



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CENTRO TECNOLÓGICO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E URBANISMO**

Luiz Henrique Maccarini Vefago

**FACHADAS PRÉ-FABRICADAS EM ARGAMASSA  
REFORÇADA COM FIBRA DE VIDRO EM TRÊS  
ESTUDOS DE CASO NA GRANDE PORTO ALEGRE**

Florianópolis  
2006

Luiz Henrique Maccarini Vefago

**FACHADAS PRÉ-FABRICADAS EM ARGAMASSA  
REFORÇADA COM FIBRA DE VIDRO EM TRÊS  
ESTUDOS DE CASO NA GRANDE PORTO ALEGRE**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Santa Catarina para a obtenção do título de Mestre em Arquitetura e Urbanismo

Área de concentração:  
Sistemas e Processos Construtivos

Orientador:  
Prof. Dr. Fernando Barth

Florianópolis  
2006

**FACHADAS PRÉ-FABRICADAS EM ARGAMASSA REFORÇADA  
COM FIBRA DE VIDRO EM TRÊS ESTUDOS DE CASO NA  
GRANDE PORTO ALEGRE**

**LUIZ HENRIQUE MACCARINI VEFAGO**

Esta dissertação foi julgada adequada para a obtenção do título de

**MESTRE EM ARQUITETURA E URBANISMO**

Especialidade PROCESSOS E SISTEMAS CONSTRUTIVOS e aprovada em sua  
forma final pelo Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo

---

Prof. Fernando Barth, Dr.  
(orientador)

---

Prof. Alina Gonçalves Santiago, Dra.  
(coordenadora do curso)

**COMISSÃO EXAMINADORA**

---

Prof. Wilson Jesus da Cunha Silveira, Dr. (UFSC)

---

Prof. Narbal Ataliba Marcellino, Dr. (UFSC)

---

Prof. Fernando Henrique Sabbatini, Dr. (USP)

Aos meus pais Otávio e Inês e  
aos meus irmãos Tânia e Sérgio

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço ao professor Fernando Barth, pela orientação e por ter acreditado na minha capacidade de desenvolver este trabalho ao longo destes anos de aprendizado; pela sua generosidade e seu tempo despendido nas discussões sobre o tema.

Agradeço ao professor Wilson Silveira, por estar sempre à disposição para discutir as questões relevantes do trabalho, sempre encontrando tempo entre os seus vários projetos e aulas.

Agradeço também ao professor Fernando Sabbatini, pelas suas observações, que contribuíram para a melhoria do trabalho.

Ao professor Jonas Medeiros pela sua disposição em colaborar com o trabalho, disponibilizando bibliografia específica.

Aos professores Hélio Greven e Narbal Marcellino, que contribuíram, com suas observações, no desenvolvimento deste trabalho.

À Ivonete, secretária do curso PósARQ, por sua atenção e também à Marta Kindler, Henrique Deboni e Giovani Deboni, por possibilitarem o acesso aos projetos e detalhamentos dos estudos de caso.

## RESUMO

As fachadas pré-fabricadas em GRC (*Glassfibre Reinforced Concrete*) são formadas por painéis leves, em argamassa reforçada com fibra de vidro resistente aos álcalis do cimento, que podem alcançar grandes formatos, cuja capacidade e rapidez de montagem as tornam tecnicamente competitivas com relação às vedações com tijolos ou blocos cerâmicos aparentes. Este tipo de fachada possibilita evitar erros freqüentes nas fases de projeto, fabricação e montagem, além de abreviar os prazos de execução em comparação com o sistema convencional de alvenarias. Pode agregar maior qualidade na composição arquitetônica e possibilitar variações construtivas, que conferem grande flexibilidade na sua produção.

Este trabalho busca caracterizar os processos de projeto, produção de fachadas com painéis pré-fabricados em GRC em três estudos de caso na região da grande Porto Alegre. Nestas três obras, recentemente concluídas, as fachadas estão compostas por painéis em GRC revestidos com plaquetas cerâmicas inseridas no processo de fabricação dos mesmos. Os estudos de caso foram caracterizados por seus aspectos compositivos, construtivos e por requisitos e critérios de desempenho higro-térmico, acústico e do comportamento ao fogo.

Análises comparativas foram realizadas entre os estudos de caso segundo os padrões normativos de modo a estabelecer correlação entre as variantes deste sistema de fachadas. Através das análises e dos resultados obtidos pode-se observar uma evolução tecnológica dos processos de fabricação dos painéis nas fachadas dos estudos de caso. Verifica-se também que, as fachadas executadas com esta tecnologia podem aumentar a qualidade e os índices de industrialização da construção, tornando-se particularmente atrativa para grandes empreendimentos, onde a rapidez de execução e a qualidade de composição arquitetônica e construtiva são desejadas.

Palavras-chave: pré-fabricado, fachada, GRC, desempenho.

## **ABSTRACT**

GRC precast facades (Glassfibre Reinforced cement) are made by lightweight panels that can reached large sizes, whose capacity and quickness erection have advantages in comparison with the traditional masonry walls. This type of facade can avoid errors in the design, fabrication and erection fases. These facades can be produced faster and with more quality and flexibility than the conventional masonry walls executed traditionally.

The aim of this work is to characterize the GRC panels production process in three study cases situated in Canoas/RS. These three buildings were executed recently and their facades are composed by GRC panels covered with ceramic tiles bounded on panels fabrication process. These study cases were characterized by compositive and constructive aspects, hygrothermal and acoustical performance requeriments, and fire resistance.

Comparative Analyses were made between the study cases, according to the brazilian and spanish standards, in the way to stablish a facade system technological characterization. Through the analyses and the results obtaned it can be noted a technological evolution of the panels production methods on the study cases facades. Facades executed with this technology can increase the quality and the industrialization of construction, been particularly interesting for large undertaking, where the quickness of execution, architectural composition and constructive qualities are important.

Key-words: precast, facade, GRC, performance.

## SUMÁRIO

<b>RESUMO.....</b>	<b>I</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>II</b>
<b>SUMÁRIO .....</b>	<b>III</b>
<b>LISTA DE FIGURAS.....</b>	<b>VII</b>
<b>LISTA DE TABELAS E GRÁFICOS.....</b>	<b>XII</b>
<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
1.1. JUSTIFICATIVA .....	1
1.3. OBJETIVOS: .....	5
1.3.1 Geral .....	5
1.3.2 Específicos.....	5
1.4 MÉTODO.....	6
1.5 REQUISITOS DE SELEÇÃO DOS ESTUDOS DE CASO.....	6
1.6 ESTRUTURA ORGANIZACIONAL DO TRABALHO .....	7
<b>2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....</b>	<b>8</b>
2.1 CARACTERÍSTICAS COMPOSITIVAS DAS FACHADAS.....	8
2.2 FACHADAS COM TIJOLOS E BLOCOS CERÂMICOS APARENTES .....	9
2.3 FACHADAS COMPOSTAS .....	9
2.4 FACHADAS HETEROGÊNEAS .....	10
2.5 VEDAÇÕES PRÉ-FABRICADAS .....	10
2.6 CARACTERIZAÇÃO DO COMPÓSITO GRC .....	13
2.6.1 Materiais compostos e compósitos .....	13
2.6.1.1 Fase matriz .....	15
2.6.1.2 Fase reforço .....	15
2.6.2 Breve histórico do GRC.....	16
2.6.4 O compósito .....	21
2.6.5 Durabilidade .....	23
2.7 CARACTERIZAÇÃO DOS PAINÉIS EM GRC .....	25
2.7.1 Tipos de moldes.....	26



2.7.2	Equipamentos .....	29
2.7.3	Métodos de projeção .....	29
2.7.3.1	Pré-mistura ( <i>Premix</i> ) .....	30
2.7.3.2	Projeção direta ( <i>Spray-up</i> ) .....	31
2.7.5	Acabamentos superficiais .....	36
2.7.5.1	Matriz pigmentada.....	36
2.7.5.2	Superfícies texturizadas .....	37
2.7.5.3	Exposição de agregados.....	38
2.7.5.4	Revestimentos aderidos.....	41
2.7.6	Controle de qualidade .....	42
<b>3.</b>	<b>PROJETO E PRODUÇÃO DA FACHADAS EM GRC .....</b>	<b>46</b>
3.1	DIRETRIZES BÁSICAS PARA O PROJETO DE FACHADAS EM GRC.....	46
3.1.1	Paginação .....	46
3.1.2	Coordenação dimensional.....	47
3.1.3	Coordenação modular.....	48
3.1.4	CONFORMAÇÃO DE JUNTA .....	50
3.1.4.1	Juntas abertas.....	50
3.1.4.2	Juntas seladas .....	51
3.1.5	Dimensionamento das juntas seladas.....	52
3.1.6	Características dos selantes .....	55
3.1.7	Execução de selamento de junta entre painéis.....	58
3.1.8	Ensaio de adesão dos selantes .....	61
3.1.9	Fixações.....	63
3.2	PRODUÇÃO DAS FACHADAS COM PAINÉIS EM GRC .....	65
3.2.1	Fabricação de painel sanduíche com plaquetas cerâmicas no método de pré-mistura.....	66
3.2.2	Fabricação de painéis sanduíche pelo método de projeção direta .....	69
3.2.3	Fabricação de painéis tipo <i>stud frame</i> pelo método de projeção direta	69
3.3	TOLERÂNCIAS DE FABRICAÇÃO E MONTAGEM DOS PAINÉIS.....	73
3.4	MONTAGEM DOS PAINÉIS .....	75
3.4.1	Equipamentos para montagem e segurança dos operários .....	77
<b>4.</b>	<b>VERIFICAÇÃO DOS DESEMPENHOS TÉRMICO, ACÚSTICO E ANTE AO FOGO .....</b>	<b>79</b>
4.1	DESEMPENHO TÉRMICO .....	81
4.1.1	Conforto térmico.....	81
4.1.2	Variações dimensionais dos painéis por variações de temperatura.....	86
4.1.3	Exemplo de análise do desempenho térmico.....	87

4.2 CÁLCULO DE TRANSMITÂNCIA TÉRMICA GLOBAL .....	93
4.2.1 Exemplo de cálculo da transmitância térmica global.....	96
4.3 OS EFEITOS DA UMIDADE NOS PAINÉIS DE FACHADA.....	97
4.3.1 Variações dimensionais dos painéis por variação de umidade .....	98
4.3.2 Riscos de condensações .....	100
4.4 ISOLAMENTO ACÚSTICO .....	104
4.4.1 Isolamento acústico das vedações homogêneas.....	108
4.4.2 Isolamento acústico das vedações compostas .....	111
4.4.3 Isolamento acústico global das vedações .....	113
4.4.4 Isolamento acústico das janelas .....	115
4.4.5 Desempenho acústico das juntas seladas .....	117
4.5 COMPORTAMENTO AO FOGO .....	118
<b>5. ANÁLISES DOS ESTUDOS DE CASO .....</b>	<b>122</b>
5.1 GINÁSIO .....	122
5.1.1 Características do projeto .....	123
5.1.2 Características das fachadas .....	126
5.1.3 Paginação .....	126
5.1.4 Características dos painéis .....	129
5.1.5 Fixações.....	130
5.1.6 Juntas e selantes .....	130
5.1.7 Características da montagem dos painéis .....	131
5.1.8 Isolamento higrotérmico .....	131
5.1.9 Isolamento acústico.....	133
5.1.10 Resistência ao fogo.....	133
5.2 EDIFÍCIO FACULDADE DE ODONTOLOGIA.....	134
5.2.1 Características do projeto .....	135
5.2.2 Características das fachadas .....	138
5.2.3 Paginação .....	141
5.2.4 Características dos painéis .....	142
5.2.5 Fixações.....	145
5.2.6 Juntas e selantes .....	146
5.2.7 Características da montagem dos painéis .....	147
5.2.8 Isolamento higrotérmico .....	147
5.2.9 Isolamento acústico.....	148
5.2.10 Resistência ao fogo.....	149
5.3 EDIFÍCIO GARAGEM.....	150
5.3.1 Características do projeto .....	151
5.3.2 Características das fachadas .....	154
5.3.3 Paginação .....	157
5.3.4 Características dos painéis .....	158

