este capítulo em três partes: apresentação da metodologia utilizada para o desenvolvimento do estudo de caso; descrição dos dados coletados nas obras; e análise crítica e comparativa desses dados.

5.1 METODOLOGIA UTILIZADA PARA DESENVOLVIMENTO DO ESTUDO DE CASO

Para o desenvolvimento desta dissertação foram visitadas algumas obras que utilizaram PPAC em suas fachadas, das quais somente duas fazem parte dos estudos de caso. Isto porque, apesar de cada obra ter a sua peculiaridade, constatou-se que alguns aspectos da utilização dos PPAC são comuns a todas. Por isso, considerou-se que duas obras seriam suficientes para exemplificar a utilização de tal tecnologia. Assim, o estudo dessas obras foi dividido em quatro fases:

1º fase – Seleção das obras pelos seguintes critérios:

- quanto à localização: Grande São Paulo;
- quanto ao porte da obra: edifícios de múltiplos pavimentos (mais de quatro pavimentos);
- quanto ao fornecedor de PPAC: fornecedores distintos para cada obra apresentada nos estudos de caso;
- quanto à construtora: diferentes construtoras para cada obra dos estudos de

²⁶ Neste trabalho denomina-se como obra todo o processo de construção do empreendimento

caso; e

- quanto ao tipo da estrutura-suporte do edifício: uma obra de estrutura em concreto armado moldada no local e a outra em estrutura metálica, a fim de confrontar aspectos construtivos do PPAC para cada tipologia estrutural.

2º fase - Coleta de dados objetivando obter o máximo de informações dos agentes envolvidos no processo de construção da obra. Essa fase deu-se em quatro etapas:

- contato com os projetistas de arquitetura, de vedação vertical, de fixações e de instalações;
- contato com os fornecedores de PPAC (visita às fábricas dos painéis);
- contato com as equipes de montagem dos PPAC (visita às obras e acompanhamento da montagem); e
- contato com as construtoras responsáveis pelas obras escopo deste capítulo.

3º fase - Descrição dos dados coletados nas obras seguindo a mesma seqüência dos assuntos tratados nos Capítulos 2, 3 e 4. A apresentação dessa terceira fase está subdividida em quatro etapas:

- caracterização das obras;
- caracterização dos componentes do PPAC;
- caracterização dos fatores que interferem no desempenho das fachadas em PPAC; e
- caracterização dos fatores que interferem no processo da montagem dos PPAC na estrutura.

4º fase - Análise crítica e comparativa dos dados levantados nas duas obras. Essa fase também é subdividida em outras três etapas:

- dos componentes do PPAC;
- dos fatores que interferem no desempenho das fachadas em PPAC; e
- dos fatores que interferem no processo da montagem dos PPAC na estrutura.

A Figura 5-1 mostra, resumidamente, o esquema da metodologia utilizada para o desenvolvimento do presente estudo de caso.

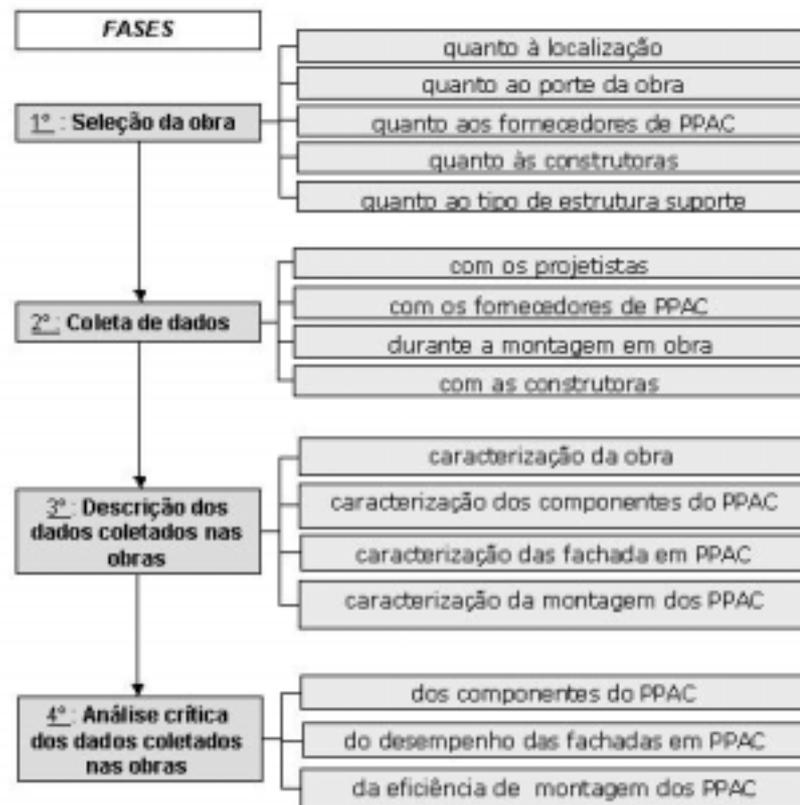


Figura 5-1 - Esquema da metodologia utilizada para o desenvolvimento dos estudos de caso

5.2 DESCRIÇÃO DOS DADOS COLETADOS NAS OBRAS

A descrição e a caracterização dos dados deste item reportam os dados coletados em visitas aos canteiros das obras e às fábricas dos fornecedores de PPAC, bem como as entrevistas com projetistas e construtores.

5.2.1 *Obra-1*

5.2.1.1 Caracterização da obra

A obra 1 localiza-se na Praça IV Centenário, em Guarulhos - S.P., próximo ao Aeroporto Internacional de Guarulhos. A obra apresenta duas torres, um flat e um hotel, totalizando uma área de fachada de 13.200 m², o que equivale a aproximadamente 1.778 peças. A obra é em estrutura metálica, com fôrma de laje

tipo steel deck. Uma das torres tem 21 andares e a outra, 18 andares⁽²⁷⁾. A Figura 5-2 ilustra a fachada da torre 1 (hotel).



Figura 5-2 –Vista da Fachada (Obra 1)

5.2.1.2 Caracterização dos componentes do PPAC

Painel

O componente painel da Obra-1 tem uma espessura média de 10cm, sendo que 4cm são considerados camada de revestimento. A maioria das peças dos pavimentos tipo tem secção como apresentado na Figura 5-3a), em que o poliestireno expandido foi utilizado para diminuir o peso das peças⁽²⁷⁾.

⁽²⁷⁾ Entrevista com engenheiros da Stamp Pré-Fabricados Arquitetônicos Ltda, em 24 de abril de 2002.

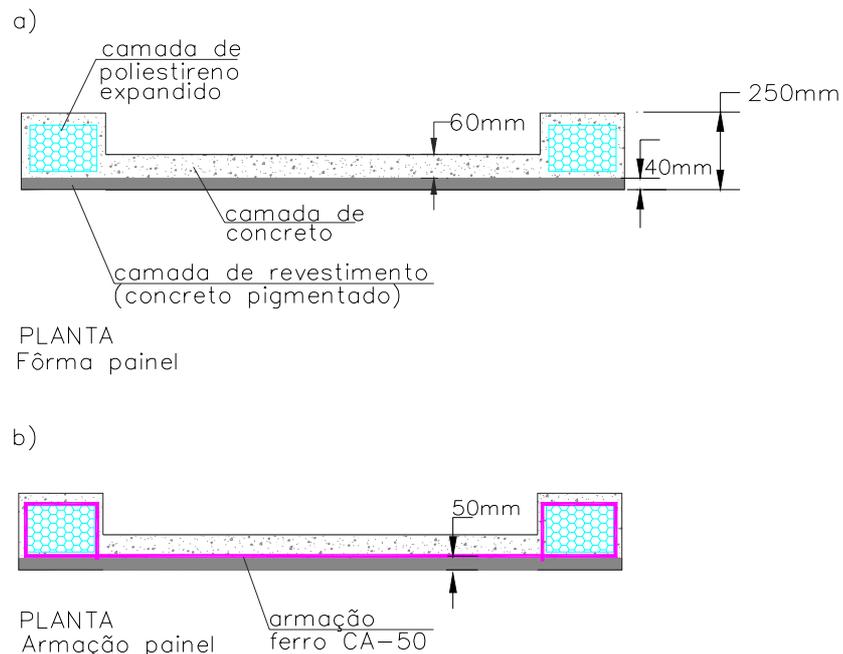


Figura 5-3 – Seção transversal do painel (Obra 1)

Os painéis foram deformados com resistência à compressão mínima de 15 MPa após 12 horas de cura, durante a qual foram cobertos com uma lona plástica a fim de evitar a perda de água por evaporação. Após a desforma, a peça foi içada para um local onde recebeu tratamento à base de jato de areia, com o objetivo de dar acabamento à sua superfície externa ⁽²⁷⁾.

As peças têm duas composições básicas: a camada de concreto comum à base de cimento, areia e agregado com resistência à compressão aos 28 dias de 35 MPa e fator água – cimento de 0.5; e a camada de revestimento incorporado confeccionada com concreto à base de cimento branco, areia, agregado e pigmento nas cores amarelo e marrom. A quantidade de pigmento adicionada foi aproximadamente 1,5% do peso do cimento ⁽²⁷⁾.

A armação do painel é em aço tipo CA-50, com cobrimento de concreto entre 40 e 50 mm, como ilustra a Figura 5-3b) ⁽²⁷⁾.

Dispositivos de fixação e Juntas

O material utilizado nos dispositivos de fixação é o ASTM-A36²⁸ com aplicação de

²⁸ ASTM A-36 é a classificação da norma ASTM (American Society for Testing Materials) para aço carbono estrutural com limite de escoamento ≥ 250 MPa.

um revestimento à base de tinta de fundo anti-corrosiva e acabamento em pintura epóxi. Esses dispositivos foram pintados depois dos painéis serem fixados definitivamente na estrutura⁽²⁹⁾.

Essa obra apresentou uma peculiaridade, pois os painéis da cobertura ficavam com os dispositivos de fixação em ambientes exteriores, ou seja, sob as condições agressivas da atmosfera. E, inicialmente, foram feitos com aço ASTM-A36, mas esses dispositivos apresentaram alguns pontos de corrosão antes da entrega da obra. Por esse motivo, a fornecedora optou por trocá-los por aço galvanizado, pois em atmosferas industriais esse aço apresenta taxas de corrosão pelo menos dez vezes menores que a do aço-carbono, tipo os ASTM-A36 (ver tabela 3-1) ⁽²⁹⁾.

A Figura 5-4 ilustra os dispositivos de fixação dos painéis da cobertura ainda em aço ASTM-A36, pintados com tinta de fundo anti-corrosiva.



Figura 5-4 – Dispositivos de fixação, painéis da cobertura (Obra 1)

Em relação aos tipos de fixação, há basicamente dois tipos: as de apoio vertical e as de apoio lateral. As fixações de apoio vertical localizam-se na parte superior do painel e as de apoio lateral na parte inferior, ou seja, os painéis ficaram pendurados na viga do andar superior. Geralmente, as fixações de apoio lateral fixam uma placa à outra através de chapas metálicas. Para os painéis com comprimento maior do que três metros, além de serem soldados com os painéis superiores e inferiores, eram também soldados com os da lateral ⁽²⁹⁾. A Figura 5-5 ilustra o esquema dos tipos de fixação desta Obra.

⁽²⁹⁾ Dados observados no canteiro desta obra pela autora do trabalho

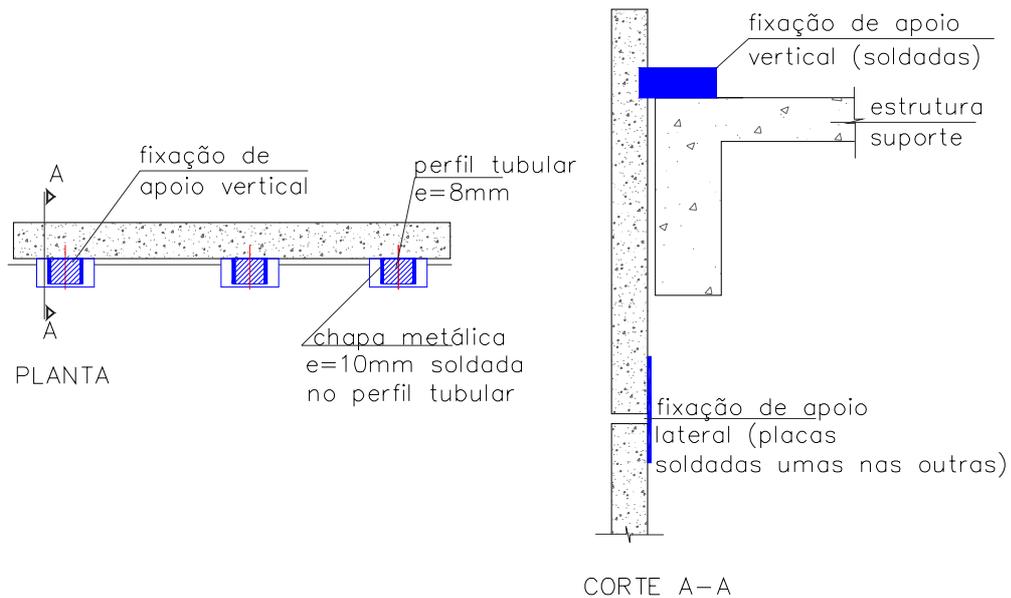


Figura 5-5 – Esquema genérico das fixações (Obra 1)

Outra questão interessante é que as placas dos pavimentos tipo geralmente apresentam um comprimento maior que 5m, motivo pelo qual foram projetadas três fixações de apoio vertical, como ilustra o esquema da Figura 5-5⁽²⁹⁾.

As juntas foram projetadas com um formato geométrico simples, juntas justapostas com largura de 12mm⁽²⁷⁾. A Figura 5-6 representa o esquema das juntas entre painéis justapostas, tanto na horizontal quanto na vertical.