5.3.5	Fixações .....	159
5.3.6	Juntas e selantes .....	160
5.3.7	Características da montagem dos painéis .....	161
5.3.8	Isolamento higrotérmico e acústico .....	162
5.3.9	Resistência ao fogo.....	162
<b>6.</b>	<b>ANÁLISE DOS RESULTADOS .....</b>	<b>163</b>
6.1	QUADRO COMPARATIVO DO DESEMPENHO TÉRMICO DAS VEDAÇÕES.....	163
6.2	QUADRO COMPARATIVO DA CONDENSESAÇÃO E TRANSFERÊNCIA DE VAPOR DE ÁGUA .....	166
6.3	QUADRO COMPARATIVO DO DESEMPENHO ACÚSTICO .....	168
6.4	QUADRO COMPARATIVO QUANTO À RESISTÊNCIA AO FOGO .....	170
<b>7.</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>172</b>
7.1	CONSIDERAÇÕES QUANTO AO SISTEMA CONSTRUTIVO EM GRC.....	172
7.2	CONSIDERAÇÕES QUANTO AO DESEMPENHO HIGROTÉRMICO .....	173
7.3	CONSIDERAÇÕES QUANTO AO DESEMPENHO ACÚSTICO.....	175
7.4	CONSIDERAÇÕES QUANTO AO DESEMPENHO AO FOGO .....	176
7.5	CONSIDERAÇÕES QUANTO À FABRICAÇÃO .....	177
7.6	CONSIDERAÇÕES QUANTO À MONTAGEM .....	178
7.7	CONSIDERAÇÕES QUANTO AOS ASPECTOS DE COMPOSIÇÃO .....	178
7.8	RECOMENDAÇÕES PARA FUTUROS TRABALHOS .....	179
<b>ANEXOS</b>	<b>.....</b>	<b>180</b>
<b>REFERÊNCIAS</b>	<b>.....</b>	<b>185</b>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Utilização de painéis em GRC (a) San Francisco Marriot Hotel, nos Estados Unidos e (b) paisagem produzida com painéis em GRC imitando rochas naturais, em Ebbw Vale, na Grã-bretanha (NIPPON ELECTRIC GLASS, 2000 e 2002). .....	18
Figura 2.2 – (a) Torre de telecomunicações em Portugal e (b) mobiliário urbano executado em GRC.....	19
Fonte: (a) FERREIRA, BRANCO (2005) e (b) GRCA (2003) .....	19
Figura 2.3 – Painéis utilizados (a) como barreira acústica em rodovias, e (b) como formas permanentes (GRCA, 2003).....	20
Figura 2.4 – Catedral da Sé, (a) montagem das torres, (b) torre B concluída e (c) obra finalizada com as novas torres, (BARTH <i>et al</i> , 2003a; 2003b). .....	21
Figura 2.5 - fibras de vidro Álcali-resistente (a) acabada de ser inserida na matriz e (a) mantida a 80°C por 200 horas em solução saturada de cimento ( <a href="http://www.neg.co.jp/arg/en/arg_fiber_en.html">http://www.neg.co.jp/arg/en/arg_fiber_en.html</a> . Acessado em 6 de Fevereiro de 2006). .....	22
Figura 2.6- fibras de vidro tipo E (a) acabada de ser inserida na matriz e (b) mantida a 80°C por 200 horas em solução saturada de cimento ( <a href="http://www.neg.co.jp/arg/en/arg_fiber_en.html">http://www.neg.co.jp/arg/en/arg_fiber_en.html</a> . Acessado em 6 de Fevereiro de 2006). .....	23
Figura 2.7 - Tipos de painéis em GRC. (a) painel casca; (b) painel casca com isolamento. (c) painel casca com nervuras de reforço; (d) painel sanduíche e (e) painel tipo <i>stud frame</i> (CIRIA, 1992) .....	25
Figura 2.8 – Diferença entre as larguras de juntas para painéis com ângulo de 80° em (a) selante com capacidade elástica 25% e (b) selante com MAF = 50%. .....	26
Figura 2.9 – Diferença entre as larguras de juntas para painéis com ângulo de 90° em (a) selante com capacidade elástica 25% e (b) selante com MAF = 50%. .....	27
Figura 2.10 –Moldes e contra-moldes produzidos em fibra de vidro para os painéis das torres da catedral da Sé, São Paulo (BARTH <i>et al</i> , 2003a).....	28
Figura 2.11 – (a) Equipamento de projeção concêntrico e (b) projeção do GRC sobre o molde ( <a href="http://www.power-sprays.co.uk/">http://www.power-sprays.co.uk/</a> . Acessado em 6 de Fevereiro de 2006; BARTH, 2003) .....	29
Figura 2.12 – fluxograma de fabricação dos painéis em GRC pelo processo pré-mistura (BARTH, 1997).....	31

Figura 2.13 – Fluxograma de fabricação dos painéis em GRC pelo processo de projeção (BARTH, 1997).....	34
Figura 2.14 - Projeção automatizada de GRC no BRE (1985) e na Caracola - Dragados.(1990) ...	34
Figura 2.15 –Texturas obtidas nos moldes: pedra, bloco split, madeira e tijolo (form liners).....	37
Fonte: www.scottssystem.com. - Acessado em 15 de Fevereiro de 2006.....	37
Figura 2.17 – Texturas com agregados especiais .....	38
Fonte: www.cpci.ca. - Acessado em 15 de Fevereiro de 2006.....	38
Figura 2.18 – (a) Componentes plásticos utilizados como gabarito e (b) colocação de plaquetas cerâmicas no fundo do molde (SCOTT SYSTEM INC, 2005) .....	41
Figura 2.19 – Procedimento de ensaio para a determinação do teor de fibras, (NBR-15306, parte 2) .....	44
Figura 2.20 – Dispositivo de ensaio acoplado a uma prensa para a determinação da resistência à flexão do compósito GRC. ....	45
Figura 3.1 – (a) Espaço geral de coordenação e (b) medidas das tolerâncias na coordenação modular. Adaptado de Rosso (1976) (a) e Ordóñez, 1974, p 160 (b). ....	49
Figura 3.2 – Junta aberta e junta selada (BARTH, 1997).....	50
Figura 3.3 – Secções transversais de tipos de juntas reentrantes (BARTH, 1997) .....	52
Figura 3.4 – profundidades das juntas dos diferentes tipos de selantes (WOOLMAN, 1994). ....	53
Figura 3.5 – Configurações de juntas seladas mostrando o efeito de adesão em três faces, adaptado de ASTM C 1193. 2005.....	60
Figura 3.6 – visualização das camadas aplicadas em juntas largas (WOOLMAN, 1994).....	61
Figura 3.7 – Ensaio de adesão por extensão do selante na junta, adaptado de ASTM C 1193.....	62
Figura 3.8 – Ensaio de adesão por extensão do selante na placa, adaptado de ASTM C 1193.....	63
Figura 3.9 – Tipos de insertes colocados em painéis do tipo sanduíche e um exemplo de fixação de painéis em GRC à estrutura do edifício.(BARTH, 1997).....	65
Figura 3.10 – Detalhes para a fabricação dos painéis tipo sanduíche para o método de pré-mistura e de projeção direta.(CEM-FIL, 1996).....	66
Figura 3.11 - Colocação das plaquetas no fundo do molde e aplicação da argamassa colante sobre estas.....	67
Figura 3.12 – Colocação dos insertes metálicos e posterior aplicação do GRC.(CEM-FIL, 1996). ....	68
Figura 3.13 – Projeção da primeira camada de GRC com 3-4mm de espessura sobre a argamassa colante. ....	69
Figura 3.14 – Perspectiva de uma parte de um bastidor metálico, mostrando as ancoragens de gravidade na parte inferior e as hastes flexíveis na parte superior. ....	70
Figura 3.15 – Problemas com o posicionamento errado da haste flexível (a) e alternativa de uso para o mau posicionamento (b). Adaptado de PCI (1991).....	72

Figura 3.16 – Perspectiva de uma parte de um bastidor metálico, mostrando a colocação das almofadas em GRC sobre as hastes flexíveis. ....	72
Figura 3.17 – Detalhes da almofada em GRC. Adaptado de PCI (1994). ....	73
Figura 3.18 – desvios de posicionamento de painéis no plano da fachada, onde $\Delta$ é o deslocamento e $\alpha$ é o desvio angular .....	75
Figura 3.19 – desvios de posicionamento na seção transversal de painéis no plano da fachada, onde $\Delta$ é o deslocamento e $\alpha$ é o desvio angular .....	75
Figura 3.20 – (a) montagem dos painéis stud frame no edifício da Faculdade de Odontologia e (b) etapa de içamento e fixação dos painéis sanduíche na fachada leste do edifício de estacionamento .....	78
Fonte: Nave Sistemas Construtivos, 2003 .....	78
Figura 4.1 – Perdas de desempenho na vida útil da edificação .....	80
Fonte: Projeto de norma brasileira Desempenho de Edifícios Habitacionais de até 5 pavimentos – Parte 1. 2001). ....	80
Figura 4.2 – Perspectiva mostrando as camadas de uma vedação estruturada com blocos de concreto e com painéis em GRC tipo stud frame .....	87
Figura 4.3 – Corte horizontal da vedação da caixa de escada da Faculdade de Odontologia. Medidas em milímetros .....	88
Figura 4.4 – Perspectiva do módulo com bloco estrutural de concreto, mostrando as seções de corte.....	88
Figura 4.5 - Efeito de adsorção, difusão e condensação do vapor de água em função da umidade nos poros abertos. (QUENARD E SALLEE, 1992). ....	97
Figura 4.6 – Ábaco psicrométrico mostrando as temperaturas do ar e de condensação (ANALYSIS BIO) .....	103
Figura 4.7 – Seção da vedação com blocos de concreto e painéis tipo <i>stud frame</i> ilustrando a diminuição das temperaturas do ar. ....	104
Figura 4.8 – Relação entre o nível de pressão sonora e o número de veículos por minuto (KUNDSEN e HARRIS, 1950). ....	106
Figura 4.10 - Isolamento acústico de uma vedação homogênea em função das frequências em Hz (BARTH, 1997). ....	108
Figura 4.11 – Isolamento de um painel em GRC (a) em função de sua massa e (b) em função da frequência (CEM-FIL, 1996).....	110
Figura 4.12 – Paredes duplas com (a) uniões elásticas e (b) uniões rígidas, (BARNES, 1980)....	113
Figura 4.13 – (a) Efeito se juntas abertas na perda de transmissão em testes realizados com vedações com (3,80x2,40)m e (b) exemplo de como manter o isolamento acústico com o selamento das juntas. Adaptado da norma ASTM C919 (2002).....	117
Figura 5.1 – Vista geral das fachadas do ginásio e de um dos blocos com salas de aula. ....	122

Figura 5.2 – Fachadas do ginásio esportivo com painéis pré-fabricados em GRC revestidos com plaquetas cerâmicas.....	123
Figura 5.3 – Planta do ginásio. (KINDLER, 2004) .....	125
Figura 5.4– Fachadas Leste e Oeste. (KINDLER, 2004).....	128
Figura 5.5 – Paginação das fachadas Leste e Oeste. (KINDLER, 2004).....	128
Figura 5.6 – (a) Vista interna do ginásio e (a) vista interna dos painéis sanduíche em GRC .....	129
Figura 5.7 – (a) vista posterior do painel sanduíche com as quatro fixações do painel nas vigas e (b) rebaixo no painel para a fixação com a estrutura.....	130
Fonte: Verdicon .....	130
Figuras 5.8 – (a) A figura da esquerda mostra uma junta selada e (b) ilustra o canto selado para posterior colocação das esquadrias na interface com os painéis (BARTH, 2003) .....	131
Figura 5.9 – Vista da fachada sul.....	134
Figura 5.10 – Fachada Oeste.....	135
Figura 5.11 – Primeiro Pavimento (KINDLER, 2004).....	136
Figura 5.12 – Segundo Pavimento (KINDLER, 2004).....	136
Figura 5.13 – Terceiro Pavimento (KINDLER, 2004).....	137
Figura 5.14 – Corte AA (KINDLER, 2004) .....	137
Figura 5.15 – Corte BB (KINDLER, 2004) .....	137
Figura 5.16 – Fachada leste com a escada enclausurada em destaque. ....	138
Figura 5.17 – Fachadas Norte e Sul .....	139
Figura 5.18 – Paginação das Fachadas Norte e Sul .....	139
Figura 5.19 – Fachada principal (Oeste).....	140
Figura 5.20 – Paginação da fachada principal (Oeste).....	140
Figura 5.21 – Fachada Leste .....	140
Figura 5.22 – Paginação fachada Leste .....	140
Figura 5.23 – Detalhamento do painel tipo sanduíche A7 .....	143
Figura 5.24 – Vista posterior e corte transversal do painel B1 tipo <i>stud frame</i> .....	144
Figura 5.25 – Seção horizontal da esquina da caixa de escada, mostrando o encontro dos painéis em GRC .....	145
Figura 5.26 – (a) Fixação painel sanduíche; (b) lado posterior do painel <i>stud frame</i> , mostrando em vermelho, as hastes flexíveis; e (c) fixação do painel <i>stud frame</i> .....	146
Figura 5.27 – detalhe dos componentes do painel tipo <i>stud frame</i> .....	146
Figura 5.28 – Volumetria da fachada oeste mostrando os painéis em concreto armado revestidos com plaquetas cerâmicas e os painéis sinuosos em GRC na cor branca ..	150
Figura 5.29 – Fachadas da caixa de escadas construída com painéis em concreto armado.....	151
Figura 5.30 – Primeiro pavimento. (KINDLER, 2004).....	152
Figura 5.31 – Corte AA. (KINDLER, 2004) .....	152

Figura 5.32 – Corte BB. (KINDLER, 2004) .....	152
Figura 5.33 – Corte CC .....	153
Figura 5.34 – Vista da (a) rampa de acesso da fachada Norte e (b) dos painéis sinuosos na fachada Oeste. ....	154
Figura 5.35 – Fachadas Leste e Oeste .....	155
Figura 5.36 – Paginação das fachadas Leste e Oeste .....	155
Figura 5.37 – Fachadas Norte e Sul .....	155
Figura 5.38 – Paginação das fachadas Norte e Sul.....	155
Figuras 5.39 – vistas das ranhuras dos painéis sinuosos sanduíche em GRC. As figuras mostram a diferença entre as superfícies de um mesmo painel, a lisa e a ranhurada. ....	159
Figura 5.40 – (a)– vista geral das fixações do painel no pilar e na laje; (b) detalhe da fixação do painel na estrutura de concreto e (c) fixação entre painéis .....	160
Figuras 5.41 – A figura à esquerda mostra uma junta aberta localizada nos painéis sinuosos e à direita uma junta aberta no pórtico da fachadas Norte. ....	161
Figura 5.42 - (a) vista anterior e (b) vista posterior do painel de concreto mostrando as juntas de movimentação seladas entre os painéis e as juntas de argamassa entre as plaquetas cerâmicas. ....	161
Figura 6.1 – Painel (a) sanduíche com plaquetas cerâmicas utilizado no ginásio e (b) sanduíche com plaquetas cerâmicas e gesso acartonado utilizado no edifício da faculdade de odontologia. ....	163
Figura 6.2 – Painel (a) tipo <i>stud frame</i> em GRC com plaquetas cerâmicas utilizado na caixa de escada do edifício da faculdade de odontologia e (b) em concreto armado utilizado no edifício garagem.....	164
Figura 6.3 – Comportamento higro-térmico das vedações com painéis (a) <i>stud frame</i> e (b) sanduíche, para o edifício da Faculdade de Odontologia.....	167
Figura 6.4 – Comportamento higro-térmico (a) vedação com painel sanduíche no ginásio e (b) painel de concreto localizado nas caixas de escada do edifício garagem .....	167
Figura 6.5 – Condensação intersticial no painel em GRC tipo <i>stud frame</i> da caixa de escada faculdade de odontologia para temperatura externa de 3°C .....	168
Figura 8.1 – Zoneamento bioclimático brasileiro - NBR 15220 .....	180
Figura 8.2 – Mapa do zoneamento climático espanhol por temperaturas médias mínimas / NBE-CT-79. Este mapa é para o cálculo da transmitância térmica da vedação.....	181
Figura 8.3 – Mapa do zoneamento climático espanhol / NBE-CT-79. Este mapa é para o cálculo da transmitância térmica global do edifício.....	181
Figura 8.4 – Ábaco psicrométrico para a determinação das temperaturas de condensação e do conteúdo de umidade contido no ar. ....	182



## LISTA DE TABELAS E GRÁFICOS

Tabela 3.1 – Quantidades dos materiais utilizados no método <i>premix</i> .....	67
Tabela 3.2 – Tolerâncias de fabricação estabelecidas por PCI e pela norma NBR-9062.....	73
Tabela 3.3 – Tolerâncias de montagem estabelecidas por PCI e pela norma NBR-9062. ....	74
Tabela 4.1 - Resistências térmicas máximas admissíveis das vedações segundo as zonas bioclimáticas, estabelecidas pelas NBR 15220. ....	82
Tabela 4.2 – Valores máximos de transmitância térmica admissíveis para as vedações, em (W/m <sup>2</sup> K), retirados da NBE-CT-79 .....	83
Tabela 4.3 – Comparação entre as transmitâncias térmicas das normas.....	83
Tabela 4.4 - Resistência térmica de câmaras de ar não ventiladas – NBR 15220 .....	84
Tabela 4.5 - Condições de ventilação para câmaras de ar, NBR 15220.....	85
Tabela 4.6 – Valores mínimos de capacidade térmica para vedações – Projeto de norma Desempenho de Edifícios Habitacionais de até 5 pavimentos .....	91
Tabela 4.7 – Coeficiente <i>a</i> em (W/m <sup>2</sup> K), extraída da norma NBE-CT-79.....	95
Tabela 4.8 – Valores limites máximos de U <sub>G</sub> , em (W/m <sup>2</sup> K), extraídos da norma NBE-CT-79.....	95
Tabela 4.9 – Somatório das áreas do edifício da Faculdade de Odontologia.....	96
Tabela 4.10 – Justificativa de cálculo da transmitância global U <sub>G</sub> do edifício da Faculdade de Odontologia. Tabela adaptada da NBE-CT-79. ....	96
Tabela 4.11 – temperatura do ambiente interior. Norma NBE-CT-79 .....	100
Tabela 4.12 – Diferença de temperatura das camadas da vedação (°C).....	102
Tabela 4.13 – Resistência à passagem ao vapor de água da vedação, em MNs/g (NBE-CT-79) 102	
Tabela 4.13 – permeabilidade ao vapor de água da vedação (g/Kg).....	104
Tabela 4.14 – Nível de pressão sonora produzido por veículos (BARNES, 1980) .....	106
Tabela 4.15 – Compensação em dB(A) para frequências entre 125 – 5000Hz (NBE-CT-88).....	107
Tabela 4.16 – Comparação entre os isolamentos acústicos .....	110
Tabela 4.17 – isolamentos em vedações com janelas, (DE MARCO, 1990) .....	115
Tabela 4.5 - Classificação dos estudos de caso quanto á resistência ao fogo. (CBCPA) .....	119
Tabela 4.6 – Comparação entre as resistências ao fogo exigidas para as vedações dos estudos de caso .....	120
Tabela 5.1 – Resistências térmicas e à passagem de vapor de água das camadas do painel sanduíche .....	132
Tabela 5.2 – Somatório das áreas do edifício da Faculdade de Odontologia.....	132
Tabela 5.3 – Justificativa de cálculo da transmitância global U <sub>G</sub> do ginásio. Tabela adaptada da NBE-CT-79.....	132