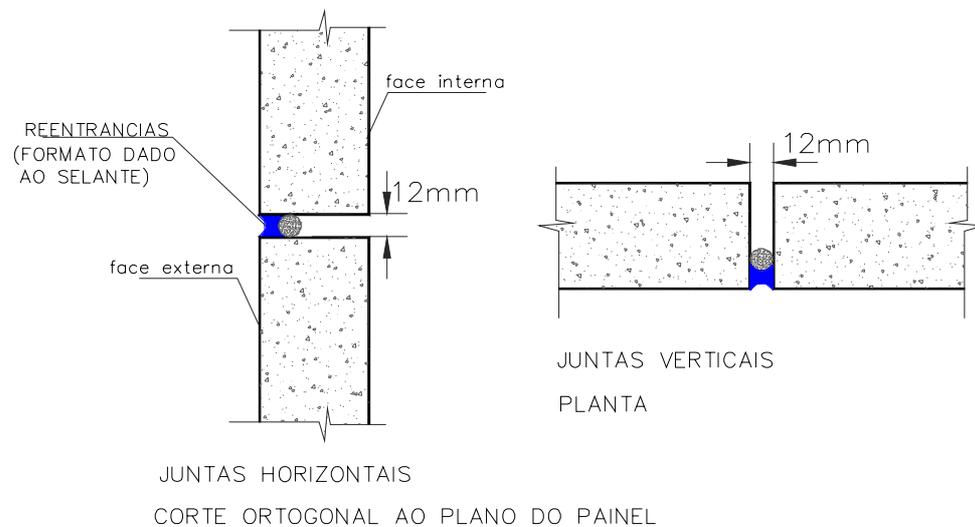


Figura 5-6 – Esquema genérico das juntas (Obra 1)

5.2.1.3 Caracterização dos fatores que interferem no desempenho das fachadas em PPAC

A segurança estrutural das fachadas em PPAC é garantida pelo próprio componente **painel**, projetado para suportar as solicitações de desforma, montagem e ações do vento quando fixados definitivamente na estrutura, e pelos dispositivos de fixação, que são os responsáveis por manter o painel fixado à estrutura.

No caso da Obra-1, o componente painel observado tem uma espessura adequada, sem presença de fissuras, o que significa que suportou bem as solicitações de desforma e montagem. Já os dispositivos de fixação, embora tenham resistência mecânica suficiente, precisam ser protegidos contra corrosão e, no caso, foi aplicada uma tinta de fundo anti-corrosiva após montagem definitiva dos painéis⁽²⁹⁾.

Em relação à resistência das fachadas ao fogo, duas situações foram observadas: a primeira, em que as fixações estão embutidas no concreto da laje de cada pavimento, com um cobrimento de concreto mínimo de 3cm; e a segunda, em que as fixações estão protegidas com argamassa de vermiculita projetada, assim como todos os perfis da estrutura metálica do edifício⁽²⁹⁾.

Em relação à estanqueidade à água e ao ar da fachada, considera-se como discutido no Capítulo 3 que as juntas são os componentes do PPAC responsáveis por assegurar esse requisito de desempenho. Nesta obra, todas as juntas, tanto horizontais quanto verticais, foram projetadas para ter uma largura mínima de 12mm. Observou-se que

essa largura, em razão das tolerâncias de montagem, teve grandes variações, ou seja, houve juntas que ficaram com até 40mm de largura e outras com menos de 10mm⁽²⁹⁾.

Para preenchimento dessas juntas foi utilizado um selante à base de silicone mono-componente com Fator de Acomodação (FAS) igual a 50%, que não necessita da aplicação prévia de *primer* para ter aderência à bases porosas, e uma espuma de polietileno expandido funcionando como limitador de profundidade. O selante foi colorido pelo fornecedor do material com um pigmento de tonalidade marrom, a fim de uniformizar a cor do selante com a cor dos painéis da fachada. A Figura 5-7a) ilustra as variações das larguras das juntas e a Figura 5-7b) o material selante e o limitador de profundidade⁽²⁷⁾ e⁽²⁹⁾.

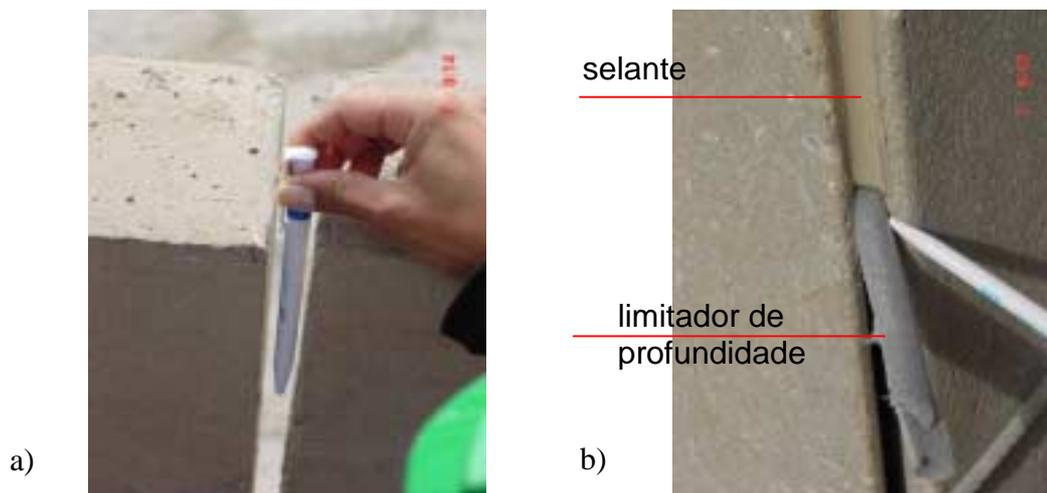


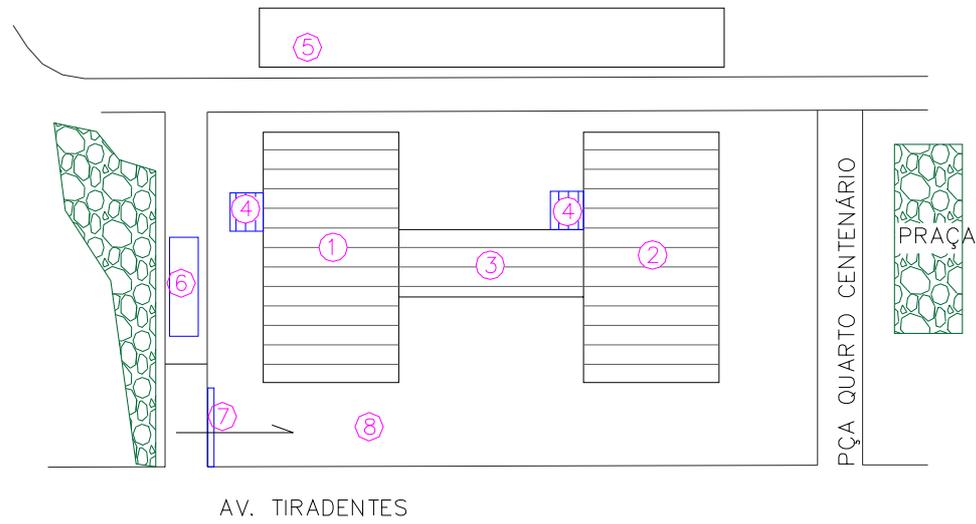
Figura 5-7 – Largura e material de preenchimento das juntas (Obra 1)

Cabe ressaltar que não foi detectada a presença de detalhes construtivos, como peitoris inclinados, rufos nos painéis de cobertura ou outros detalhes que minimizem a quantidade de água que pode vir a escorrer pela fachada e manchá-la⁽²⁹⁾.

5.2.1.4 Caracterização dos fatores que interferem no processo de montagem dos PPAC na estrutura

No período em que esta obra estava sendo executada, a fábrica fornecedora de painéis estava com seus pátios lotados, principalmente, pela quantidade de peças requisitadas. Isso provocou a necessidade de arranjar um local para armazenamento das peças no próprio canteiro de obras. Conseqüentemente, a maior parte das peças

não foi montada *just-in-time*. A Figura 5-8 esquematiza o canteiro de obras da Obra 1 ⁽²⁹⁾.



LEGENDA

- ① Torre-1
- ② Torre-2
- ③ Construção intermediária entre torres
- ④ Guas
- ⑤ Administração/ Refeitório/ Almoxarifado
- ⑥ Local de Descarregamento dos painéis- carreta
- ⑦ Portão de entrada
- ⑧ Local p/ armazenamento dos painéis

Figura 5-8 – Canteiro de Obras (Obra 1)

O processo de montagem dos painéis na estrutura apresentou algumas falhas advindas da ineficiência da elaboração e coordenação de projetos. Crê-se que as conseqüências mais significativas foram:

- necessidade de corte nas lajes a fim de criar locais para apoio das fixações dos painéis. Esses cortes foram feitos após a concretagem e cura das lajes, no momento da montagem dos painéis, acrescentando uma nova etapa antes do içamento das peças (os cortes foram necessários apenas na primeira torre, pois na outra as aberturas foram executadas juntamente com a execução da estrutura). A Figura 5-9 mostra operário cortando laje para embutir os

dispositivos de fixação ⁽²⁹⁾;



Figura 5-9 – Operário cortando a laje para colocação dos dispositivos de fixação (Obra-1)

- necessidade de criar uma estrutura complementar, semelhante a um balancim, interno à caixa de elevador (somente em uma das torres), para que a mão-de-obra tivesse condições de fixar os painéis do lado interno da construção ⁽²⁹⁾.
- necessidade de locação de um guindaste móvel de lança telescópica, além das duas gruas existentes, visto que essas não tinham capacidade para carregar alguns tipos de painéis para pontos muito distantes do seu eixo. A grua locada foi de torre fixa com lança horizontal e capacidade de 450 kN.m ⁽²⁹⁾.

Ainda em relação à montagem, pode-se dizer que os painéis, especialmente, os da torre 1, não foram montados segundo o planejamento da obra, pois houve um descompasso entre esta e a fábrica. Esse descompasso fez com que a montagem não fosse pavimento por pavimento, e sim aleatória, conforme a peça disponível no canteiro ⁽²⁹⁾.

Não foram, também, estabelecidos regras e critérios para solucionar as situações em que alguma peça ficasse fora das tolerâncias de montagem estabelecidas, ou seja: o que fazer se o planejado falhasse.

Outra questão que influenciou na eficiência da montagem foi a grande variedade de tipos de painéis, ou seja, havia várias medidas de painéis. Apesar de todos os

pavimentos tipo serem semelhantes, as peças variavam muito: existiram painéis, no mesmo pavimento, com dimensões de 6,505m, 5,805, 2,850m e outras. E, ainda, as peças da cobertura e térreo tinham outras formas e dimensões. Cabe colocar, também, que as peças da caixa de elevador foram as mais diferenciadas e as menores⁽³⁰⁾.

5.2.2 *Obra-2*

5.2.2.1 Caracterização da obra

Essa obra localiza-se na Rua Hungria, paralela à Marginal Pinheiros, na cidade de São Paulo. A fachada apresenta uma área de 5.600 m² com aproximadamente 1.000 peças (PPAC). A obra é em estrutura de concreto armado moldado no local, possui dez pavimentos e dois áticos, sendo um térreo, um mezanino e oito pavimentos tipo.⁽³¹⁾ A Figura 5-10 ilustra sua fachada.

⁽³⁰⁾ Projetos (Planta dos pavimentos) doados pela Stamp Pré-Fabricados Arquitetônicos Ltda e pela Construtora Setin Ltda.

⁽³¹⁾ Dados de projeto fornecidos pela Munte Construções Industrializadas Ltda e MOURELO&THOMAZ arquitetos e engenheiros construtores.



Figura 5-10 – Vista da Fachada (Obra 2)

5.2.2.2 Caracterização dos componentes do PPAC

Painel

O componente painel tem seção média de 9 cm, sendo 8 cm de concreto armado e 1 cm de argamassa, sendo essa última camada classificada como camada de revestimento (Figura 5-11) ⁽³¹⁾.

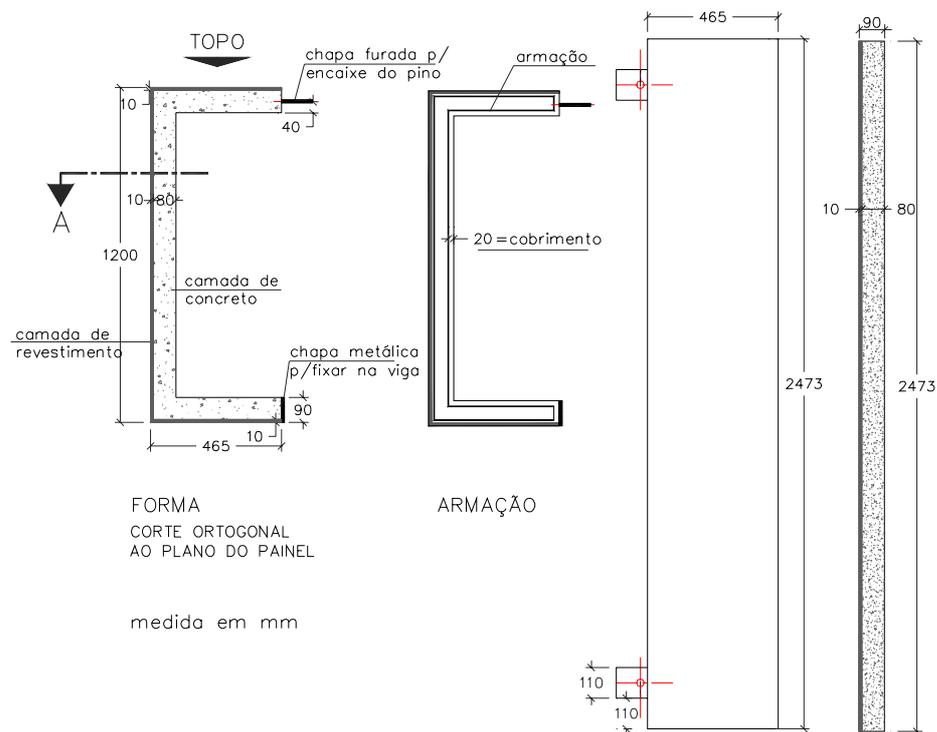


Figura 5-11- Esquema genérico dos painéis das janelas (Obra 2)

As armações do painel são duplas, com aço tipo CA-50, com cobrimento de concreto de aproximadamente 2 cm de cada lado, como ilustra a figura anterior ⁽³¹⁾.

Os painéis foram desformados com, no mínimo, 12 horas de cura natural, com resistência à compressão na desforma equivalente a 12MPa. Após a desforma, o painel passou por uma inspeção para análise da qualidade da peça e para, se necessário, sofrer reparos. Após esses reparos, foi feito o tratamento superficial da camada de acabamento, por meio de jateamento de areia com intensidade leve. Pode-se dizer que o ciclo de fabricação do painel levou em torno de 24 horas ⁽³²⁾.

Cabe salientar que, além do componente painel de concreto, a fachada dessa obra apresenta alguns componentes decorativos, as cornijas, que são compostas de material cimentício com adição de fibras de vidro, denominados componentes arquitetônicos em GRC ⁽³³⁾, como ilustra a Figura 5-12.

⁽³²⁾ Entrevista com engenheiro da Munte Construções Industrializadas Ltda em 21 de abril de 2002.

⁽³³⁾ Dados observados no canteiro da Obra-2 pela autora deste trabalho



Figura 5-12 – Detalhe das cornijas em GRC (Obra2)

A camada de concreto do componente foi confeccionada à base de cimento, areia, agregado de pedra calcária, com fator água-cimento de aproximadamente 0.40 e resistência à compressão aos 28 dias de 35 MPa ⁽³²⁾.

No caso da camada de revestimento do componente painel, feita em argamassa, pode-se dizer que existiram duas fases: a primeira, em que a camada de revestimento foi moldada junto com o painel na fôrma; e a segunda, em que a argamassa da camada de revestimento foi projetada com o painel desformado e curado ⁽³²⁾.

Na primeira fase, na qual o revestimento foi incorporado na moldagem, o mesmo recebeu tratamento com jato de areia após desforma, gerando um acabamento superficial com baixa rugosidade sem exposição de agregados, conforme exigência do cliente. Essa exigência causou vários transtornos ao fabricante que, para atingir a resistência necessária na desforma, chegou a utilizar até 600kg/m³ de cimento na composição da argamassa, tendo ocorrido, mesmo assim, quebras, gerando a necessidade de reparos e, conseqüentemente, redução na produtividade da fabricação das peças ⁽³²⁾.

Por esse motivo, o fornecedor optou por outra sistemática e passou para uma segunda fase, na qual executou o revestimento posteriormente à desforma do painel, por meio da projeção da argamassa. Esta, depois de curada, também recebeu um tratamento com jato de areia para alcançar o mesmo acabamento superficial adquirido pelas peças fabricadas na primeira fase ⁽³²⁾.

Tanto na primeira fase quanto na segunda fase houve adição de pigmento na

argamassa de aproximadamente 3% do peso do cimento, a fim de obter uma coloração da face externa do painel. E, para receber o tratamento com jato de areia, a argamassa curou por no, mínimo, 48 horas (tanto para o revestimento executado na moldagem quanto para o posterior) ⁽³²⁾.

Dispositivos de fixação e Juntas

O material utilizado nos dispositivos de fixação desta obra foi o USISAC-250, ou seja, um aço aclimável com limite de escoamento maior que 250MPa, pintado com zarcão (tinta de fundo anti-corrosiva) após montagem definitiva dos painéis ⁽³⁴⁾.

Em relação às fixações, pode-se dizer que existem dois modelos: o dos painéis das janelas, em que as fixações de apoio vertical também funcionaram como de alinhamento e estão no nível superior da peça, ou seja, os painéis estão pendurados na viga, como ilustra a Figura 5-13;

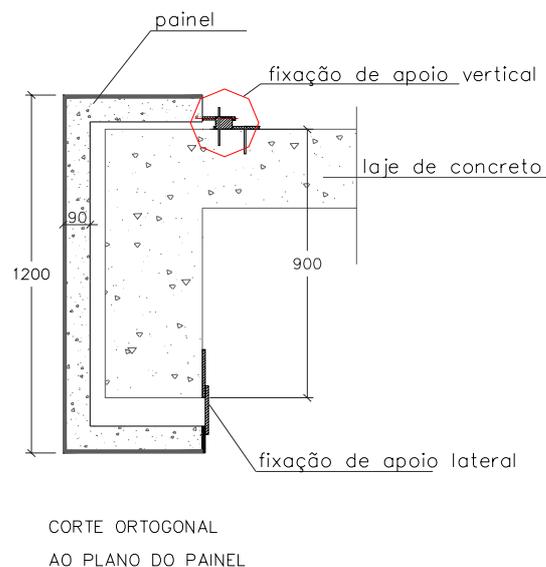


Figura 5-13 – Esquema de fixação dos painéis-janela sem peitoril (Obra-2)

E, o dos painéis que encobrem os pilares, no qual as fixações de apoio vertical também funcionaram como de alinhamento e estão localizadas na parte inferior da peça, ou seja, esses painéis estão apoiados na viga como mostra a Figura 5-14.

⁽³⁴⁾ Entrevista com Engenheiro da ENGBRAT Consultoria, Engenharia e Projetos, em 19 de outubro de 2001.

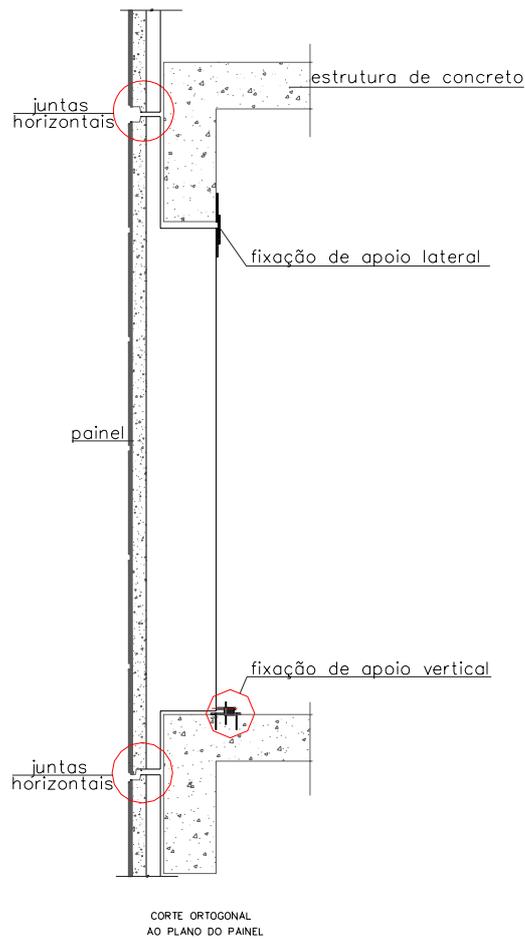


Figura 5-14 – Esquema das fixações dos painéis que encobrem os pilares (Obra2)

Ressalta-se que, apesar das fixações dos painéis das janelas e dos painéis estarem em posições diferentes, o esquema de fixação é padronizado para todas as peças. A Figura 5-15 mostra, de forma simplificada, o esquema genérico do funcionamento das fixações ⁽³⁴⁾.

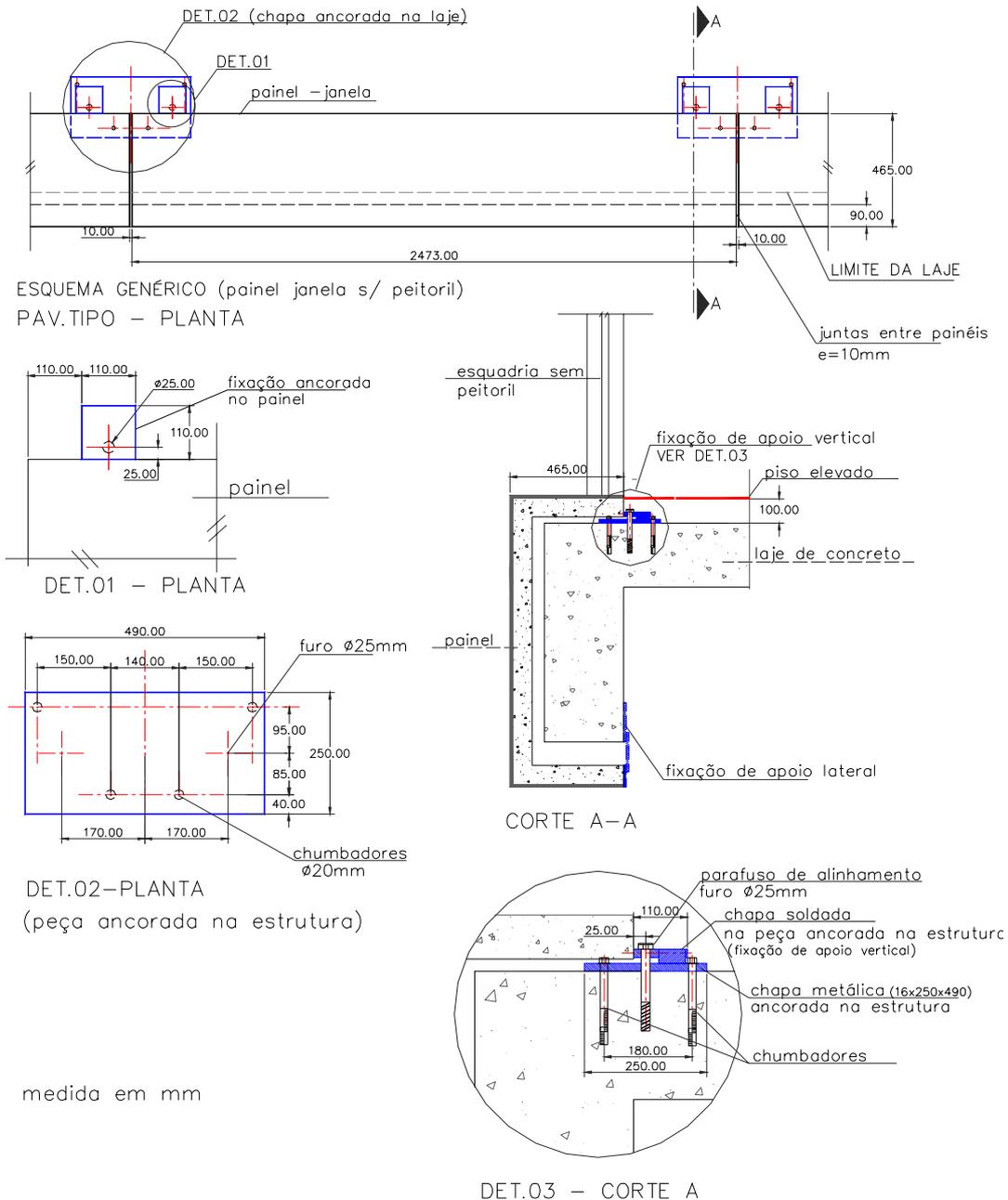


Figura 5-15 – Esquema das fixações dos painéis na estrutura (Obra 2)

As juntas horizontais (aquelas formadas entre os painéis que encobrem os pilares) são seladas e consideradas de dois estágios, pois apesar de apresentarem somente um cordão de selante, são sobrepostas, isto é, apresentam duas linhas de defesa à água e ao ar, devido ao seu formato geométrico, como ilustra a Figura 5-16. As juntas na vertical (aquelas formadas entre os painéis de janela e os que encobrem os pilares) também são seladas, mas consideradas de um estágio ⁽³³⁾.

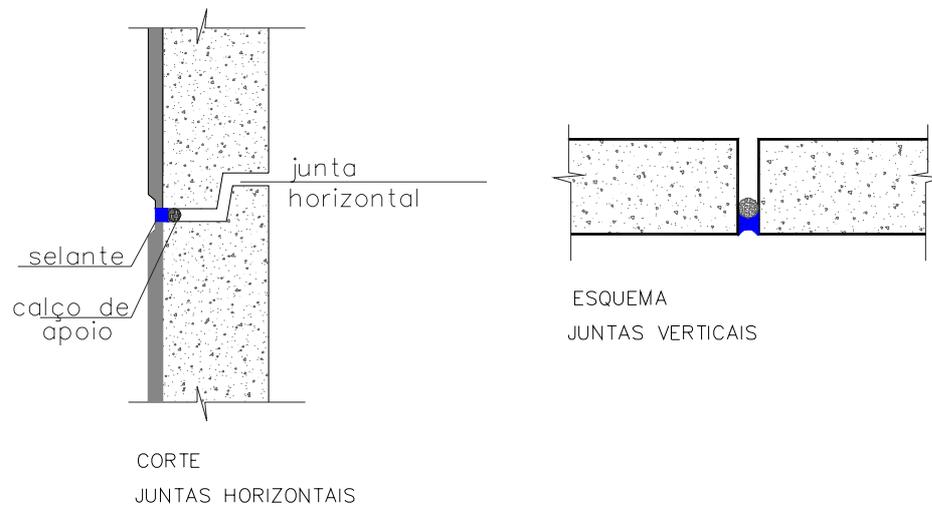


Figura 5-16 – Esquema genérico das juntas - (Obra 2)

Além das juntas entre painéis, com função de absorver deformações do painel, tolerâncias de montagem e de ser estanques à água e ao ar, existem também neste projeto as juntas falsas, com função somente estética, pois criam a impressão de que uma peça são várias ⁽³³⁾. A Figura 5-17 esquematiza essas juntas falsas.

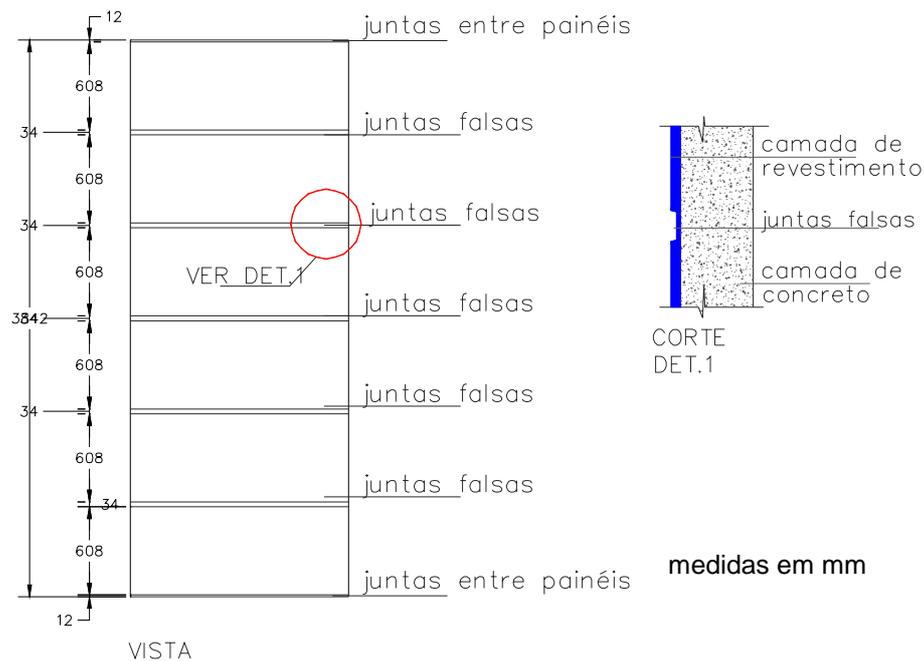


Figura 5-17 – Esquema das juntas falsas – vista dos painéis que encobrem os pilares (Obra-2)

5.2.2.3 Caracterização dos fatores que interferem no desempenho das fachadas em PPAC

A segurança estrutural da fachada foi projetada para ser garantida pelos dispositivos de fixação. Esses foram projetados para serem padronizados, pois, basicamente, foram adotados dois tipos de fixação: as de apoio lateral e as de apoio vertical, que também serviram para alinhar o painel com a estrutura no momento da montagem.