Tabela 5.4 – Justificativa de cálculo do isolamento acústico do ginásio. Adaptado da NBE-CT-88.....	133
Tabela 5.5 – Tipos e repetições dos painéis do edifício da faculdade de odontologia.....	141
Tabela 5.6 - Resistências térmicas e à passagem de vapor de água das camadas do painel sanduíche .....	147
Tabela 5.7 - Resistências térmicas e à passagem de vapor de água das camadas do painel <i>stud frame</i> .....	148
Tabela 5.8 – Justificativa de cálculo do isolamento acústico do edifício da faculdade de odontologia. Esta tabela foi adaptada da Norma espanhola NBE-CT-88.....	148
Tabela 5.9 – Justificativa de cálculo do isolamento acústico em dB do edifício da faculdade de odontologia. Esta tabela foi adaptada da Norma espanhola NBE-CT-88.....	148
Tabela 5.10 – Tipos e repetições dos painéis do edifício garagem.....	157
Tabela 5.11 - Resistências térmicas e à passagem de vapor de água das camadas do painel de concreto.....	162
Tabela 6.1 – Comparação entre as transmitâncias térmicas das vedações dos estudos de caso. ....	164
Tabela 6.2 – comparação entre os isolamentos acústicos das vedações dos estudos de caso. ...	169
Tabela 8.1 - Valores de condutividade térmica obtidos através da NBR 15220 e valores de resistividade ao vapor de água obtidos através da NBE-CT-79, utilizados nos cálculos do desempenho térmico.....	182
Tabela 8.2 - Classificação das edificações quanto às suas características construtivas. Lei Complementar nº 420 (CBCPA, 2001) .....	183
Tabela 8.3 - Edificações do grupo E com área superior a 750 m <sup>2</sup> ou altura superior a 12,00 m; e edificações de divisão G-1 e G-2 com área superior a 750 m <sup>2</sup> ou altura superior a 12,00 m. Tabela parcial.....	183
Fonte: Decreto nº46.076, 2001.....	183
Tabela 8.4 - Exigências de proteção contra incêndio por tipos de edificação. (Tabela parcial).....	184
Fonte: Código de Proteção contra Incêndio de Porto Alegre. 2001. ....	184
Tabela 8.5 – Código de exigências para os dispositivos de proteção contra incêndio. (Tabela parcial).....	184
Fonte: Código de Proteção contra Incêndio de Porto Alegre. 2001. ....	184
Gráfico 2.1 – Comportamento à flexão determinado por Marikunte S. et al.: (a) cura normal 28 dias; (b) envelhecido com 84 dias imerso em água quente 50°C.....	24
Gráfico 5.1 – Índice de repetição dos painéis tipo sanduíche e suas superfícies .....	142
Gráfico 5.2 – Índice de repetição dos painéis tipo <i>stud frame</i> e suas superfícies.....	142
Gráfico 5-3 – índice de repetição dos painéis sanduíche em GRC.....	158

# 1. INTRODUÇÃO

O presente trabalho tem por objetivo a caracterização do uso de painéis com material cimentício reforçado com fibra de vidro resistente aos álcalis do cimento, definido pela norma NBR 15305, cuja denominação internacional é GRC (*Glassfibre Reinforced Concrete*). Os três estudos de caso deste trabalho estão localizados na Universidade Luterana do Brasil, em Canoas / RS, correspondente aos seguintes edifícios: um ginásio de esportes, o edifício da Faculdade de Odontologia e um edifício garagem. O uso de revestimentos cerâmicos foi um dos requisitos de projeto destes edifícios, de forma a dar continuidade à linguagem arquitetônica adotada nas construções existentes, onde a alvenaria com tijolos e blocos aparentes é predominante. Outro requisito foi a rapidez de execução que este sistema pré-fabricado proporciona.

## 1.1. JUSTIFICATIVA

A industrialização da construção aporta grandes benefícios, se comparada com os métodos tradicionais, tais como precisão de medidas, controle de qualidade, segurança e confiabilidade nos prazos de entrega. A produção racionalizada elimina muitos desperdícios na obra, além de ter seu tempo de execução mais rápido, produzindo elementos com melhores qualidades técnicas. Reduz consideravelmente mão-de-obra no canteiro, transferindo-a para a indústria possibilitando seu treinamento, gerando melhores condições de trabalho e maior qualificação, com aumento da produtividade e níveis salariais. A industrialização

da construção pode gerar um maior desenvolvimento tecnológico, na medida que prioriza o uso da mão-de-obra qualificada e equipamentos especializados, possibilitando maior controle dos processos de fabricação e montagem, e produtos com qualidade e durabilidade compatíveis com a finalidade a que se destinam. O controle industrial e maior organização da atividade produtiva possibilita maior precisão, com tolerâncias dimensionais da ordem de milímetros.

As novas técnicas de fabricação e a organização das atividades industriais podem proporcionar flexibilidade construtiva nos processos de fabricação e na montagem das fachadas. Pode-se utilizar diferentes formas e materiais de revestimento para várias discriminações projetuais, o que proporciona também flexibilidade compositiva. O correto detalhamento do projeto de fachadas acarreta maior qualidade e conservação destas, otimizando a produção na fábrica e a montagem no canteiro. A construção industrializada não se limita apenas a obras com plantas ortogonais. O sistema possibilita, também, a criação de formas diferenciadas com alta qualidade, desde fachadas com curvatura simples até a elaboração de geometrias complexas.

De outra parte, as vedações tradicionais possuem algumas vantagens culturais e econômicas em relação aos pré-fabricados. A solidez e peso da alvenaria podem inspirar segurança aos usuários, a mão-de-obra pode ser facilmente encontrada, e a carência de manutenção não preocupa a maior parte dos usuários e o preço dos blocos é relativamente baixo, com relação a outros sistemas construtivos, no entanto, esta situação está mudando aos poucos. As estruturas podem apresentar grandes deformações, ao serem desconsideradas as ações de longa duração que ocorrem durante a vida útil do edifício. A qualidade da construção, em geral, no Brasil é diluída entre os diversos agentes atuantes: projetistas, construtores, mestres de obra, pedreiros, eletricitas, carpinteiros, pintores, encanadores, etc, dificultando, assim, as ações dos usuários para assegurar garantias e reparos.

Os sistemas com painéis pré-fabricados possibilitam satisfazer os requisitos e critérios de desempenho das necessidades dos usuários e a garantia na execução dos serviços. Para tanto, faz-se necessária a compatibilização de

projeto, fabricação e montagem dos componentes. As fachadas pré-fabricadas são sistemas flexíveis e leves, ao contrário das alvenarias que são rígidas e pesadas; adaptam-se muito bem a estruturas mais leves, sendo que as juntas podem absorver as variações dimensionais apresentadas pelos painéis de fachada. A utilização desta tecnologia utiliza fixações soldadas ou parafusadas, ao contrário da construção convencional, que utiliza em grande parte consolidações por meio de concretagem e grauteamento, que freqüentemente acarretam re-trabalhos e atrasos nas obras.

As fachadas pré-fabricadas exigem um maior controle de qualidade, a fim de evitar ajustes indesejáveis na obra, exigindo a integração de projetos e procedimentos de execução previamente definidos evitando, assim, decisões de última hora, na obra. Para que isso aconteça é imprescindível o uso da coordenação dimensional, que garante a compatibilidade de componentes de diferentes indústrias no ciclo aberto, fazendo com que peças de diferentes modulações possam encaixar-se perfeitamente.

Hoje a pré-fabricação apresenta variantes tecnológicas, que possibilitam riqueza compositiva e projetos personalizados. Existe uma constante busca entre pesquisa de materiais e *design*, onde há cada vez mais o aperfeiçoamento de novas tecnologias a fim de produzir mais com maior eficiência, buscando adequar a construção em acordo com as exigências dos usuários.

Na última década, o uso da pré-fabricação tem sido mais intenso em edifícios industriais, comerciais e institucionais. Isso porque a iniciativa privada buscou eliminar incógnitas que existem no canteiro de obras, gerando mais agilidade nos processos de produção e agregando mais qualidade aos produtos. A tendência observada na industrialização da construção é a de eliminar incertezas no canteiro e de qualificar a arquitetura.

As fachadas pré-fabricadas tornam-se mais vantajosas em edificações, com grandes dimensões e/ou com grandes alturas, onde as vedações costumam fazer parte no caminho crítico da obra, diminuindo sensivelmente o tempo de execução, com o aumento de desempenho. No caso de edifícios comerciais, um menor tempo de execução das fachadas, significa uma antecipação no prazo de entrega

do empreendimento, podendo representar para o empreendedor adiantamento nos prazos e faturamento adicional que pode resultar em rápida amortização das vedações e do edifício.

O sistema de fachadas pré-fabricadas, pode possibilitar flexibilidade construtiva através da substituição, ampliação e até mesmo o reaproveitamento dos painéis de vedação. Pelo sistema convencional seria necessária a demolição e reconstrução das vedações, acarretando gastos desnecessários, gerando desperdícios, transtornos e perda de produtividade devido à morosidade dos serviços. Nas fachadas pré-fabricadas, os painéis são apenas transportados e fixados na nova estrutura, sendo acrescentados novos painéis para o restante da ampliação; assim, o prazo para a ampliação será menor, evitando-se transtornos.

A região Sul do Brasil iniciou em 2001 a aplicação de painéis em GRC nas fachadas de alguns edifícios. A ULBRA (Universidade Luterana do Brasil), utilizou estes painéis no sentido de atender aos exíguos prazos de execução e elevar o padrão compositivo de suas fachadas. Estas aplicações possibilitaram a transferência e adequação desta tecnologia às condicionantes regionais. Algumas variantes tecnológicas foram utilizadas nos painéis das fachadas dos edifícios da ULBRA. As fachadas do ginásio de esportes foram executadas com painéis do tipo sanduíche<sup>1</sup>, revestidos externamente com plaquetas cerâmicas. No processo de fabricação destes painéis planos com aproximadamente 10m<sup>2</sup> de superfície, utilizou-se mesa metálica, onde foram assentadas as plaquetas cerâmicas, recebendo uma camada de argamassa colante do tipo ACIII e posteriormente as duas camadas de GRC pelo método de pré-mistura<sup>2</sup> com núcleo interno de poliestireno. As fachadas da Faculdade de Odontologia possuem painéis sanduíches de GRC, também revestidos com plaquetas cerâmicas, sendo o GRC fabricado através do método de projeção. A caixa de escada enclausurada deste edifício foi revestida com painéis de GRC tipo *stud-frame*<sup>3</sup>, fixados nas paredes

---

<sup>1</sup> Painéis que possuem duas camadas de GRC, com núcleo isolante térmico e/ou acústico.

<sup>2</sup> Método de fabricação no qual a argamassa e as fibras de vidro AR (*Alkali Resistant*) são misturadas conjuntamente e inseridas sobre um molde. Este método está detalhado no item 2.7.3.1.

<sup>3</sup> Painel que possui uma fina camada em GRC, com uma estrutura posterior de aço em forma de um quadro, chamada de bastidor metálico, ligada à casca de GRC por meio de hastes flexíveis.

em alvenaria estrutural. As fachadas do edifício garagem apresentam painéis sanduíche com formato sinuoso, cujo GRC foi fabricado com cimento branco através do método de projeção direta<sup>4</sup>.

Estes três edifícios possibilitam caracterizar alguns dos diferentes tipos e processos de fabricação de painéis de fachada em GRC, onde se pode constatar um aumento no tamanho dos painéis, uso de texturas, colorações e de revestimentos cerâmicos. Estas técnicas, que foram utilizadas primeiramente para seguir os padrões arquitetônicos existentes no local, serviram também para gerar elementos de destaque na composição das fachadas destes edifícios, servindo como referência para a utilização de fachadas pré-fabricadas e para contribuir na difusão da tecnologia do GRC no Brasil.

### 1.3. OBJETIVOS:

#### 1.3.1 Geral

Caracterizar os métodos de produção de fachadas com painéis pré-fabricados em GRC em três estudos de caso na região da grande Porto Alegre.

#### 1.3.2 Específicos

- Levantar dados referentes à produção das fachadas com painéis em GRC nos estudos de caso;
- Avaliar os aspectos compositivos e construtivos dos painéis;
- Analisar o desempenho higro-térmico das fachadas com painéis em GRC;
- Analisar o desempenho acústico das fachadas com painéis;
- Avaliar o comportamento ao fogo das fachadas com painéis;
- Caracterizar a evolução da tecnologia das fachadas em GRC nos estudos de caso.

---

<sup>4</sup> Método de fabricação no qual a argamassa e as fibras de vidro AR são mantidas separadas uma da outra e projetadas simultaneamente sobre um molde por pistola com ar comprimido. Ver item 2.7.3.2.

## 1.4 MÉTODO

O presente trabalho baseia-se em um método qualitativo, quantitativo e exploratório, que busca a caracterização tecnológica da produção de fachadas através do levantamento de dados e das análises de desempenho realizadas segundo as normas específicas para os três estudos de caso.

A revisão da literatura foi realizada por meio de livros, revistas especializadas, artigos técnicos, anais de congressos, Internet, visitas a obras, entrevistas e outras fontes de pesquisa, cuja seqüência de elaboração do trabalho é discriminada a seguir:

- 1 - Levantamento gráfico e fotográfico dos estudos de caso;
- 2 - Avaliação compositiva das fachadas dos estudos de caso e dos respectivos sistemas construtivos utilizados;
- 3 - Análise do desempenho higro-térmico das fachadas dos estudos de caso, segundo método analítico proposto pelas normas brasileira, NBR 15220 Desempenho térmico de Edificações; e espanhola NBE-CT-79 – Conforto Térmico;
- 4 - Análise do desempenho acústico das fachadas dos estudos de caso, segundo a norma espanhola NBE-CA-88 – Conforto Acústico e pelo projeto de Norma 02:136.01.004 – Desempenho de Edifícios Habitacionais de até 5 pavimentos – Parte 4: Fachadas;
- 5 - Avaliação do comportamento ao fogo das fachadas dos estudos de caso, segundo as normas do Corpo de Bombeiros de Porto Alegre, São Paulo e pela norma espanhola NBE-CPI-96 – Condiciones de protección contra incendios en los edificios;
- 6 - Elaboração de quadros comparativos dos níveis de desempenho entre os estudos de caso e os correspondentes valores normativos.

## 1.5 REQUISITOS DE SELEÇÃO DOS ESTUDOS DE CASO

Para se definir com clareza os estudos de caso, alguns requisitos foram levados em consideração:



A localização das construções, a fim de obter dados climáticos semelhantes para as análises de desempenho higro-térmico, que fossem produzidos por um único fabricante, com o intuito de manter as características de moldagem, cura, transporte e montagem dos painéis em GRC. Adotar edificações que possuam diferentes funções arquitetônicas e que possuam revestimento com plaquetas cerâmicas incorporadas aos painéis, para que demonstrem flexibilidades construtivas e compositivas do sistema de painéis pré-fabricados em GRC.

## 1.6 ESTRUTURA ORGANIZACIONAL DO TRABALHO

O trabalho está estruturado em 7 capítulos

O capítulo 1 apresenta o estado da arte das vedações com tijolos e blocos aparentes e das fachadas pré-fabricadas com painéis em GRC. São apresentados os conceitos de fachada composta, heterogênea e vedações pré-fabricadas, assim como histórico e evolução dos painéis de fachada em GRC. Neste capítulo, os painéis em GRC são caracterizados por aspectos de produção.

O capítulo 2 aborda as diretrizes de projeto e produção das fachadas com painéis em GRC. Mostra as diferentes partes do sistema construtivo, a fabricação e montagem dos painéis em GRC com e sem o uso de plaquetas cerâmicas. Apresenta as etapas de dois métodos de fabricação: o de pré-mistura e o de projeção direta.

O capítulo 3 aborda a aplicação dos requisitos e critérios de desempenho para os painéis em GRC. Os requisitos e critérios apresentados neste trabalho são: desempenho higro-térmico, desempenho acústico e de resistência ao fogo.

O capítulo 4 é dedicado à apresentação dos estudos de caso. São abordadas as características arquitetônicas de cada obra, como também, características dos painéis, juntas, fixações, requisitos e critérios de desempenho.

O capítulo 5 apresenta quadros comparativos das características elaboradas no capítulo 3, comparando o sistema de fachadas em GRC com normas nacionais e internacionais e com alvenarias em tijolos e blocos aparentes, executadas tradicionalmente.

O capítulo 6 apresenta as conclusões do trabalho.

# 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

## 2.1 CARACTERÍSTICAS COMPOSITIVAS DAS FACHADAS

Os aspectos compositivos das fachadas confundem-se freqüentemente com a imagem da obra ou da empresa. Muitas técnicas e produtos estão disponíveis, desde uma simples pintura aplicada à fachada até o uso de painéis, com texturas, cores e tonalidades elaboradas na fase de produção de um componente, até a incorporação de outros materiais na camada de revestimento, como granilhas ou placas cerâmicas. Estas técnicas quando aplicadas aos elementos de fachada, como platibandas e peitoris protegem e minimizam as manchas nas mesmas, contribuindo para o aumento da durabilidade da edificação.

As fachadas possuem papel estratégico na valorização de um empreendimento, podendo gerar destaque ao edifício e também compor com o espaço urbano. Dentre outras funções, as fachadas são elementos condicionadores naturais do edifício podendo, quando bem dimensionadas, melhorar a eficiência energética. As fachadas são a fronteira entre os espaços interiores e o exterior. Podem, no entanto, criar espaços de transição que melhoram o conforto dos usuários, (TECTONICA 2,1995). O ambiente exterior pode apresentar grande variação de temperatura e umidade, incidência de chuvas, ventos, poluição e outros agentes. Estes agentes atuam como condicionantes de projeto, gerando especificidades no edifício e particularmente em suas fachadas. Na escolha do sistema construtivo de fachadas deve-se levar

em consideração ainda outros fatores, tais como: acabamentos superficiais, relação custo-benefício, prazos de execução, durabilidade e atendimento aos requisitos e critérios de desempenho.

## 2.2 FACHADAS COM TIJOLOS E BLOCOS CERÂMICOS APARENTES

Muitas das fachadas no Brasil são realizadas com tijolos ou blocos cerâmicos aparentes, em função do seu bom desempenho, economia e durabilidade. Nos estudos de caso do presente trabalho um dos requisitos de projeto das fachadas é adotar a mesma linguagem arquitetônica dos edifícios construídos com alvenaria aparente. A norma NBR 7171 (1992), trata da definição de blocos cerâmicos, como sendo: “Componente de alvenaria que possui furos prismáticos e/ou cilindros perpendiculares às faces que os contém”. Já a norma NBR 7170 (1988), afirma que o tijolo é um componente maciço. As vedações executadas com tijolos e blocos aparentes possuem bom desempenho, mão-de-obra qualificada e boa relação custo-benefício. Por outro lado, as alvenarias comumente executadas com tijolos e blocos cerâmicos costumam apresentar desperdícios exagerados, re-trabalho, falhas de conformidade, fissuração e perda de estanqueidade.

A coloração e as dimensões dos tijolos dependem principalmente do tipo de argila utilizada e do processo de queima no forno. Quanto mais próximo o tijolo estiver do calor, mais escuro e menores serão suas dimensões. CIRIA (1992) destaca que as dimensões destes tijolos devem ter uma proporção de  $L \times L/2 \times L/3$ , ou seja, (215 x 102,5 x 65) mm, mais 10mm de junta com argamassa.

Apesar das variações dimensionais e das variações de tonalidades, o aspecto das alvenarias com tijolos ou blocos aparentes constitui certa variabilidade no conjunto que é mantida ao longo da vida útil, mantendo sua integridade sob a ação de agentes agressivos.

## 2.3 FACHADAS COMPOSTAS

As fachadas compostas são aquelas que apresentam duas ou mais camadas na sua seção transversal, podendo ser cada uma delas dimensionada de

modo a atender funções específicas de desempenho. A fachada cortina é um exemplo de fachada composta, pois as camadas deste sistema possuem funções que incidem na composição, no isolamento higró-térmico e acústico, na resistência aos impactos, na resistência ao fogo e na durabilidade do conjunto. Siqueira Jr (2003) define fachada cortina como sendo “um sistema formado por placas ou painéis fixados externamente à base suporte do edifício por uma subestrutura auxiliar constituindo-se no revestimento externo ou na vedação vertical exterior de uma edificação”. As fachadas com painéis em GRC, ao apresentarem diversas camadas, também podem ser denominadas como fachadas cortina.

## 2.4 FACHADAS HETEROGÊNEAS

As fachadas são constituídas por diferentes partes, tais como: partes opacas e partes transparentes e muitas vezes por diversos componentes, elementos e sistemas construtivos que apresentam desempenhos diferenciados frente às solicitações mecânicas, às variações climáticas e aos agentes poluentes. Essas variações somadas às intenções compositivas de projeto podem fazer com que uma mesma fachada apresente diferentes tipos de materiais aplicados, tais como: vidro, alumínio, pedra, cerâmica, reboco e pinturas. Estas variações ao longo das fachadas influenciam diretamente no desempenho térmico, acústico e de resistência ao fogo.

## 2.5 VEDAÇÕES PRÉ-FABRICADAS

As vedações pré-fabricadas constituem um conjunto de soluções construtivas bastante abrangente e diferenciado, que vão desde os painéis de alumínio composto, fachadas em “pele de vidro”, fachadas com “painéis de concreto arquitetônico”, com painéis pré-fabricados cerâmicos, entre outros. Todas estas vedações constituem-se em processos industrializados, que utilizam a racionalização como modo de aumentar a organização da atividade produtiva, e a mecanização para incrementar a sua produtividade.

Ordoñez (1974) define racionalização da construção como sendo uma maneira de melhorar as fases de construção de uma edificação por meio de novas

técnicas, procedimentos e organizações no canteiro, para aumentar a produtividade do setor de construção. Rosso (1980) define racionalização como sendo a "aplicação mais eficiente de recursos para a obtenção de um produto dotado da maior efetividade possível". Deste modo, a racionalização da construção pode ser realizada no canteiro de obra ou na indústria, desde que haja a correta aplicação de um planejamento e gestão do processo construtivo para diminuir as incertezas nas decisões dos profissionais envolvidos no projeto e na produção da edificação. A racionalização da construção inicia-se na fase de projeto do edifício, sendo que este último pode ou não ser industrializado.

A industrialização da construção permitiu ao longo do século XX o desenvolvimento de estruturas e vedações pré-fabricadas em concreto. A industrialização pode ser entendida como um resultado de "uma racional aplicação de recursos, da eliminação dos desperdícios e do aumento da eficiência dos fatores de produção, mão-de-obra e equipamento", (ROSSO, 1976). Para o mesmo autor, produção significa "a formação do produto através de transformações industriais que aumentam a utilidade dos bens e serviços", (ROSSO, 1980). Dentre as diversas definições de industrialização da construção apresentadas por Ordoñez (1974), a do Instituto Eduardo Torroja de la Construcción y del Cemento, afirma que a "Industrialização da construção é o emprego de forma racional e mecanizada de materiais, meios de transporte e técnicas construtivas para conseguir uma maior produtividade". O aumento do grau de industrialização é função da racionalização e da mecanização, que gradativamente substitui o trabalho humano pela máquina, com os objetivos de diminuir ou eliminar os desperdícios e aumentar a produtividade. Em outras palavras, é fabricar o máximo de produtos com o mínimo de insumos.