A maioria dos painéis é provida de quatro pontos de fixação: dois de apoio vertical e dois de apoio lateral. Essas fixações foram projetadas para serem em aço USISAC-250, aço aclimável, pintado com tinta de fundo anti-corrosiva. Essa pintura, além da função de proteção contra corrosão, tem também função estética, para camuflar a coloração da oxidação característica deste tipo de aço. Tanto os parafusos quanto os eletrodos são compatíveis com o aço aclimável USISAC-250⁽³⁴⁾.

Os dispositivos de fixação ficam sob o piso cerâmico, como mostra o Corte A-A da Figura 5-15, e não receberam qualquer tipo de proteção contra o fogo. As juntas entre painéis também não foram projetadas para receber algum tipo de preenchimento contra a propagação de calor, gases e fumaças através delas. E as juntas entre pavimentos (aquelas geradas entre o painel e a estrutura) não têm

qualquer tipo de preenchimento, em especial, devido ao formato geométrico desses painéis⁽³³⁾.

Os painéis abaixo das janelas foram projetados com parapeitos e pingadeiras, além das cornijas que quebram a fachada em vários níveis, a fim de evitar que a lâmina d'água proveniente de chuva ou limpeza escorra pela superfície da fachada⁽³³⁾.

As juntas foram projetadas para ter uma largura mínima de 10mm, e especificou-se um selante à base de silicone monocomponente com fator de acomodação (FAS) entre 25 e 50%, sem necessidade de aplicação prévia de *primer*. Esse selante recebeu uma adição de pigmento para ficar com uma cor semelhante à da superfície acabada do painel⁽³²⁾.

5.2.2.4 Caracterização dos fatores que interferem no processo de montagem dos PPAC na estrutura

As peças nem sempre foram montadas *just-in-time* porque problemas na etapa de fabricação fizeram com que algumas peças fossem enviadas fora da ordem de montagem planejada, gerando a necessidade de prever uma área para armazenamento das peças no canteiro de obras⁽³³⁾.

Além disso, como a laje da periferia não foi dimensionada para receber o peso dos painéis, esses tiveram que ser armazenados no próprio solo do terreno. Esse solo só suportou o peso das peças porque havia sido compactado⁽³³⁾. A Figura 5-18 ilustra o esquema do canteiro de obras.

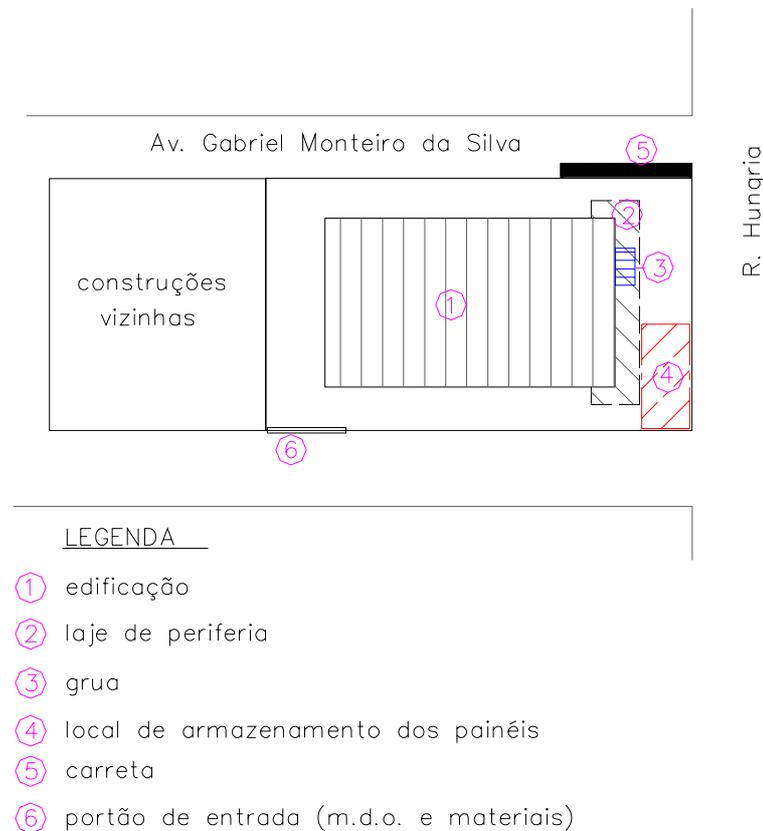


Figura 5-18 – Esquema do canteiro de obras (Obra 2)

A grua locada para esta obra foi do tipo de torre fixa com lança horizontal, com capacidade de 500kN.m. A localização definida para a grua foi uma das únicas possíveis e, por isso, algumas peças tiveram que ser reprojctadas, a fim de poderem ser içadas pela grua ⁽³²⁾.

Ainda em relação aos equipamentos de transporte vertical, salienta-se que houve a necessidade de utilizar dois tipos de equipamentos: a grua descrita anteriormente e um guindaste móvel sobre rodas de lança telescópica para viabilizar a montagem dos painéis no pavimento térreo do lado interno da edificação ⁽³³⁾.

No entanto, para que a laje do térreo suportasse o patolamento de um guindaste (pois havia sido dimensionada antes da definição de qual seria o método construtivo das fachadas) foi necessário locar um dos guindastes de menor capacidade do mercado e fazer alguns reforços nas lajes. Mesmo assim, não era em todos os pontos que o guindaste podia ser patolado ⁽³³⁾.

Em relação ao atendimento às especificações das tolerâncias de montagem, pode-se

dizer que, para manter as folgas especificadas e o alinhamento dos painéis, houve a necessidade de descascar a laje do térreo no ponto de fixação dos painéis em aproximadamente 20mm, para que não se ultrapasassem as tolerâncias de nível estabelecidas e não se acumulassem erros nos pavimentos superiores ⁽³³⁾.

Um outro fato importante foi a variação de prumo (alinhamento vertical) da estrutura de concreto que, em muitos pontos, ficou muito fora das tolerâncias de projeto. Surgiu, então, a necessidade de reforçar algumas fixações, além do fato de que, internamente, alguns painéis não ficaram alinhados ⁽³³⁾.

A modulação dos painéis foi feita por projetistas experientes que readaptaram o projeto original de arquitetura a fim de possibilitar a utilização dos painéis nas fachadas. Ressalta-se que a obra teve aproximadamente 1.000 unidades de painéis (peças), sendo que existiram aproximadamente 460 tipos diferentes, isto é, cada peça teve, em média, uma repetitividade de duas vezes. Esse fato foi um dos principais motivos da baixa produtividade de elaboração dos projetos e da fabricação das peças ⁽³³⁾.

5.3 ANÁLISE DA UTILIZAÇÃO DOS PPAC NAS OBRAS DOS ESTUDOS DE CASO

A maior parte dos problemas referentes à utilização da tecnologia de PPAC, detectados tanto na Obra-1 quanto na Obra-2 é reflexo de falhas ocorridas nas etapas de elaboração e coordenação dos projetos, do planejamento do processo de produção e, também, da falta de interação com outros projetos da Obra.

Devido à complexidade e interrelacionamento desses fatores, propõe-se que esta análise também seja apresentada segundo a mesma seqüência proposta pela dissertação:

Dos componentes do PPAC

Foram considerados como componentes do sistema PPAC o próprio painel, os dispositivos de fixação e as juntas que, como proposto neste trabalho, devem ser projetadas segundo alguns critérios para que cumpram com suas funções de forma satisfatória. Por isso, seguindo o recomendado pela bibliografia do Capítulo 2, faz-se

uma análise dos componentes das obras estudadas.

Painel

Em relação à capacidade resistente do painel de suportar as fases transitória e definitiva, às quais é solicitado, acredita-se que tanto os painéis da Obra-1 quanto da Obra-2 apresentaram resistência de compressão na desforma adequada em função da tensão de tração a que foram submetidos. Isto porque, seus projetos previam conforme o recomendado pelo PCI (1972), que a solicitação na desforma não ultrapassasse a metade da tensão de tração característica aos 28 dias. Chegou-se também a esta conclusão porque os painéis não apresentaram fissuras nas primeiras idades.

Quanto à resistência ao fogo do componente painel da Obra-1, segundo a tabela 2-3 para painéis em concreto armado, que utilizam pedras calcárias como agregado, tem-se que: um painel com espessura média de 100mm com cobrimento de 30 a 50 mm apresenta um TRRF (Tempo Requerido de Resistência ao Fogo) de aproximadamente 90 minutos (1,5h).

O painel da Obra-2, segundo a mesma tabela, apresenta um tempo de resistência ao fogo de aproximadamente 60 minutos (1h), pois o painel apresenta uma espessura de concreto em torno de 80 mm, com cobrimento das armaduras variando entre 20 e 30mm.

Segundo o Corpo de Bombeiros-S.P (Lei 46.076, 2001) tabela 3-3, a Obra-1 e a Obra-2, por terem uma altura entre 30 e 80 metros, devem apresentar um TRRF, tanto dos elementos essenciais a estabilidade da estrutura quanto dos elementos de compartimentação, de 120 minutos.

Portanto, o painel de ambas as obras apresenta um TRRF menor que 120 minutos, concluindo-se que não houve, por parte dos projetistas destas obras, uma análise mais criteriosa com relação aos elementos de compartimentação do edifício³⁵.

Em relação às características acústicas do painel, o valor mínimo de CTSA (Classe de Transmissão de Som Aéreo) recomendado para Classes A e B é de 45dB, conforme descrito no item 2.2.1. O componente painel da Obra-1 pode ser

³⁵ Os elementos de compartimentação têm a finalidade de dificultar a propagação do incêndio.

considerado satisfatório, porque, segundo o PCI (1989) e Harris (1994), um painel de concreto armado com 100mm de espessura apresenta um CTSA de 49dB. O componente painel da Obra-2 apresenta uma classificação quanto à sua CTSA em torno de 47dB, também considerado como satisfatório. (Cabe lembrar que só esses critérios não são suficientes para caracterizar o conforto acústico).

Quanto às características térmicas, pode-se dizer que o painel da Obra-1 apresenta uma parte em poliestireno expandido e outra em concreto comum. No entanto, a parte com poliestireno expandido equivale a somente 2/8 da peça, sendo então a camada de concreto comum predominante. Então, este painel é classificado em função do seu coeficiente global de transmissão térmica, $k=4,31$, como sendo um péssimo isolante térmico, conforme dados da ABCI (1990). Portanto, como nesta obra os painéis de concreto ficam aparentes também no lado interno, o que deveria ter sido projetado para contribuir com o conforto térmico do ambiente são as vedações internas e o sistema de ar condicionado e não os painéis da fachada.

O componente painel da Obra-2 apresenta um $k=4,11$ quase quatro vezes maior que o coeficiente considerado como mediamente isolante térmico. No entanto, como anteriormente mencionado, a vedação das fachadas é formada pelo painel de concreto e por chapas de gesso acartonado, e a soma da espessura desses dois componentes, mais a da camada de ar que se forma entre eles, contribui para diminuir esse coeficiente e, conseqüentemente, contribui para o conforto térmico dos ambientes.

Quanto ao cumprimento dos aspectos que garantem a integridade física do componente painel, pode-se considerar que os painéis da Obra-1 apresentam valores de cobrimento da armadura e da relação água-cimento compatíveis com a bibliografia do Capítulo 2, a qual recomenda um cobrimento mínimo de 40mm e um fator água-cimento menor que 0.4 (CIRIA, 1992; FREEDMAN, 1999).

No entanto, o painel da Obra-2, apesar de apresentar um fator água-cimento considerado adequado, o cobrimento das armaduras é bem menor do que 40mm, o que, para atmosferas urbanas e industriais, pode ser um problema.

Ressalta-se que Freedman (1999) recomenda 20mm de cobrimento se as armaduras forem executadas com aço de boa resistência à corrosão, o que não é o caso do

Brasil, pois a maioria dos componentes pré-fabricados de concreto utilizam aço carbono comum com baixa resistência à corrosão.

Os dispositivos de fixação

Em relação aos materiais utilizados para compor os dispositivos de fixação da Obra-1 pode-se dizer que o aço ASTM-A36 não apresenta boa resistência à corrosão atmosférica, mesmo protegido por um revestimento à base de pintura epóxi. Isto porque, apesar da pintura epóxi ser adequada à situação (ambientes interiores sem presença de raios ultravioletas), o procedimento de aplicação da pintura in loco não foi conforme o recomendado pela tabela 3-2, o que pode ocasionar a camuflagem de pontos de corrosão sob a pintura³⁶.

Portanto, não se pode prever a durabilidade desses dispositivos de fixação, mas cabe ressaltar que o fator de risco pode ser alto quando se adota um material que apresenta baixa resistência à corrosão e procedimentos de pintura não adequados. Especialmente, se esses dispositivos estiverem sob tensão constante.

Ainda com referência à Obra-1, pode-se afirmar que os dispositivos de fixação dos painéis da cobertura foram trocados por aço galvanizado, porque a fornecedora visualizou possíveis riscos num curto período de tempo, ainda mais, porque esses dispositivos estavam em ambientes exteriores.

Já para a Obra-2 foi selecionado aço aclimável tipo USISAC-250, que apresenta resistência à corrosão atmosférica em ambientes exteriores aproximadamente quatro vezes maior que a do aço-carbono, devido aos elementos de liga da sua composição e também devido à formação de uma película de proteção, denominada patina.³⁷

No entanto, como os dispositivos de fixação encontram-se em ambientes interiores, não é possível afirmar, como descrito no Capítulo 3, quantas vezes essa taxa de corrosão é menor do que a do aço-carbono, pois a boa patina se forma quando a secagem do aço se dá a temperaturas superiores a 50°C com presença de teores moderados de SO₂. Mas, mesmo em ambientes interiores a ferrugem formada é diferente da do aço-carbono, e é protetiva. Entretanto, por não se saber de quanto é

³⁶ (www.usiminas.com.br/construcaocivil/acos_estruturais_1.asp)

³⁷ (www.seccional.com.br/english/cosipa_ing.htm; www.metallica.com.br/artigos/tipos-de-aco.htm)

essa proteção, recomenda-se, em função da segurança estrutural, a aplicação de um revestimento de pintura com tinta de fundo anti-corrosiva e acabamento à base de tinta epóxi (entrevista Prof. Pannoni, 2002).

Em relação aos tipos de fixação, tanto a Obra-1 quanto a Obra-2 apresentam dois pontos de fixação relativos ao peso próprio e dois pontos relativos às forças laterais como recomendado pelo REESCRETE (2000) e PCI (1989). Cabe observar que alguns painéis da Obra-1, devido às suas dimensões, apresentavam três pontos de fixação para cargas relativas ao peso próprio, o que pode vir a ocasionar uma certa deformação da peça. Essa deformação pode ser diferente entre os painéis apoiados em dois pontos e os apoiados em três pontos, podendo gerar problemas estéticos na fachada do edifício.