Sabbatini (1998) afirma que a industrialização da construção "é um processo evolutivo que, através de trabalho e técnicas de planejamento e controle, objetiva incrementar a produtividade, o nível de produção e aprimorar o desempenho da atividade construtiva." Este mesmo autor cita que devem ser elaborados tanto os projetos de produto, quanto os de produção deste determinado produto, a fim de se produzir com a maior eficiência possível. O

projeto de produto estabelece o que deve ser executado e o projeto de produção estabelece como que este produto deve ser executado.

Ordóñez (1974), cita que entre as definições de pré-fabricação, uma das que melhor caracteriza este processo é a do Terceiro Plano de Desenvolvimento Espanhol, que diz que a “Construção pré-fabricada é aquela cujas partes construtivas são, em sua maioria, executadas em série, com a precisão dos métodos industriais modernos, para formar um sistema construtivo coerente”. Este mesmo autor destaca que os painéis pré-fabricados devem atender a três funções principais: estrutural, de isolamento e de acabamentos superficiais. Bruna (2002), descreve a diferença existente entre pré-fabricação e industrialização, afirmando que a pré-fabricação “constitui uma fase de ‘industrialização’, uma vez que não está, como esta, associada aos conceitos de organização e de produção em série”. Existe, ainda, um outro tipo de fabricação de painéis que é a pré-moldagem, que segundo Ordoñez (1974) é a pré-fabricação no canteiro de obras, com a mesma precisão dos produtos executados em fábricas. A norma NBR 9062 (2001) define elemento pré-moldado, como sendo “elemento moldado previamente e fora do local de utilização definitiva da estrutura.”

A pré-fabricação é um tipo de industrialização da construção que transforma insumos em componentes. A combinação destes componentes origina os elementos, que podem formar um sistema construtivo ou os sub-sistemas que compõem a edificação. A seguir são apresentadas as definições de componente, elemento e processo construtivo.

Mitidieri (1998) caracteriza componente construtivo como sendo “produto manufaturado como unidade distinta para servir a uma função ou funções específicas (ex. porta, janela , viga, etc). Este autor ainda define elemento construtivo como “agregados de componentes utilizados conjuntamente (ex. estrutura, fachadas, etc.) Segundo o projeto de norma brasileira “Desempenho de Edifícios Habitacionais de até 5 Pavimentos”, elemento construtivo pode ser caracterizado como “produto que corresponde a uma parte complexa da edificação, destinado a cumprir um conjunto amplo de funções e atender simultaneamente a diversas exigências dos usuários (...)”. O referido projeto de

norma também conceitua processo construtivo como: “Conjunto de métodos ou técnicas de produção de componentes, elementos e sistemas construtivos”. Estes conceitos possibilitam organizar o planejamento e a gestão da produção, bem como da sua montagem em obra.

A produção de fachadas com painéis pré-fabricados em concreto possibilita flexibilidade compositiva através de texturas, pigmentos e incorporação de outros materiais. Porém, devido ao volume e peso próprio elevado dos painéis, exige equipamentos com grande capacidade para a fabricação e para o içamento, dificultando a montagem, além de aumentar a carga na edificação. Barth (1997), El Debs (2000), Oliveira (2002) descrevem em maiores detalhes as características de fabricação e montagem de painéis de fachada em concreto. De outra parte, as fachadas executadas com painéis em GRC possibilitam o emprego de equipamentos de menor capacidade na fábrica e na montagem, devido à tecnologia empregada no processo de produção, descrito a seguir.

## 2.6 CARACTERIZAÇÃO DO COMPÓSITO GRC

A matriz cimentícia utilizada possui algumas denominações: GRC, nomenclatura de origem inglesa, GFRC<sup>5</sup>, que é a nomenclatura de origem americana e CRV<sup>6</sup>, que foi a nomenclatura proposta no primeiro encontro brasileiro sobre o tema (BARTH, 2000). Neste trabalho adota-se a denominação GRC, por ser a nomenclatura adotada pela associação internacional GRCA<sup>7</sup>, que realiza encontros bianuais e que tem difundido e contribuído para a difusão desta tecnologia em diferentes países.

### 2.6.1 Materiais compostos e compósitos

Os primeiros materiais compósitos foram desenvolvidos pela natureza. A madeira é um exemplo de compósito, pois é constituída por fibras de celulose que são envolvidas por resinas. Os ossos também são exemplo de compósitos, pois são formados por cálcio e fibras de colágeno (SANTIAGO, 1997).

---

<sup>5</sup> Glass Fiber Reinforced Concrete

<sup>6</sup> Cimento Reforçado com Fibra de Vidro

<sup>7</sup> Glassfibre Reinforced Concrete Association

Weeton, et al (1988), define compósito como sendo constituído “de dois ou mais materiais combinados deliberadamente para formar uma estrutura heterogênea com propriedades desejadas ou pretendidas”. Gürdal, et al (1999), afirma que os compósitos são “construídos por dois ou mais materiais, comumente referidos como constituintes, e possuem características derivadas dos constituintes individuais”. Taya e Arsenault (1989) consideram que o compósito deve ser produzido pelo homem - eliminando os compósitos produzidos pela natureza - deve ser uma combinação de dois elementos quimicamente diferentes e possuir propriedades que não seriam alcançadas pelos constituintes separados. Segundo Santiago (1997), um material compósito “é aquele constituído por dois materiais cujas propriedades são superiores às que ambos possuem quando isolados”, como é o caso das ligas metálicas. Agopyan, (1993), afirma que o primeiro material compósito produzido pelo homem foi o adobe, realizado com barro e palha.

Talvez o material composto mais difundido seja o concreto armado. Segundo as definições apresentadas anteriormente, o concreto possui alta resistência à compressão, porém baixa resistência à tração. A armadura em aço possibilita alta resistência à tração. A união destes materiais proporciona ao concreto armado altos valores de tração e compressão, ou seja, o que cada constituinte tem a oferecer de melhor.

Santiago (1997), diferencia os materiais compostos dos compósitos. Os materiais compostos são formados pela união de dois ou mais materiais. Os compósitos são caracterizados por duas fases: a fase matriz e a fase de reforço, que costuma ser obtida por fibras, lâminas ou partículas, são produtos leves e produzidos com matriz predominantemente polimérica. Segundo Gürdal et al (1999), o termo fase pode ser definido como “(...) um corpo homogêneo de modo que seja fisicamente distinto”. Para que exista a diferenciação entre as fases, os constituintes devem apresentar diferentes propriedades, por exemplo, enquanto o primeiro possui elevada resistência à compressão o último deve apresentar elevada resistência à tração. Agopyan (1993), afirma que o primeiro material compósito reforçado com fibras utilizado na construção civil executado



industrialmente foi o cimento-amianto. Este autor comenta que os materiais fibrosos foram desenvolvidos visando a indústria da construção civil. No entanto, o grande avanço ocorreu em outras indústrias, notadamente a indústria mecânica, aeronáutica e bélica depois da Segunda guerra Mundial, cujos estudos mais avançados permitiram o desenvolvimento de matrizes metálicas e poliméricas.

De 1900, data da primeira patente do método de produção do cimento-amianto até 1960, o compósito com maior aplicação na construção civil foi o cimento-amianto, devido à sua elevada resistência mecânica. Após terem sido revelados problemas de saúde dos operários, causados pela inalação das fibras no processo de fabricação é que foram realizados estudos para criar alternativas de compósitos em substituição às fibras de amianto, (AGOPYAN, 1993). A partir deste ponto é que começaram efetivamente os estudos sobre os compósitos com fibras de vidro, que podem ser observados no item 2.6.2.

#### 2.6.1.1 Fase matriz

A matriz é a maior parte constituinte do compósito tendo, segundo Weeton, (1988), as funções de envolver a fase de reforço, propiciar estabilidade e distribuir os esforços atuantes para a fase de reforço. As matrizes podem ser poliméricas, metálicas, cerâmicas ou minerais. As matrizes minerais podem ser obtidas com argamassa de cimento, gesso ou de argila.

#### 2.6.1.2 Fase reforço

A função do reforço é de aumentar as resistências à tração e à flexão do compósito, obtidas pelo uso de fibras, lâminas ou partículas. Os painéis de fachada analisados neste trabalho são realizados com matriz cimentícia reforçados com fibras de vidro.

As fibras freqüentemente utilizadas nos compósitos são: vidro, metálica, carbono, polipropileno, celulose com PVC e aramida, também denominada de Kevlar. Segundo Santiago, 1997, as fibras de vidro são as mais utilizadas nos compósitos produzidos para a indústria da construção civil, devido às suas características e menor custo dentre estas fibras. Vários tipos de fibras de vidro

estão disponíveis no mercado, servindo para usos específicos e são apresentadas a seguir:

- Vidro A e C – possuem grande resistência química e são utilizados como camada superficial de elementos expostos a ambientes que possuem alto grau de corrosão;
- Vidro B – borossilicato de cálcio – grande durabilidade e excelente propriedades elétricas;
- Vidro D – dielétrico – possui propriedades elétricas que possibilitam seu emprego na construção de componentes eletrônicos, utilizados principalmente para a construção de radares;
- Vidro E – dentre as fibras de vidro é a mais utilizada. A denominação E vem da sua propriedade de isolamento elétrico em ambientes com baixa alcalinidade. Possui resistência à tração elevada e baixa absorção de umidade, fazendo com que seja utilizado também em ambientes úmidos;
- Vidro R e S – são fibras que possuem alta resistência à fadiga e à tração, (em torno de 33% a mais que as fibras tipo E) e mantém suas características em altas temperaturas. São utilizadas nas indústrias aeronáutica, espacial e bélica;
- Vidro AR – a resistência aos álcalis do cimento é obtida pela incorporação de óxido de zircônia no seu processo de fabricação. Esta fibra é utilizada para a produção de componentes em GRC.

Os painéis produzidos em argamassa reforçados com fibras de vidro AR são compósitos que apresentam elevada resistência à compressão obtida pela matriz cimentícia e com elevada resistência à tração, obtido pelo reforço proporcionado pelas fibras de vidro AR.

#### 2.6.2 Breve histórico do GRC

Os primeiros estudos realizados com cimentos reforçados com fibras de vidro foram iniciados na década de 1960 com os irmãos russos Biryukovich

(MAJUMDAR E LAWS, 1991). Nestes primeiros experimentos, as fibras utilizadas eram do tipo E<sup>8</sup> que sofrem forte ataque alcalino, responsável pela perda de resistência mecânica, conforme mostrado na figura 2.6. Estas fibras apresentavam uma deterioração em tempos relativamente curtos frente ao ataque alcalino provocado pelo hidróxido de cálcio derivado da hidratação de cimento Portland. Entretanto, o Cimento Portland constituía cerca de 95% da produção mundial de cimento e o problema se concentrava na obtenção de uma fibra de vidro resistente ao meio alcalino, (BARTH 1997). Em 1966 o instituto BRE – Building Research Stablishment – começa pesquisas com alternativas para substituir os produtos de cimento-amianto, cujos processos de fabricação já eram caracterizados como cancerígenos. Em 1967, A.J. Majumdar realiza pesquisas com adição de óxido de zircônia nas fibras de vidro, conseguindo aumentar a durabilidade das fibras controlando o ataque alcalino do cimento (TRUE, 1986). Em 1971 a empresa Pilkington Brothers consegue a patente da fibra de vidro AR, denominada comercialmente de Cem-FIL. No ano de 1980 uma empresa holandesa chamada Forton produziu um polímero que possibilitava a utilização das fibras de vidro tipo E, permitindo também aumentar a durabilidade de compósito com matriz cimentícia. Neste mesmo ano a empresa Pilkington Brothers lança a nova versão de sua fibra de vidro, chamada de Cem-FIL 2 que possuía uma camada de revestimento que aumentava ainda mais a estabilidade química das fibras na matriz cimentícia. Dos anos de 1980 até os dias atuais, pouca mudança foi realizada na fibra de vidro, mantendo sua composição praticamente inalterada ao longo destes anos. Atualmente, observa-se o uso predominante das fibras de vidro AR na produção de GRC, com três fabricantes mundiais: Vetrotex, na Espanha; *Nippon Electric Glass*, no Japão e Xiangfan JieBang Fiberglass, na China.

### 2.6.3 PANORAMA DA UTILIZAÇÃO DO GRC

As aplicações do compósito GRC são as mais diversas, desde a execução da envolvente do edifício com os painéis pré-fabricados, até a obtenção de

---

<sup>8</sup> As fibras de vidro tipo E são as comercializadas usualmente. Estas fibras deterioram-se rapidamente no interior de elementos de concreto, pois a sua estabilidade química é frágil.

elementos complexos, sendo que este compósito também possibilita a obtenção de formas e texturas variadas para a execução em parques temáticos, mobiliário urbano e cenários.

O hotel San Francisco Marriot é o edifício com a maior superfície construída com painéis em GRC nos Estados Unidos, totalizando uma área de 31.620m<sup>2</sup>, conforme visto na figura 2.1 (A). Possui 42 andares e 2400 painéis de fachada, tendo sido concluído em 1989. Uma utilização que impressiona pela forma e texturas realistas é a fabricação de cenários naturais com painéis, como mostra a figura 2.1 (B). Trata-se de um cenário construído em 1992, com área de 700m<sup>2</sup>, para o *Welsh National Garden Festival*, na Grã-bretanha. Cada molde utilizado serviu apenas para um painel, haja visto que na natureza é difícil uma forma se repetir duas vezes. Os painéis foram montados e posteriormente coloridos para criar um visual verdadeiro, e as juntas entre estes foram preenchidas com GRC.



(a)

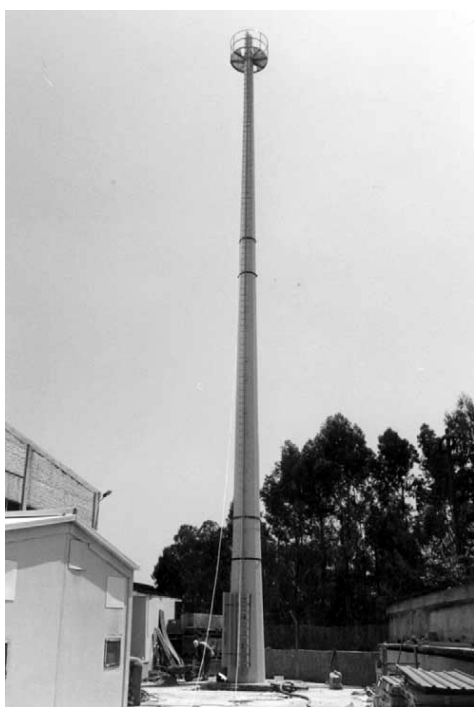


(b)

Figura 2.1 – Utilização de painéis em GRC (a) San Francisco Marriot Hotel, nos Estados Unidos e (b) paisagem produzida com painéis em GRC imitando rochas naturais, em Ebbw Vale, na Grã-bretanha (NIPPON ELECTRIC GLASS, 2000 e 2002).

O GRC também pode ter aplicação estrutural, como é o caso de uma torre de telecomunicações, mostrada na figura 2.2 (A), onde este compósito foi utilizado por ser livre de corrosão e com alta durabilidade. Segundo Ferreira e Branco 2005, outros materiais foram associados ao GRC, devido a este compósito não suportar as cargas de vento incidentes. Esta torre possui 30m de altura e está composta por 3 segmentos: 2 segmentos com 12m e 1 com 6m. A seção da torre é um tronco de cone, possuindo 70cm de diâmetro na base e 50cm no topo. Em 2000 foi construída uma torre semelhante a esta no Estado de São Paulo, com 40m de altura (VIEIRA, 2001).

Outra utilização do GRC é como mobiliário urbano, como apresentado na figura 2.2 (B). Além da lixeira, podem-se fabricar bancos, quiosques, estátuas, etc.



(a)



(b)

Figura 2.2 – (a) Torre de telecomunicações em Portugal e (b) mobiliário urbano executado em GRC

Fonte: (a) FERREIRA, BRANCO (2005) e (b) GRCA (2003)

As barreiras acústicas são muito utilizadas na Europa nas margens das rodovias, exemplificadas na figura 2.3 (a). As formas permanentes são indicadas para obras onde os cobrimentos de armadura dos componentes de concreto são

grandes, como é o caso de construções em ambientes industriais severos ou em obras marítimas, podendo-se diminuir estes cobrimentos com a utilização de painéis em GRC. Nestes casos, os painéis em GRC servem de forma para a colocação do concreto e de revestimento final, como é mostrado na figura 2.3 (b).

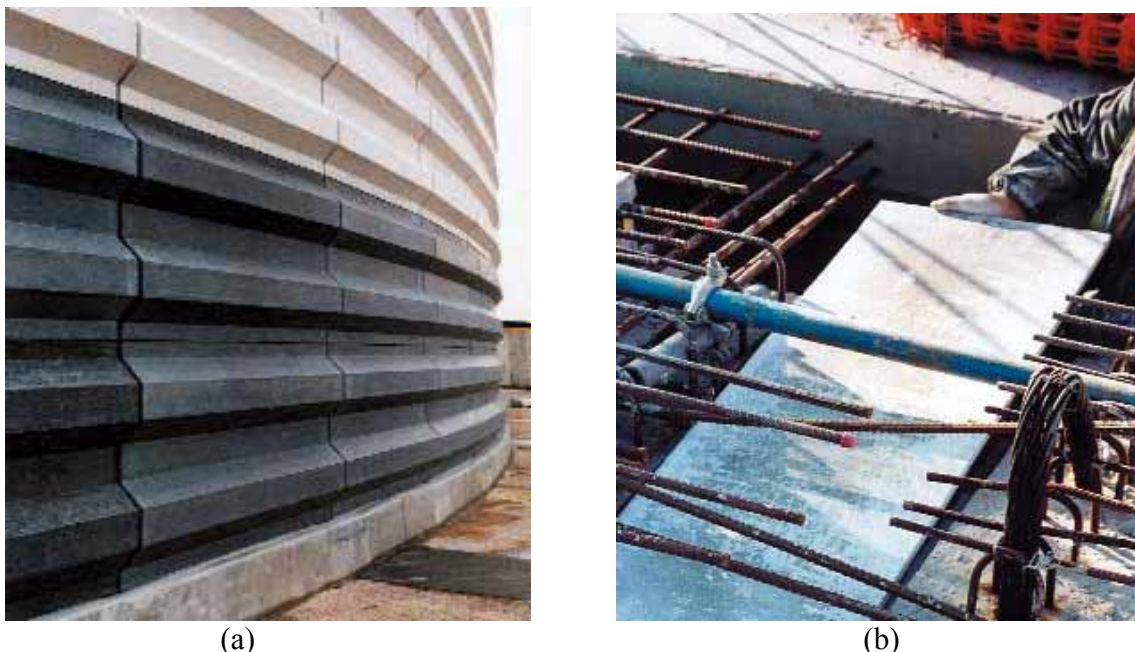


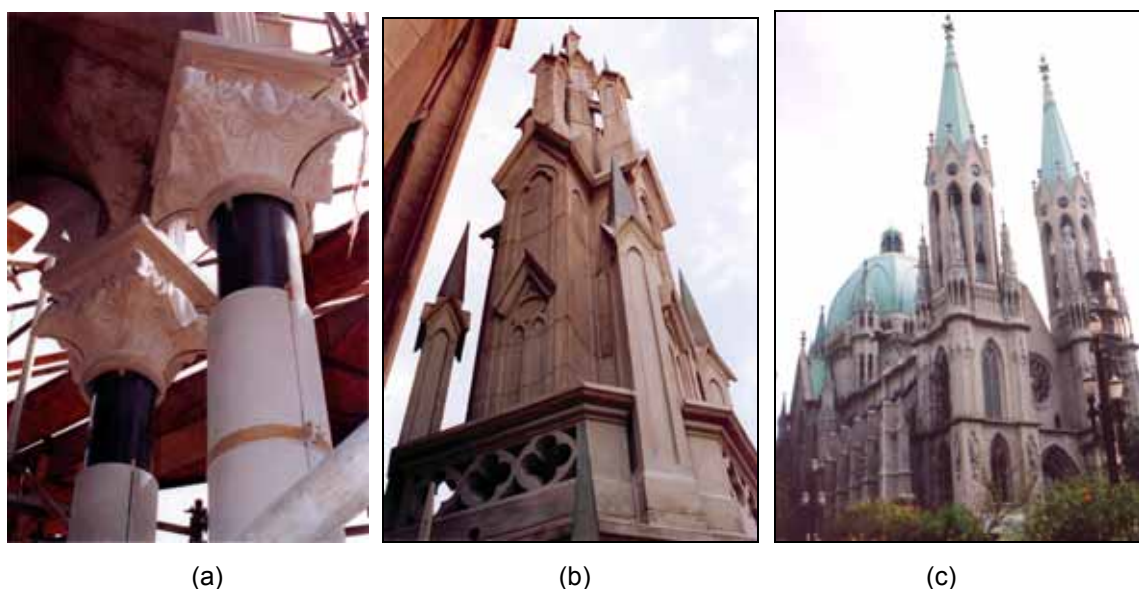
Figura 2.3 – Painéis utilizados (a) como barreira acústica em rodovias, e (b) como formas permanentes (GRCA, 2003)

No Brasil, as fachadas pré-fabricadas não se limitam apenas aos edifícios industriais ou comerciais. Uma obra emblemática que se destaca pela riqueza da composição arquitetônica e utilização de painéis pré-fabricados é a Catedral da Sé, situada na cidade de São Paulo. O projeto original da catedral foi elaborado pelo arquiteto Maxmilian Hehl, em 1912, cuja obra prolongou-se até os anos cinqüenta, sendo inaugurada com apenas as duas torres principais, faltando, no entanto, construir outras 14 torres menores, conforme mostra a figura 2.4. Estas torres secundárias variam entre (2 a 4)m de diâmetro e de aproximadamente (12,5 a 19)m de altura. A escolha por este sistema construtivo foi devido à leveza dos painéis em GRC, o que conduziu a acréscimos de cargas compatíveis com a reduzida capacidade de carga que as fundações existentes podiam suportar.