As Juntas

As juntas de ambas as obras foram projetadas para serem seladas. As juntas da Obra-1 são justapostas e não apresentam, como ilustra a Figura 5-6, outra linha de defesa a não ser o selante denominadas, por isso, juntas de um estágio.

Acredita-se que o projeto desta junta não foi o mais adequado, uma vez que a durabilidade do selante não é totalmente garantida, mesmo porque algumas juntas não estão conforme o projetado e as proporções entre largura e profundidade dos selantes nem sempre ficaram como recomendadas na literatura técnica pelo PCI (1989) e por Hutchinson; Woolman (1995).

Então, qualquer falha no selante compromete a estanqueidade da junta, e, conseqüentemente, da fachada, o que não ocorre na Obra-2, cujo esquema geométrico das juntas horizontais, juntas sobrepostas de dois estágios, contribui para garantir a estanqueidade do subsistema, no caso de falha do selante.

Dos fatores que interferem no desempenho das fachadas em PPAC

Como apresentado no Capítulo 3, para que o elemento construtivo que compõe a fachada seja projetado em função da durabilidade especificada, devem ser estabelecidos alguns critérios de desempenho para que o subsistema cumpra com suas funções. Então, tanto para a Obra-1 quanto para a Obra-2, faz-se uma análise de como os critérios de segurança estrutural, resistência ao fogo, estanqueidade e

estética foram considerados.

Segurança Estrutural

Em relação à segurança estrutural, têm-se duas análises: da estabilidade estrutural e da resistência ao intemperismo.

Da estabilidade estrutural: pode-se dizer que os projetos de fixação de ambas as obras levaram em consideração aspectos recomendados pela bibliografia que evitam a ocorrência de problemas. Os principais foram:

- todas as fixações de apoio vertical localizam-se no mesmo nível;
- as fixações transferem as cargas verticais para a estrutura;
- à exceção de alguns painéis da Obra-1, a transferência de cargas verticais para a estrutura é feita através de dois pontos;
- nenhuma carga vertical é transmitida para painéis adjacentes; e
- as fixações de apoio lateral são quase todas aparafusadas, com o objetivo de acomodar deformações do painel e da estrutura e tolerâncias de montagem.

Da resistência ao intemperismo: essa análise refere-se à resistência do próprio componente painel e dos dispositivos de fixação. Como o componente painel tem algumas características que contribuem para manter sua integridade, como resistência à compressão relativamente alta, fator água-cimento baixo, conseqüentemente, alta capacidade resistente, baixa porosidade e permeabilidade, o principal problema a ser resolvido em relação à resistência ao intemperismo do elemento PPAC são os dispositivos de fixação, pois são eles os responsáveis por garantir a segurança do painel fixado na estrutura.

E, como foi discutido neste item, o que irá ditar a resistência dos dispositivos de fixação quanto às intempéries, principalmente quanto à corrosão, são os materiais e os revestimentos de proteção desses dispositivos.

Resistência ao fogo

Em relação à resistência ao fogo das fachadas em PPAC, há três análises a serem feitas: da transmissão de calor dada pela espessura e tipo de material do painel, anteriormente discutida; da integridade estrutural dos dispositivos de fixação; e da

estanqueidade das juntas.

Da integridade estrutural dos dispositivos de fixação: pode-se dizer que os dispositivos de fixação da Obra-1 ou estavam embutidos no concreto, ou foram protegidos com argamassa à base de vermiculita projetada. Na primeira situação, esses dispositivos apresentam um TRRF de 120 minutos, o que foi possível saber pela espessura de cobrimento dos mesmos.

Entretanto, na segunda situação, não se pode afirmar se a espessura da argamassa projetada é suficiente para manter a integridade desses dispositivos por 120 minutos. É que a espessura especificada para os dispositivos de fixação foi igual à da estrutura metálica, mas esses componentes apresentam fatores de massividade diferentes, ou seja, as peças da estrutura metálica necessitam de menor espessura de proteção que os dispositivos de fixação dos painéis. Cabe expor que esses dispositivos foram protegidos com argamassa projetada porque a estrutura-suporte era metálica e também receberia essa proteção.

Já na Obra-2, como a estrutura-suporte da obra era em concreto, não foi viável, economicamente, contratar os serviços de projeção de argamassa somente para alguns pontos. Então, os dispositivos ficaram sem proteção ao fogo, sob o piso de placas cerâmicas.

Apesar de alguns dispositivos de fixação não estarem protegidos do fogo, essa obra apresenta um sistema de chuveiros automáticos (*sprinklers*), que podem, rapidamente, extinguir focos de fogo nas proximidades da fachada. Esse sistema consiste em chuveiros automáticos distribuídos num pavimento acionados pelo calor emitido pelo fogo³⁸.

No entanto, a legislação do Corpo de Bombeiros não prevê a diminuição do TRRF para elementos de compartimentação, como são os PPAC e, conseqüentemente, suas fixações, mesmo quando há *sprinkles*. Por isso, esses dispositivos deveriam receber alguma proteção que garantisse pelo menos um TRRF de 120 minutos, conforme tabela3-3.

Da estanqueidade das juntas: em relação às juntas entre painéis, afirma-se que em

³⁸ (www.sprink.com.br/sistemas.htm).

nenhuma das obras o projeto previu algum tipo de preenchimento com função isolante, como recomendado pelo PCI (1989). Esse Instituto, segundo tabela 3-4, mostra ainda que, com a espessura dos painéis e a largura das juntas entre painéis de ambas as obras, o fogo demoraria, para passar por entre as juntas, cerca de 60 minutos (1,0h), o que não seria conveniente para nenhuma das Obras.

Ressalta-se que na Obra-2 existe uma vedação vertical adicional na parte interna, formada por chapas de gesso acartonado, que contribuem para a estanqueidade ao fogo das juntas entre painéis.

Já em relação às juntas entre painel e estrutura, pode-se dizer que na Obra-1 essas foram preenchidas com argamassa projetada à base de vermiculita, a fim de impedir que o calor, a fumaça e gases tóxicos se propaguem pelos pavimentos, ou seja, contribuem para compartimentar verticalmente os pavimentos.

Na Obra-2 essas juntas não foram preenchidas devido ao formato geométrico dos painéis de concreto (secção tipo – C, como ilustra a Figura 5-11), que dificulta a propagação de calor, fumaça e gases tóxicos pelos pavimentos.

Estanqueidade

As partes consideradas mais vulneráveis em relação à estanqueidade das fachadas são as juntas entre painéis. Para a análise das juntas em função da sua estanqueidade à água e ao ar, dois aspectos são considerados essenciais: a seleção dos materiais selantes e o dimensionamento das juntas.

Em ambas as obras optou-se por utilizar selantes à base de silicone mono-componente, com fator de acomodação aproximado de 50%. Acredita-se que esse silicone apresentará um bom desempenho nas juntas que ficaram com largura entre 12,50 e 20mm, pois como mostra o cálculo do dimensionamento das juntas da Obra-1, tem-se:

Painel P1006 Obra-1 comprimento= $L=6399\text{mm}$

Varição térmica considerada= 50°C

Coeficiente de expansão térmica do concreto = $\alpha=10^{-5}$ (dado da NBR 6118 CE 02:124.15, 2001)

Deformação térmica projetada = $\Delta T \times L \times \alpha = 50 \times 6399 \times 10^{-5} = 3,199\text{mm}$

FAS= 25% (máximo a considerar segundo ASTM (1993))

Largura da junta = $100/25 \times (3,199) = 12,80\text{mm}$

Se dimensionar a largura da junta com um FAS de 50%, conforme selante adotado, essa junta poderia ser até de 6,40 mm que teria condições de absorver tal variação térmica. No entanto, o PCI (1989) recomenda, por motivos de qualidade construtiva, desempenho dos selantes e segurança quanto à capacidade de absorver deformações, que as juntas não tenham largura menor do que 10mm.

Ressalta-se que, em especial na Obra-1, existiu bastante variação na largura das juntas entre painéis. Isto é, algumas juntas ficaram estreitas, menores que 10mm, e podem não acomodar as deformações que por ventura venham ocorrer, conseqüentemente, comprometendo o desempenho do selante; e outras largas, as quais tiveram consumo excessivo do selante e, ainda, apresentaram dificuldades para serem preenchidas.

As juntas da Obra-2 foram projetadas para terem largura mínima de 10mm e não foram observadas muitas variações em suas larguras, podendo ser consideradas adequadas, pelo menos no que tange aos aspectos de estanqueidade.

Estética

Em relação à estética das fachadas em PPAC, este trabalho propôs que os projetos sejam elaborados sob dois aspectos: da elaboração de especificações para a camada de acabamento e da elaboração de detalhes construtivos.

Portanto, considerando esses dois aspectos pode-se afirmar que a Obra-1 apresenta um painel de cor marrom com acabamento superficial de média rugosidade, sendo considerado pelo PCI (1989) como satisfatório, ou seja, esse tipo de acabamento superficial não tem a tendência de acumular sujeira. No entanto, não foram projetados detalhes construtivos na fachada que minimizem o escoamento da água, de chuva ou proveniente de limpeza, por toda a superfície da fachada, manchando os painéis.

A Obra-2, por sua vez, foi projetada para ter um acabamento superficial, se não liso,

com baixa rugosidade, sendo mais suscetível ao manchamento. Mas, diferentemente da Obra-1, a fachada foi projetada com muitos detalhes construtivos, como peitoris, platibandas, cornijas e frisos, que reduzem o escoamento da água pela fachada, conseqüentemente, diminuindo o possível manchamento dos painéis.

Dos fatores que interferem no processo da montagem dos PPAC na estrutura

Os fatores críticos relacionados ao processo de montagem dos PPAC na estrutura de ambas as obras foram provenientes de falhas na elaboração dos projetos: tanto as relativas ao planejamento de montagem; ao estabelecimento de tolerâncias e dimensões modulares, quanto à definição de equipamentos de transporte.

Em relação à Obra-1, pode dizer que os projetos de PPAC não foram desenvolvidos desde a fase de concepção do empreendimento e, conseqüentemente, não houve tempo hábil para o desenvolvimento dos projetos das fixações antes do início da execução da estrutura. Por isso, as aberturas para os dispositivos de fixação dos painéis não foram feitas no momento da execução da estrutura, e sim após a laje ter sido concretada, na etapa de montagem dos painéis, sendo, portanto, um dos fatores que geraram redução na produtividade da montagem.

Além da necessidade de fazer os cortes nas lajes, existiu outro problema relativo à ordem de montagem dos painéis que também influenciou na redução da produtividade da montagem: a ordem de montagem não seguiu a seqüência recomendada, ou seja, de pavimento por pavimento, desde os andares inferiores até os superiores. O não planejamento adequado do envio das peças da fábrica para o canteiro de obras ou a falta de condições de suprir a quantidade de peças necessárias para uma montagem eficiente foram as possíveis causas que impossibilitaram que a montagem dos painéis fosse feita conforme o planejado.

Essa Obra tinha, inicialmente, um planejamento para montar dez painéis por dia. No entanto, devido a todas essas intercorrências, essa produtividade reduziu-se a aproximadamente sete painéis por dia, o que atrasou a obra em aproximadamente 100 dias (OLIVEIRA *et al.*, 2002).

Todos esses problemas foram gerados em algum momento das etapas de elaboração e coordenação dos projetos dos PPAC com as interfaces de todo o processo de

construção da obra. Isso se deve, principalmente, à demora na decisão pelo tipo de tecnologia a ser utilizada na fachada.

Na Obra-2 também existiram problemas com o cumprimento do cronograma relativo à elaboração dos projetos. Isso se deu, principalmente, porque a fachada da obra foi inicialmente projetada para ser em placas de rocha e depois se optou pelo sistema em PPAC. Isso gerou a necessidade de adequar os projetos arquitetônicos originais à nova tecnologia selecionada.

Essa adaptação à nova tecnologia gerou custos extras e atrasos para cumprir com o cronograma de elaboração dos projetos relacionados com o PPAC, como os de fabricação, fixação, instalações e esquadrias, diminuindo em muito a folga entre a fabricação das peças e sua montagem.

E, como colocado anteriormente, a repetitividade dos painéis foi baixa. Isso também se deve à estrutura do edifício não ser concebida para tal tecnologia, gerando a necessidade de confeccionar vários tipos de peças, caracterizando um processo artesanal e não industrial como, potencialmente, deveria ser.

Outro fato importante da Obra-2 foi relativo à seleção inicial do material para a camada de acabamento do painel, pois devido ao acabamento superficial das peças exigido pelo cliente, não foi utilizado, na mistura da camada de acabamento, agregado graúdo, gerando muitas quebras na etapa de desforma.

O fornecedor, quando se comprometeu a fabricar o painel com esse acabamento superficial especificado, fez alguns testes para verificar a viabilidade técnica e econômica do processo. No entanto, esses testes não foram feitos nas peças em dimensões reais, o que disfarçou os possíveis problemas. Isso gerou, além da necessidade de buscar uma alternativa para execução desse acabamento, prejuízos relativos à produtividade no processo de fabricação das peças.

Ressalta-se que esse tipo de problema ocorre porque os projetos não são elaborados dentro de uma visão sistêmica de todo o processo de produção dos PPAC com as interfaces da obra e da fábrica.

A tecnologia de PPAC vem sendo cada vez mais utilizada nas fachadas dos edifícios

comerciais e hoteleiros na Grande São Paulo, mas como observado nas obras deste estudo de caso, ainda existem muitas falhas a serem corrigidas. Essas falhas são, principalmente, provocadas pela falta de interação entre os projetos de estrutura, canteiro de obras e os de PPAC.

Outro aspecto observado nas obras do presente estudo de caso foi a falta de análise dos projetistas e construtores quanto ao cumprimento de alguns requisitos de desempenho, em especial, os relativos à resistência ao fogo do componente painel, à resistência ao intemperismo dos dispositivos de fixação, à resistência à propagação do fogo nas juntas entre painéis e à falta de preocupação em criar detalhes construtivos que reduzam o manchamento das fachadas.

Todos esses aspectos deveriam ser analisados com mais critério por parte dos projetistas, construtores e fornecedores, buscando minimizar riscos e contribuir para o desenvolvimento tecnológico do sistema em PPAC como uma alternativa viável para emprego nas vedações verticais de fachadas.

6 CONCLUSÕES

Neste capítulo pretende-se, resumidamente, fazer algumas considerações sobre os principais assuntos tratados no trabalho e mostrar como os objetivos estabelecidos foram atingidos. Para tanto, este capítulo foi dividido em quatro partes: quanto aos objetivos propostos; quanto às considerações gerais; quanto às considerações específicas; e quanto às considerações sobre os estudos de caso.

Apresentam-se, ainda, algumas recomendações de temas para trabalhos futuros, a fim de contribuir para a continuidade da pesquisa sobre a tecnologia de painéis pré-fabricados de concreto.

6.1 QUANTO AOS OBJETIVOS PROPOSTOS

O principal objetivo proposto para esta dissertação foi sistematizar o conhecimento sobre a tecnologia de painéis pré-fabricados arquitetônicos de concreto. A fim de atender a esse objetivo principal foram propostos outros cinco objetivos específicos: os dois primeiros foram: conceituar o elemento construtivo painel pré-fabricado arquitetônico de concreto armado e descrever os componentes desse elemento que compõem as vedações verticais de fachada, escopo deste trabalho. Esses dois objetivos foram desenvolvidos no Capítulo 2, no qual foi proposta uma classificação para as vedações verticais que utilizam esse elemento construtivo e, ainda, fez-se uma descrição dos seus componentes, painel, fixação e juntas, em função das suas características de desempenho, caracterizando o que se convencionou chamar de PPAC.

O terceiro objetivo específico proposto foi apresentar alguns fatores a serem considerados nas etapas de elaboração de projetos, que condicionam o desempenho funcional das fachadas em PPAC. Por conta deste objetivo, no Capítulo 3 discutiu-se os fatores que condicionam o desempenho das fachadas, considerando os requisitos de

segurança estrutural, resistência ao fogo, estanqueidade e estética. Desta forma, são dadas no Capítulo 3 as diretrizes que condicionam o desempenho das fachadas em PPAC, à exceção das relativas ao comportamento térmico e acústico.

O quarto objetivo específico foi relativo aos fatores que condicionam a eficiência da montagem dos PPAC na estrutura. Esses fatores são tratados no Capítulo 4 por meio de análises e discussões sobre: projeto e planejamento da montagem; tolerâncias; sistema de coordenação modular; e definição do equipamento de transporte vertical.

O Capítulo 5, por sua vez, abordou o último objetivo específico que foi o de apresentar como a tecnologia de PPAC vem sendo utilizada no mercado brasileiro, mais especificamente na Grande São Paulo. Para tanto, fez-se uma descrição de duas obras com características diferentes que utilizaram em suas fachadas o elemento PPAC. Além da descrição, fez-se uma análise comparativa e crítica das duas obras.

6.2 QUANTO ÀS CONSIDERAÇÕES GERAIS

Uma das maiores vantagens apresentadas pelos fornecedores da tecnologia de PPAC é o seu potencial de incrementar o processo de produção do edifício. No entanto, como tratado no Capítulo 1, a industrialização é um processo evolutivo que, através de ações organizacionais e de implementação de novas tecnologias, métodos e técnicas de planejamento e controle, objetiva incrementar a produtividade e o nível de produção³⁹.

O processo de produção das fachadas em PPAC é, muitas vezes, considerado como “industrializado”. Entretanto, ressalta-se que, na maioria das obras observadas e, principalmente, nas obras dos estudos de caso, esse processo não pode ser considerado “industrializado”, pois seu processo de produção, que engloba as fases de elaboração de projetos, fabricação e montagem, vem apresentando características artesanais, em especial na fase de fabricação, que não incrementam a produtividade nem o nível de produção.

Das visitas às obras e aos projetistas pode-se concluir que um dos motivos do processo

³⁹ Definição feita por Sabbatini (1989)

de fabricação apresentar algumas características artesanais é a falta de uniformidade dos projetos das fachadas, ou seja, na maioria dos casos as peças não são projetadas para atender a uma produção em série, sendo específicas para cada obra e, ainda assim, existem vários tipos de peças para uma mesma obra. Isto porque, geralmente, os projetos de PPAC são uma adaptação ao que é possível ser realizado, pois são elaborados depois que a estrutura-suporte da obra já está sendo executada, não fazendo parte das decisões desde as etapas preliminares de elaboração dos projetos do empreendimento.

Conclui-se, portanto, que a elaboração dos projetos das fachadas em PPAC deve ocorrer concomitantemente à concepção do empreendimento, de modo que as decisões sejam analisadas em conjunto, visando solucionar, o quanto antes, todas as interfaces com as demais disciplinas de projeto, com a fábrica e com o canteiro de obras

Além disso, esse trabalho buscou apresentar algumas considerações a serem feitas nas etapas de elaboração de projetos da tecnologia de PPAC, a fim de incrementar o grau de industrialização do processo, evitar que tal tecnologia seja mais um modismo, e contribuir para o seu desenvolvimento tecnológico, de forma a consolidá-la no setor como uma alternativa viável para emprego em fachadas de edifícios. Pois, acredita-se que a tecnologia de PPAC tem um grande potencial para tornar o processo de produção das vedações verticais industrializadas e, ainda, criar condições de agregar valor econômico ao empreendimento, devido às suas vantagens com relação à flexibilidade de formas e acabamentos superficiais.

Acredita-se, também, que a industrialização de processos construtivos é uma tendência do setor da construção civil. No entanto, em âmbito nacional, há a necessidade de passar, principalmente, por um período de adaptação, em que pelo menos dois fatores devem ser considerados:

- aperfeiçoamento de profissionais, buscando conscientizá-los que a construção industrializada precisa ser concebida de maneira diferente da tradicional; e
- desenvolvimento de manuais e normas técnicas que estabeleçam um balizamento tanto para os profissionais quanto para os clientes (investidores e

construtores), através de especificações técnicas relativas a critérios de desempenho, tolerâncias e coordenação dimensional, buscando a padronização dimensional e funcional dos edifícios.

Ressalta-se que vêm sendo introduzidos no mercado brasileiro painéis pré-fabricados, também denominados arquitetônicos, porém, executados em argamassas reforçadas com fibras de vidro, denominados painéis de GRC (*glass reinforced cement*).

Esses painéis estão num patamar evolutivo superior, quando comparados com os painéis de concreto, pois são mais leves, resistentes a choques e possuem um sistema de fixação mais simples que exige equipamentos de transporte de menor capacidade⁴⁰. No entanto, não podem ter função estrutural. Por isso, ressalta-se que esses painéis apresentam características físicas e desempenho muito diferentes em relação aos painéis de concreto e, para sua utilização como alternativa às vedações de fachadas, faz-se necessária uma avaliação criteriosa dos aspectos tratados neste trabalho.

6.3 QUANTO ÀS CONSIDERAÇÕES ESPECÍFICAS

O presente trabalho tratou de dois aspectos principais que devem ser considerados na elaboração dos projetos das fachadas em PPAC, e merecem ser analisados: os relacionados aos fatores que condicionam o desempenho das fachadas e os relacionados à eficiência de execução dessas fachadas.

Dos aspectos relacionados ao desempenho das fachadas em PPAC:

Uma das análises a ser feita quando se considera o desempenho das fachadas em PPAC deve ser a da durabilidade do edifício, a fim de que todos os componentes, painel, fixação e juntas, sejam projetados em função dessa análise. O estabelecimento da durabilidade do edifício contribui para uma análise real da sua viabilidade técnico-econômica, em que essa análise dita também a necessidade de se preverem ações de manutenção no edifício, projetando assim os custos totais do investimento.

⁴⁰ Assunto tratado por Barth (1997) em sua tese de doutoramento.

Outra análise diz respeito à funcionalidade do edifício e, conseqüentemente, dos requisitos de desempenho que o subsistema, no caso, as fachadas em PPAC, deve atender. Por isso, concluiu-se que as fachadas em PPAC devem ser projetadas segundo alguns critérios que garantam o cumprimento pelo menos dos requisitos de segurança estrutural, resistência ao fogo, estanqueidade e estética. São eles:

→ Segurança estrutural

Conclui-se deste trabalho que a segurança estrutural é dada, principalmente, pelas fixações. Por isso elas devem apresentar resistência mecânica e ao intemperismo suficientes para garantir a segurança estrutural da fachada, dentro da durabilidade especificada para o edifício. Concluiu-se, também, que a resistência ao intemperismo (no caso, à corrosão) é o fator de maior preocupação, pois a maioria dos aços apresenta resistências mecânicas (limites de escoamento alto) superiores ao necessário, mas nem todos apresentam boa resistência à corrosão.

A preocupação deve-se ao fato de que esses dispositivos de fixação encontram-se, geralmente, em locais de difícil manutenção (como por trás de chapas de gesso acartonado ou sob pisos elevados). Por isso, devem ser feitos com material que apresente resistência à corrosão adequada e coerente com a vida útil da edificação. Recomenda-se, ainda, prever a aplicação sobre esse material de um revestimento à base de pintura epóxi com tinta de fundo anti-corrosiva, reduzindo possíveis riscos de corrosão e perda de integridade do material. Cabe ressaltar que as normas norte-americanas, canadenses e britânicas especificam aço inoxidável para essas fixações.

→ Resistência ao fogo

Em relação à resistência ao fogo das fachadas em PPAC, conclui-se que esta deve ser analisada em função de três aspectos: o da segurança, que é função da integridade dos dispositivos de fixação; o da integridade física e da transmissão de calor do painel; e o da estanqueidade das juntas aos gases, à fumaça e ao calor.

Conclui-se, também, que os PPAC, como são elementos construtivos da fachada, devem ser considerados elementos de compartimentação e, conseqüentemente, devem apresentar um tempo requerido de resistência ao fogo (TRRF) igual ao da estrutura-suporte da edificação, que é função da altura do edifício. Portanto, tanto os painéis quanto as fixações e as juntas devem apresentar um TRRF igual ao da estrutura-suporte da edificação em questão.

Desta forma comprovou-se, por meio dos dados coletados na bibliografia, que a integridade dos dispositivos de fixação só é mantida durante um TRRF se: quando embutidos em concretos, esses dispositivos apresentem um revestimento mínimo em função das exigências; quando não embutidos, seja prevista uma proteção passiva com material de baixa condutibilidade térmica e não inflamável, como as argamassas com agregado de vermiculita ou com adição de fibras minerais. É importante, ainda, verificar a massividade⁴¹ dos perfis metálicos dessas fixações, a fim de projetar a espessura necessária da camada de proteção passiva em função do TRRF da edificação.

Em relação à integridade física e à transmissão de calor do painel têm-se duas análises diferentes: a primeira diz respeito ao tempo que o componente **painel** deve manter sua integridade sem desagregar-se, ou seja, sem lascas ou estilhaçar devido aos lascamentos explosivos gerados pelo aumento da tensão interna no concreto, quando submetido a altas temperaturas. No presente trabalho essa análise não foi devidamente aprofundada, pois se objetivou apenas alertar sobre o problema, uma vez que existem trabalhos sendo desenvolvidos sobre o assunto⁴².

Em relação à transmissão de calor, conclui-se que o aumento de temperatura entre o ambiente interno e externo depende, exclusivamente, da espessura do painel, dos tipos de agregado e, ainda, da existência ou não de um material isolante, ressaltando-se que

⁴¹ Massividade é a relação entre a área da peça exposta ao fogo e seu volume aquecido (SILVA, 2001)

⁴² NINCE, A.A. A ação de altas temperaturas sobre conceitos aplicados em túneis de concreto. Tese (doutoramento) em desenvolvimento desde fevereiro de 2002. Escola Politécnica da Usp. São Paulo, 2002.

COSTA, C.N.; FIGUEIREDO, A.D.; e SILVA, V. P. O fenômeno do lascamento (*spalling*) nas estruturas de concreto armado submetidas a incêndio – uma revisão crítica. In: 44º Congresso Brasileiro do Concreto. Belo Horizonte, 2002. [no prelo]

quanto maior for a espessura do painel, menor será sua condução térmica⁴³.

A estanqueidade das juntas aos gases, à fumaça e ao calor, por sua vez, depende da análise das juntas entre painéis e das juntas entre painéis e estrutura. No primeiro caso, essa estanqueidade é analisada em função da largura da junta e do painel, de onde se conclui que nem sempre é necessário o preenchimento da junta com material isolante. E, quando necessário, recomenda-se material à base de fibra mineral como lã de rocha ou manta de fibra cerâmica. No segundo caso, conclui-se que as juntas entre painel e estrutura devem, sempre, ser preenchidas, criando a compartimentação vertical entre pavimentos. O preenchimento pode ser feito com lã de rocha, manta de fibra cerâmica, argamassa com adição de fibras minerais ou com agregado de vermiculita. Essa escolha depende de uma análise referente aos aspectos econômicos e de construtibilidade dessas juntas.

→ Estanqueidade à água e ao ar

Conclui-se deste trabalho que a estanqueidade das fachadas em PPAC é função, basicamente, das juntas e do material selante. Isto porque se as juntas forem projetadas com largura suficiente para absorver, especialmente, as movimentações térmicas e de retração do painel, e o selante apresentar um fator de acomodação compatível com essa deformação sem perda de aderência ao substrato, a junta pode ser considerada estanque à água e ao ar. No entanto, recomenda-se que as juntas tenham um formato geométrico que contribua com a estanqueidade da fachada, ou seja, não dependendo exclusivamente do desempenho do selante. Por isso, conclui-se que as juntas sobrepostas de dois estágios são as mais recomendáveis.

Em relação aos selantes, é sempre necessário avaliar, primeiro, se a durabilidade do produto é compatível com a da fachada. E algumas perguntas devem ser respondidas para facilitar tal escolha, tais como: qual é o clima em que a edificação está inserida? O selante é adequado para a situação? Qual o seu fator de acomodação? Ele vai

⁴³ Condução térmica é o processo pelo qual o calor flui de uma região a alta temperatura para outra a temperatura mais baixa (SILVA, 2001).

enrijecendo no decorrer dos anos, ou seja, vai perdendo as suas características elásticas? É resistente aos raios ultravioletas? Atrai partículas sólidas, provocando manchas? Aceita adição de pigmentos? E aceita pinturas? Conclui-se que as respostas para todas essas perguntas criam alguns critérios que direcionam a seleção do melhor selante para a situação.

→ Estética

A estética está ligada à integridade visual da fachada, ou seja, à conservação da sua aparência original ao longo da vida útil prevista para a edificação em questão. Conclui-se que essa conservação depende dos materiais e tipos de acabamentos superficiais dos painéis e da presença de detalhes construtivos que minimizem a quantidade de água que escorre pela fachada, espalhando partículas sólidas acumuladas (poeiras) e manchando a superfície.

Portanto, para reduzir tais manchamentos e, conservar a aparência original da fachada, recomenda-se acabamentos superficiais de média a alta rugosidade. É que, embora acumulem mais sujeira, elas conseguem mais facilmente manter a aparência, já que o agregado tende a interromper e distribuir o fluxo de água, reduzindo o manchamento em forma de listras. Recomenda-se, também, evitar cores com tonalidades suscetíveis ao manchamento e, necessariamente, projetar detalhes construtivos como peitoris, pingadeiras e rufos.

Dos aspectos relacionados com a eficiência de montagem das fachadas:

Conclui-se que para contribuir com o aumento da eficiência da montagem dos PPAC na estrutura, três fatores devem ser considerados primordiais na fase de elaboração de projetos:

O primeiro é relativo ao projeto e planejamento da montagem em que devem ser analisados aspectos como: seqüência de fabricação e envio das peças; localização e capacidade suporte dos equipamentos de transporte; espaço disponível para

armazenamento dos painéis; e tipos de fixações de alinhamento que facilitem a montagem.

Ressalta-se que uma das maneiras de melhorar a eficiência de montagem é içar e fixar os painéis em uma única etapa, sem armazenar essas peças em canteiro, ou seja, montagem *just-in-time*. Isso porque, otimiza-se uma etapa do processo de montagem e, conseqüentemente, aumenta sua produtividade, pois o tempo gasto em içar e armazenar uma peça é, praticamente, o mesmo gasto para içá-las e fixá-las em seu local definitivo.

A análise da localização e capacidade suporte dos equipamentos de transporte também é de fundamental importância, pois definem os limites de peso dos painéis em função da capacidade desses equipamentos e da sua localização em relação ao ponto mais distante de descarregamento dos painéis. Conclui-se que se esses painéis estiverem fora do limite de peso há a possibilidade de analisar qual alternativa é mais viável: projetá-los novamente com outras dimensões, ou prever a locação de outro equipamento de transporte vertical. Ressalta-se que para a locação desse outro equipamento também é necessário analisar a disponibilidade de canteiro.

A questão de planejar área para armazenamento dos painéis também deve ser avaliada, pois, muitas vezes, é necessário compactar o solo ou fazer reforços em lajes de periferia, a fim de que tais áreas tenham condições de absorver as cargas relativas ao peso dos painéis, e esses custos precisam ser previstos.

Em relação às fixações, recomenda-se que pelo menos as de alinhamento sejam aparafusadas, facilitando o alinhamento do painel, e que se os outros tipos de fixações (de apoio vertical e lateral) não forem aparafusadas, fixações temporárias sejam planejadas para liberar o quanto antes os equipamentos de transporte vertical.

O segundo fator refere-se ao estabelecimento de tolerâncias, evitando, por exemplo, situações em que os painéis não encaixem em seus vãos. Como não existem normas brasileiras que especifiquem tolerâncias de fabricação e montagem de componentes pré-fabricados, conclui-se que a melhor solução seria assumir as tolerâncias estabelecidas pelo Precast Concrete Institute – PCI, como referência mínima. Assim, pelo menos para

o setor de pré-fabricados criar-se-ia uma linguagem comum em termos de especificações de tolerâncias.

Ressalta-se que essas tolerâncias devem fazer parte tanto dos projetos quanto dos contratos entre as partes, para que, por exemplo, se a estrutura estiver fora do alinhamento especificado e as juntas resultarem muito estreitas ou muito largas, a responsável pela execução da estrutura assuma os possíveis prejuízos em função da variação dimensional das juntas.

Ainda em relação às tolerâncias, afirma-se que as juntas também são responsáveis por absorvê-las, por isso devem ser projetadas com folgas, recomendando-se que as folgas sejam projetadas em função da pior situação. Essas folgas nada mais são do que a soma das tolerâncias de fabricação, de montagem, de interfaces, mais as variações dimensionais provenientes de deformações. Então, ao dimensionar uma junta, chega-se a conclusão de que sua largura mínima deve ser 10mm e a tolerância de montagem estabelecida de 6mm, especifica-se, em projeto, uma junta de 16mm, ou seja, 16 ± 6 mm, permanecendo, portanto, num intervalo mínimo de 10mm e máximo de 22mm.

O terceiro e último fator diz respeito à importância da criação de um sistema modular. Esse deveria ser um dos principais aspectos a serem considerados na elaboração dos projetos (de preferência, no início das discussões sobre os projetos do empreendimento), pois assim, toda a edificação poderia ser projetada em cima de uma malha modular. A utilização de um sistema modular permitiria, também, a utilização de fôrmas metálicas, pois os componentes seriam mais padronizados, permitindo maior intercambialidade, simplificando a preparação de projetos e aumentando a produtividade da montagem.

6.4 DAS CONSIDERAÇÕES SOBRE OS ESTUDOS DE CASO

Conclui-se do observado nas obras do estudo de caso e, também, de outras obras visitadas ao longo de todo esse trabalho, que a maioria das falhas ocorridas tanto no processo de fabricação quanto no processo de montagem, tiveram origens nas etapas de elaboração de projetos dos PPAC. Isto porque, essa etapa começou quando o

empreendimento já estava definido, só restando adaptar a tecnologia ao que já havia sido projetado, ou porque houve falhas na coordenação entre as interfaces dos projetos de PPAC com os demais.

Outro aspecto observado nas obras do estudo de caso, ressaltado no Capítulo 5, foi a falta de preocupação dos projetistas e construtores em analisar o elemento PPAC em função do cumprimento dos requisitos de desempenho que asseguram a qualidade das fachadas.

Em outras palavras: os elementos construtivos PPAC empregados nas obras estudadas não foram projetados segundo critérios quantitativos que atendessem, principalmente, aos requisitos relativos à resistência ao fogo e à segurança das fachadas, devido, em especial, a falta de preocupação com a proteção passiva nos dispositivos de fixação e nas juntas e, também, a falta de preocupação com a resistência dos dispositivos de fixação ao intemperismo (corrosão) durante a vida útil projetada do edifício.

6.5 DAS RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Este trabalho não esgota todos os aspectos relevantes sobre a tecnologia de painéis pré-fabricados de concreto, dada a complexidade do assunto. Por isso, sugerem-se alguns outros temas para a continuidade da pesquisa:

- a) Estudo do processo de produção dos PPAC em fábrica: análise da qualidade dos componentes;
- b) Análise comparativa da viabilidade técnica-econômica entre a tecnologia de PPAC e a alvenaria racionalizada, considerando-se as prioridades do empreendimento;
- c) Estudo da tecnologia de painéis pré-fabricados de concreto com função estrutural para edifícios de múltiplos pavimentos: eficiência de montagem;
- d) Análise da durabilidade das fachadas que utilizam componentes pré-fabricados de concreto;
- e) Estudo do manchamento das fachadas em painéis pré-fabricados de concreto com seção transversal tipo sanduíche, em função do desenvolvimento de microorganismos.

- f) Estudo dos tipos de revestimentos viáveis de serem utilizados nos painéis pré-fabricados arquitetônicos em concreto.
- g) Análise do comportamento térmico e acústico de fachadas em painéis pré-fabricados de concreto.
- e) Estudo de painéis pré-fabricados em GRC utilizados em fachadas de edifícios no Brasil: análise de desempenho.

ANEXO I

Tabela I -1. Quantitativo da área de fachadas dos edifícios de múltiplos pavimentos executados na Região Metropolitana de São Paulo de 1997 a 2002.

EMPRESA	OBRA	ÁREA DE FACHADA (M²)	REFERÊNCIA
Stamp Painéis Arquitetônicos Ltda.	Condomínio Clube Ibirapuera	28.200,00	Dados fornecidos pela Stamp (01/08/02)
	São Paulo Market Place -I	5.400,00	
	Torre Norte - CENU	20.000,00	
	Edifício San Paolo	15.000,00	
	Hotel Íbis Casa Verde	2.500,00	
	Shopping Anália Franco	14.300,00	
	Hotel Íbis Sorocaba	2.500,00	
	Edifício Old England	3.500,00	
	Blue Tree Faria Lima	6.000,00	
	Edifício Berrini 500	5.200,00	
	São Paulo Market Place -II	11.600,00	Dados fornecidos pela Stamp (01/08/02)
	Blue Tree Towers Morumbi	15.000,00	www.abcp.org.br/jornal_32/arquitetura.htm
	Caesar Park Guarulhos	13.200,00	Dados fornecidos pela Stamp (01/08/02)
	Hotel Choice Anhembi	4.600,00	
	Transamérica Towers	9.000,00	
	Corporate Plaza	25.300,00	
	Mondial Airport	13.200,00	
	Plaza Iguatemi	20.000,00	
	Hotel Grand Hyatt	14.510,00	
	Flat Meliá Confort Berrini	4.650,00	
	Colégio Santa Catarina	2.800,00	
	Caesar Paulista	11.780,00	
	International Plaza	2.450,00	
Brascan Century Plaza	23.650,00		

	Continental Square	19.370,00	
	Sub-Total 1=	293.710,00	
Munte Construções Industrializadas Ltda	Hotel Ibis	3.000,00	Construção São Paulo 2724-2000
	Edifício Comercial Platinum	2.600,00	www.abcp.org.br/jornal_32/arquitetura.htm
	Banco Santos	5.600,00	Dado fornecido pela Munte
	Restante das obras	48.800,00	Entrevista c/ Patrícia_marketing da Munte, em julho de 2002
	Sub-Total 2=	60.000,00	
Reago (empresa do Grupo Camargo Correa)	Estúdio da Rede Globo	4.327,79	Dado fornecido pela Reago em 01/08/02
	PL Informática	8.000,00	
	Panamérica Park (09 prédios)	86.696,00	
	Sub-Total 3=	99.023,79	
Precon Industrial S.A.	Parque D. Pedro Shopping S.A.	25.000,00	www.precon.com.br
	Transamérica Flat Congonhas	4.860,00	
	Edifício New Century	6.100,00	
	Sub-Total 4=	35.960,00	
Stone Pré-fabricados Arquitetônicos	ETAP-Vergueiro	4.700,00	www.stone.ind.br/frame.htm
	Íbis-Congonhas	10.000,00	
	Edifício Brigadeiro	1.600,00	
	Mercure Downton	6.000,00	
	Sub-Total 5=	22.300,00	
Vipre	Shopping Frei Caneca	17.000,00	Entrevista Eng. Hélio e Nilton Construtora Zeenni Reis Barros
	Sub-Total 6=	17.000,00	
	TOTAL =	527.933,79	

ANEXO II

Tabela II -1. Condutibilidade térmica (FROTA;SCHIFFER, 1988)

material	(λ) – W/m ² C	(d) – (Kg/m ³)
Concreto comum	1,750	2400,00
Concreto com argila expandida	0,850	1500,00
Placa de gesso	0,350	1500,00
Poliestireno expandido estrudado	0,030	30,00
Ar	0,026	
Argamassa de cal e cimento	0,650	1600,00

Dados :fonte FROTA&SCHIFFER(1988)

he=20 W/m²C

hi=8 W/m²C

Tabela II-2. Coeficiente global de transmissão térmica (cálculo estimado pela autora do trabalho)

Descrição	Tipo de secção	Espessura-a (e) (m)	Espessura-b (e) (m)	Resistência térmica=R (1/k) = (1/he) + (1/hi) + (e1/λ1) + (e2/λ2)... (m ² C/ W)	Coeficiente Global de Transmissão térmica =1/R (W/m ² C)
Painel de concreto	1	0,15		0,26	3,84
	1a	0,20		0,29	3,46
Painel de concreto com argila expandida	2	0,15		0,35	2,85
	2a	0,20		0,41	2,44
Painel de concreto com poliestireno	3	0,10	0,10	3,57	0,28
Painel alveolar	4	0,10	0,10	4,02	0,25

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGOPYAN, V. **Elementos de vedação vertical para a habitação: observações sobre características que afetam o desempenho.** 1978. 123p. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo.

ALLEN, K. W; HUTCHINSON, A. R. A study of the curing of sealants used in building construction. **International Journal of Adhesion & Adhesives**, n. 14, p.117-122, 1994.

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE – ACI – **Industrialization in concrete building construction.** Michigan, 1975. (Publication SP-48).

— **Guide for precast concrete wall panels** – ACI 533R, Detroit, 1993.

— **Standard specifications for tolerances for concrete construction and materials** – ACI 117 R, Detroit, 1990.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS – ASTM – **Standard specification for elastomeric joint sealants**–ASTM C920. In: Annual Book of ASTM standards. Philadelphia, 1998a. v. 04.07, p.179 –275.

— **Guide for use of joint sealants**–ASTM C 1193. In: Annual Book of ASTM standards. Philadelphia, 1991. v. 04.04, p. 1772-81.

— **Standard specification for electrodeposited coating of zinc on iron and steel**–ASTM B 633. In: Annual Book of ASTM Standards, 1994. v. 02.05, p.95-99.

— **Standard specification for pigments for integrally colored concrete** – ASTM C 979. In: Annual Book of ASTM standards. Philadelphia, 1998. v 04.02, p. 1548-54.

— **Standard test methods for fire tests of building constructions and material**–ASTM E-119-00a. In: Annual Book of ASTM standards. Philadelphia, 2000.

—**Test method for adhesion and cohesion of elastomeric joint sealants under cyclic movement** (Hockman Cycle) –ASTM C 719. In: Annual Book of ASTM Standards, 1993. v. 04.07.p.1125 – 1130.

ARCHITECTURAL PRECAST ASSOCIATION – APA– **Architectural precast:** a combination of selected cements aggregates and coloring agents used to custom plant produce architectural concrete building units. Disponível em: <<http://www.archprecast.org/archprecast.htm>>. Acesso julho 2000.

ARQUITETURA & URBANISMO. Condomínio Clube Ibirapuera. São Paulo: Editora Pini, n. 69, dez.1996.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA CONSTRUÇÃO INDUSTRIALIZADA – ABCI – **A história dos pré-fabricados e sua evolução no Brasil.** São Paulo, 1980.

— **Manual técnico de alvenaria.** Projeto/PW. São Paulo: Editores Associados, 1990.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT - **Projeto e execuções em estruturas em concreto pré-moldado** – NBR 9062. Rio de Janeiro, 1985.

— **Ajustes modulares e tolerâncias** – NBR 5725. Rio de Janeiro, 1982.

— **Concreto: ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos** – NBR 5739. Rio de Janeiro, 1994.

— **Divisórias leves internas moduladas** – NBR 11685. Rio de Janeiro, 1990.

— **Exigências particulares das obras de concreto armado e protendido em relação à resistência ao fogo** – NBR 5627. Rio de Janeiro, 1980

— **Projeto de revisão de estruturas de concreto.** NBR 6118 (CE 02:124.15). Rio de Janeiro, 2001.

— **Projeto e estruturas de aço de edifícios (métodos dos estados limites)** – NBR 8800. Rio de Janeiro, 1986.

— **Revestimentos de paredes e tetos de argamassa inorgânica: especificações**– NBR 13749. Rio de Janeiro, 1996.

BAÍA, L. L. M.; BARROS, M. .M. B.; SABBATINI, F. H. **Recomendações para a execução de revestimentos de argamassa para paredes de vedação internas e exteriores e tetos.** São Paulo: Projeto EPUSP/SENAI, 1998.

BARING, J. G. O desempenho acústico das vedações verticais em edifícios. In: SEMINÁRIO DE VEDAÇÕES VERTICAIS, 1998. **Anais.** São Paulo: EPUSP, 1998, p.113-125.

BARTH, F. **Las fachadas de hormigón arquitectónico y GRC em Catalunya: Aplicación y comportamiento de los cerramientos prefabricados.** 1997. 353p. Tesis (Doctoral) - Escola Tècnica Superior d'Arquitectura de Barcelona, Universitat Politècnica de Catalunya.

BAYON, R. **La protección contra incendios en la construcción.** Barcelona: Editores técnicos asociados, 1978.

BRITISH STANDARD INSTITUTION – BSI – **Code for practice for: design and installation of non-loadbearing precast concrete cladding** – BS 8297. London, 2000.

— **Guide to durability of buildings and building elements, products and components** – BS 7543. London, 1992.

— **Specification for cast stone** – BS1217. London, 1986.

— **Wall and floor tiling. Part 4 – Code of practice of ceramic tiling and mosaics in specific conditions** – BS 5385, 1994.

— **Code of practice for design of non-loadbearing external vertical enclosures of buildings** – BS 8200, 1985

BROOKES, A. J. **Cladding of building**. 3.ed. London: E & FN Span, 1998.

BROWER, J. R. **Deformation of building sealants due to movement during cure: Science and Technology of Building Seals, Sealants, Glazing and Waterproofing**. Philadelphia : American Society for Testing and Materials, 1992, p.5-8. (Special Techine Publication 1168)

BRUNA, P. J. V. **Arquitetura, industrialização e desenvolvimento**, 1976. 312p. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo. São Paulo.

BUCHER, H. R. E. **Concreto aparente**. São Paulo, 1992.

CAMPOS, P. E. F. **Industrialização da construção e argamassa armada**, 1989. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo.

CARDOSO, F. F. **Soldagem de aços**. São Paulo: Núcleo de Tecnologia da Construção Metálica ,1988.

CASTILHO, V. C.; EL DEBS, M. K.; GIL, L. S. Contribuição dos painéis pré-moldados de fechamento no enrijecimento da estrutura principal: estudo de caso. In: INSTITUTO BRASILEIRO DO CONCRETO, 40, Rio de Janeiro, 1998. **Anais**. Rio de Janeiro:Ibracon, 1998.

CENTRAL LOCADORA. **Catálogo técnico**. São Paulo, 2002.

CENTRE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE DE LA CONSTRUCTION. **Mur de façade**. Avis Technique, Alsace II 758, 2000.

— **Mur de façade**. Avis Technique, EAC2 767, 2001.

CHAVES, R. **Corrosão atmosférica**. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1982. (Publicação IPT nº 1127)

CIRIBINI, G. **Architettura e indústria**. Milano: Ed. Tamburini, 1958.

COMITÊ EURO-INTERNATIONAL DU BÉTON – CEB – **Fastenings to concrete and masonry structures: state of the art report**. London: Thomas Telford Services, 1994.

COMMITTED TO HOUSING QUALITY / ONTARIO ASSOCIATION OF ARCHITECTS – CMHC/OAA – **Construction tolerance**. Disponível em: <<http://www.cmhc-schl.gc.ca/research/highrise>> Acesso 09/2001.

CONSTRUÇÃO SÃO PAULO. Cartão de visita. São Paulo: Ed. Pini, n. 2572, 1997.

CONSTRUCTION INDUSTRY RESEARCH INFORMATION ASSOCIATION – CIRIA– **Wall technology: large heavy units on framed buildings and in-situ concrete**. London, 1992 v. d.(Special Publication 87).

CORPO DE BOMBEIROS - Decreto Estadual S.P. 46076/2001- Instrução Técnica nº 08/01. **Segurança estrutural nas edificações- resistência ao fogo dos elementos de construção**. São Paulo, 2001. Disponível em : < <http://www.polmil.sp.gov.br/ccb>> Acesso em 05/02.

— Instrução Técnica nº 03/01. **Terminologia de proteção contra incêndio edificações-**. São Paulo, 2001. Disponível em : <<http://www.polmil.sp.gov.br/ccb>> Acesso em 05/02.

COSTA, C. N.; FIGUEIREDO, A. D.; SILVA, V. P. **O fenômeno do lascamento (“spalling”) nas estruturas de concreto armado submetidas a incêndio – uma revisão crítica**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 44, Belo Horizonte, 2002. **Anais**. Belo Horizonte: Ibracon , 2002. [no prelo]

DOW CORNING. Informação de produto, selantes para construção: **Dow Corning 791**: selante perimetral de silicone. São Paulo, 2001

DRAPINSKI, J. **Elementos de soldagem: manual prático de oficina**. São Paulo: McGrawHill do Brasil, 1979.

EICKHOFF, M. **A coordenação modular como instrumento para atingir a qualidade total em projetos de arquitetura**, 1997. 159p. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo. São Paulo.

EL DEBS, K. M. **Concreto pré-moldado: fundamentos e aplicações**. São Carlos : Escola Engenharia de São Carlos, 2000.

- ELDER, A. J. **Construccion**. Madrid: Blume Ediciones, 1977.
- FARAH, M. F. S. **Tecnologia, processo de trabalho e construção habitacional**, 1992. 297p. Tese (Doutorado) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo. São Paulo.
- FERREIRA, A. B. H. **Novo dicionário da língua portuguesa**. 2.ed. Rio de Janeiro: Editora Nova Fronteira, 1986.
- FREEDMAN, S. Corrosion resistance of reinforcement in architectural precast concrete. **PCI Journal**, p.12-19. jan 1999.
- FREITAS, A. G. P. Juntas: O segredo do sucesso de sistema pré-moldado com painéis de concreto. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 41, Salvador, 1999. **Anais**. Salvador: Ibracon, 1999.
- FROTA, A. B.; SCHIFFER, S. T. R. **Manual de conforto térmico**. São Paulo: Editora Nobel, 1988.
- GONÇALVES S.A. Transportes especializados. **Catálogo técnico**. São Paulo, 2000.
- GONÇALVES S.A. Transportes especializados. **Manual de segurança**. São Paulo, 2000 (a)
- HARRIS, C. M. **Noise control in buildings: a practical guide for architects and engineers**. USA : Donnelley & Sons Company, 1994.
- HICKS, J. G. **Welded joint design**. Oxford : BSP Professional Books, 1987.
- HUTCHINSON, A. R.; WOOLMAN, P. Sealing and resealing of joints in buildings. **Construction and Building Materials**, v. 9, n. 06, p 379-387, 1995.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE – **Estatísticas históricas do Brasil; séries econômicas, demográficas e sociais de 1550 a 1985**. Rio de Janeiro, 1987.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION – ISO - **Performance standards in building: principles for their preparation and factors to be considered – ISO 6241 – Geneve**, 1984.
- KAJIMOTO, Z. P. **Corrosão atmosférica de metais no Estado de São Paulo**. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas – 1991 (Boletim Técnico-IPT 57).
- KELLET, P. La experiencia inglesa com tecnologia industrializada para vivienda social: reflexiones para la realidad latino americana. In: SIMPÓSIO IBERO-AMERICANO SOBRE TÉCNICAS CONSTRUTIVAS INDUSTRIALIZADAS PARA HABITAÇÃO

DE INTERESSE SOCIAL, 3, São Paulo, 1993. **Anais**. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1993. p. 131-40.

KLOSOWSKI, J. M. **Sealants in construction**. Midlland, Michigan: Dow Coornig Corporation, 1989.

LEVIT, M. **Precast concrete: materials, manufacture, properties and usage**. London: Appllied Science Publishers, 1982.

LICHTENSTEIN, N. B. **Formulação de modelo para o dimensionamento do sistema de transporte em canteiro de obras de edifícios de múltiplos andares**, 1987. 268p. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo.

LUCINI, H. C. **Manual técnico de modulação de vãos de esquadrias**. São Paulo: Editora Pini, 2001.

MAEOKA, J. M. **Pré fabricação, racionalização e industrialização**. São Paulo: Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, 1970.

MARTIN, B. **Joints in buildings**. New York, 1977.

MEDEIROS, J. S. **Tecnologia e projeto de revestimentos cerâmicos de fachadas de edifícios**, 1999. 458p. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo.

NEW ZEALAND CONCRETE SOCIETY – NZCS – **Guidelines for the use of structural precast concrete in buildings**. New Zealand, 1991.

Nince, A.A. **A ação de altas temperaturas sobre conceitos aplicados em túneis de concreto**, em desenvolvimento desde fevereiro de 2002. Tese (Doutorado) Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo.

NORMA REGULAMENTADORA –18 (NR 18) – **Condições e meio ambiente do trabalho na indústria da construção**. Portaria nº 20, de 17 de abril de 1998.

NUNES, A. Luxo e variedade: grupos estrangeiros investem bilhões de dólares e melhoram a qualidade da hotelaria no Brasil. **Veja**, p. 81, jul. 2001.

OLIVEIRA, L. A.; SOUZA, U. E. L, SABBATINI, F. H. Produtividade da mão-de-obra na execução de vedação de fachadas. In: ENCONTRO NACIONAL DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, Foz do Iguaçu, 2002. **Anais**. Foz do Iguaçu: ANTAC, 2002. p.1741-50. CD ROOM.

ORDONEZ, J. A. F. **Pre-Fabricación – teoría y práctica**. Barcelona: Editores Técnicos Asociados, 1974. v.1.

ORLANDI, S. A. F. **A industrialização da construção: alguns conceitos voltados para o edifício atual.** São Paulo: EPUSP/PCC, 1979. (Apostila não publicada).

PANEL, J. R.; COOK, J. P. **Construction sealants and adhesives.** 3ed. New York: John Wiley & Sons, 1991.

PANNONI, F. D. **Corrosão.** Boletim Técnico da Companhia siderúrgica Paulista Cubatão: COSIPA, 1991.

PANNONI, F. D. Notas de apresentação sobre corrosão atmosférica na Aço Minas. São Paulo: Aço Minas, 2001.

PRECAST CONCRETE INSTITUTE – PCI – **Design handbook.** Chicago, 1972.

— **Architectural precast concrete.** 1.ed., Chicago, 1975

— **Architectural precast concrete.** 2.ed., Chicago, 1989.

— **Design and typical details of connections for precast and prestressed concrete.** 2. ed., Chicago, 1988.

— Fire resistance of architectural precast concrete. **PCI Journal**, p. 19-34, Sep/Oct., 1974.

— **Recommended practice for erection of precast concrete.** Chicago, 1985a

— Tolerances for precast and prestressed concrete – **PCI- Journal.** v.30, n. 1. Jan/Fev, 1985.

PEREIRA, T. C. A. **Avaliação de desempenho de sistemas racionalizados de vedação para edifícios com estruturas metálicas,** 2001. 127p. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de Espírito Santo. Vitória.

PHILLIPS, W. R. & SHEPPARD, D. A. **Plant-cast precast and prestressed concrete: a design guide.** McGraw Hill, 1998.

PROGRAMA IBEROAMERICANO DE CIÊNCIA Y TECNOLOGIA PARA EL DESARROLLO – CYTED – **Corrosión y protección de metales en las atmósferas de Ibero América.** Parte-I. Madrid, 1999.

REESCRETE INDUSTRIES PTY LTD. **Cladding.** Disponível em: <<http://www.rescrete.com.au>> Acesso 03/2000.

ROSSO, T. **Racionalização da construção.** São Paulo: FAUUSP, 1980

SABBATINI, F. H; FRANCO, L. Notas de aula da disciplina de Tecnologia de produção de vedações verticais – TG 04 e PCC2435. São Paulo: EPUSP, 2001. Disponível em: <<http://www.pcc.usp.br/Graduação/PCC2435/pdf/PCC2435-aula18a.pdf>>

SABBATINI, F.H. **Desenvolvimento de métodos, processos e sistemas construtivos: formulação e aplicação de uma metodologia**, 1989. 336p. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo.

SALAS, S. J. **Construção industrializada: pré-fabricação**. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1988 (Apostila de curso realizado em São Paulo, set.,1988).

SALAS,S.J. **Contra el hombre de viviendas**. Bogotá: Escala, 1992.

SATO, N. M. N.; UEMOTO, K. L.; SHIRAKAWA, M. A; SAHADE, R. F. Condensação de vapor de água e desenvolvimento de microorganismos em fachadas de edifícios: estudo de caso. In: ENCONTRO NACIONAL DO AMBIENTE CONSTRUÍDO - ENTAC 2002, Foz do Iguaçu, 2002. **Anais**. Foz do Iguaçu, ANTAC, 2002. pp.1191-1198. CD ROOM

SILVA, V. P. **Estruturas de aço em situação de incêndio**. São Paulo: Zigurate Editora, 2001.

SOUZA, U. E. L; FRANCO, L. S. **Definição do layout do canteiro de obras**. São Paulo: **EPUSP**, 1997. (Boletim Técnico do departamento de construção civil da Universidade São Paulo– BT/PCC 177).

TAYLOR, H. P. **Precast concrete cladding**. London: Edward Arnold, 1992

TEBECHERANI, C. T. P. **Aço inoxidável**. Disponível em : <http://www.pipesystem.com.br/Artigos_Técnicos/Aço_Inox> Acesso, junho de 2002.

TEIXEIRA, E. H. S. **Seleção de sistemas construtivos destinados a edifícios escolares**, 1990. 244p. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo-FAU, Universidade de São Paulo. São Paulo.

TENCHEV, R. T.; PURKISS, J. A. Finite element analysis of coupled heat and moisture transfer in concrete subjected to fire. **Numerical Heat Transfer**, Part A: applications. Chicago: Taylor&Francis Group, v. 39, n. 7, 2001.

TRIGO, J. T. **Tecnologia da construção da habitação**. Lisboa: LNEC, 1978.

UNION EUROPÉENNE POUR L'AGREMENT TECHNIQUE DANS LA CONSTRUCTION – UEAtc - Directivas comuns para homologação de fachadas leves. Trad. de francês e adaptado na Divisão de Comportamento das Construções – **Serviço de Edifícios**. Lisboa, 1974.

WOOLMAN, R. **Resealing of buildings: a guide to goal practice**. Oxford: Oxford Brookes University, 1994.

ZENHA, R. M. Carapicuíba VII: um exemplo do tratamento inadequado da tecnologia na pré-fabricação de habitações populares. In: SIMPÓSIO IBERO-AMERICANO SOBRE TÉCNICAS CONSTRUTIVAS INDUSTRIALIZADAS PARA HABITAÇÃO DE INTERESSE SOCIAL, 3, São Paulo, 1993. **Anais**. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1993. p.284-93.