Os painéis foram fabricados pelo método de projeção direta, com espessura média de 15 mm. A repetitividade na fabricação dos painéis possibilitou alcançar

índices de produtividade elevados para o nível de complexidade da obra e realizar a montagem dentro dos prazos estabelecidos, (BARTH, 2003).

Barth *et al* (2003a; 2003b), desenvolveram fixações para os painéis em GRC, fabricados em aço inoxidável, de modo a evitar a oxidação interna e manchas superficiais nas fachadas. As cantoneiras que unem os insertes às estruturas das torres são em aço patináveis, cujas soldas receberam tratamento anti-corrosivo. No aparafusamento dos insertes de inox com as cantoneiras de aço, foram utilizadas arruelas de nylon, de modo a evitar a formação de pontes galvânicas entre os mesmos.



(a) (b) (c)  
Figura 2.4 – Catedral da Sé, (a) montagem das torres, (b) torre B concluída e (c) obra finalizada com as novas torres, (BARTH *et al*, 2003a; 2003b).

#### 2.6.4 O compósito

O GRC é um compósito com, matriz cimentícia reforçado com fibra de vidro AR. Além do cimento, areia e da fibra de vidro, o GRC pode conter plastificantes, aditivos e pigmentos. Os componentes em GRC costumam ser em camadas finas, em comparação com os correspondentes pré-fabricados de concreto, em função da matriz ser reforçada com fibras de vidro resistentes aos álcalis do cimento. Os painéis em concreto utilizam armaduras de aço, que devem ser protegidas por uma camada de concreto para evitar a oxidação desta, dimensionada conforme o

ambiente em que se encontram e a durabilidade requisitada. Os componentes em GRC, ao contrario dos seus equivalentes em concreto armado, não exigem cobrimento mínimo, pois as fibras não sofrem deterioração pelo processo de corrosão, e a matriz cimentícia envolve e protege as fibras, garantindo a distribuição homogênea do compósito. Esta camada de cobrimento aumenta a espessura dos elementos de concreto armado, e conseqüentemente eleva seu peso. As fibras de vidro AR apresentam boa resistência ao ataque alcalino da matriz cimentícia, mantendo a aderência na interface fibra-matriz e conferindo boa resistência à tração e flexão do compósito.

A figura 2.5 mostra um ensaio acelerado das fibras de vidro AR, onde à esquerda estão fibras novas, que acabaram de ser inseridas na matriz cimentícia. Na direita, estão as fibras envelhecidas por 200h, mantidas a temperatura de 80°C. Nota-se que o ataque dos álcalis do cimento às fibras AR é muito reduzido, proporcionado pela camada de revestimento de óxido de zircônia.

A figura 2.6 mostra um ensaio acelerado das fibras de vidro comum (tipo E), onde à esquerda estão fibras novas, que acabaram de ser inseridas na matriz cimentícia. Na direita, estão as fibras envelhecidas por 200h, mantidas a temperatura de 80°C. Nota-se que o ataque dos álcalis do cimento é muito forte, impossibilitando com que este tipo de fibra seja utilizado em matrizes convencionais de cimento Portland. No entanto, segundo estudos realizados por LIANG; et al (2002), seu uso pode ser aplicado a essa matriz se houver uma camada de cobrimento especial.

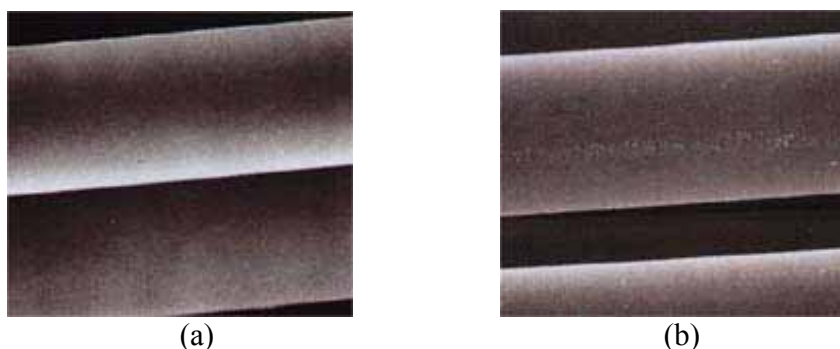


Figura 2.5 - fibras de vidro Álcali-resistente (a) acabada de ser inserida na matriz e (a) mantida a 80°C por 200 horas em solução saturada de cimento ([http://www.neg.co.jp/arg/en/arg\\_fiber\\_en.html](http://www.neg.co.jp/arg/en/arg_fiber_en.html). Acessado em 6 de Fevereiro de 2006).



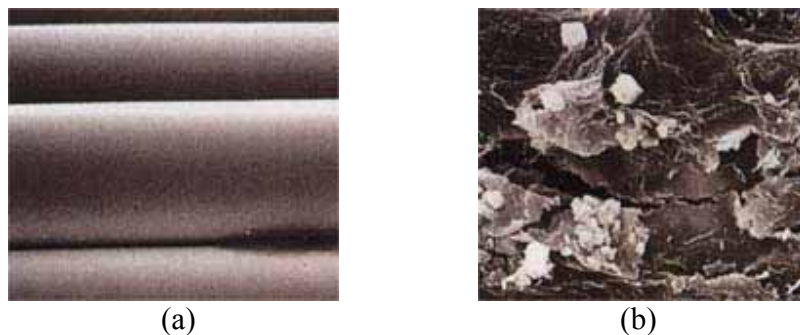


Figura 2.6- fibras de vidro tipo E (a) acabada de ser inserida na matriz e (b) mantida a 80°C por 200 horas em solução saturada de cimento ([http://www.neg.co.jp/arg/en/arg\\_fiber\\_en.html](http://www.neg.co.jp/arg/en/arg_fiber_en.html). Acessado em 6 de Fevereiro de 2006).

### 2.6.5 Durabilidade

O compósito GRC também está sujeito à mesma degradação como os outros concretos, apresentando, no entanto, algumas vantagens em função da estabilidade química da fibra AR e baixa porosidade da matriz cimentícia proporcionada pelo processo de compactação, baixa relação água/cimento, adição de polímeros, elevado consumo de cimento e redução das fissuras de retração proporcionados pelas fibras. No entanto, Majumdar e Laws (1991) afirmam que ambientes mais quentes e úmidos tendem a diminuir a vida útil do GRC, pois o óxido de zircônio que confere a durabilidade, reage com maior intensidade com os álcalis do cimento nestas condições. Segundo a norma ASTM C1560 (2003), o hidróxido de cálcio que se une com os filamentos dos feixes da fibra de vidro reduz a possibilidade de alongamento das fibras e conseqüentemente diminui a sua resistência mecânica, passando de um compósito dúctil para uma matriz cimentícia frágil.

Alternativas têm sido estudadas para diminuir a concentração de hidróxido de cálcio,  $\text{Ca(OH)}_2$ , na matriz. Majumdar e Laws (1991) comentam que os compósitos em GRC que utilizam polímeros em suas formulações possuem maior durabilidade que as matrizes produzidas sem polímeros. Isso se deve ao fato das partículas dos polímeros preencherem os espaços vazios entre as fibras, prevenindo a precipitação dos cristais de  $\text{Ca(OH)}_2$  entre as mesmas. Outra alternativa para aumentar a durabilidade do GRC é introduzir uma maior

quantidade de fibras de vidro no compósito de modo a manter a ductibilidade<sup>9</sup> do mesmo.

Uma outra opção é a adição de pozzolanas, como por exemplo, sílica ativa e metacaulim. Majumdar e Laws (1991) explicam que os materiais reativos combinam-se com o  $Ca^{++}$  e os íons dos metais alcalinos produzidos pela hidratação do cimento, proporcionando às fibras um ambiente menos agressivo.

Marikunte S. et al. (1997) apresentam resultados dos experimentos realizados com metacaulim e sílica ativa na durabilidade do compósito GRC, constituídos por três tipos de misturas, apresentadas no gráfico 2.1. Uma com o GRC usualmente utilizado, classificada como GRC (C). Em outra amostra foram adicionados 25% de sílica ativa sobre a massa total, GRC (SF) e na última, adicionados 25% de metacaulim em sua composição, GRC (MK). Os corpos-de-prova foram curados em câmaras úmidas por 28 dias e depois imersos em água quente a temperatura de 50°C. Os autores observaram que as misturas GRC (C) e GRC (SF) demonstram redução significativa na tensão à flexão em torno de (50-60)% com o envelhecimento em água. O GRC (MK) obteve uma queda de aproximadamente 15% e a rigidez diminuiu 20%.

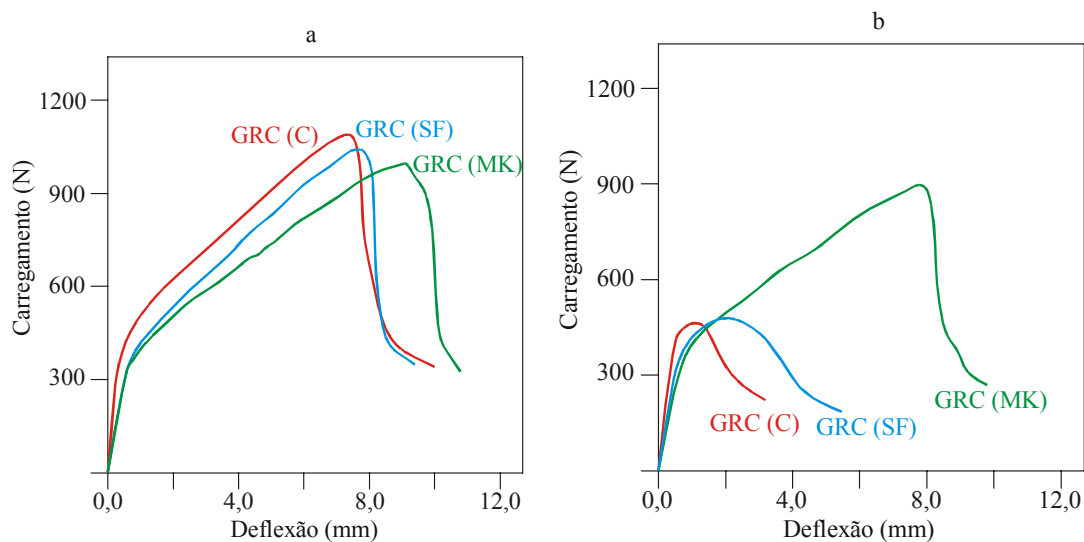


Gráfico 2.1 – Comportamento à flexão determinado por Marikunte S. et al.: (a) cura normal 28 dias; (b) envelhecido com 84 dias imerso em água quente 50°C.

<sup>9</sup> Ductibilidade é a “capacidade do material de se deformar sob a ação das cargas”. (PFEIL, W. E PFEIL, M., 1995). Painéis em GRC mais dúcteis podem sofrer deformações plásticas ocasionadas por elevadas cargas, redistribuindo os esforços atuantes

Os autores concluíram que a adição de sílica ativa não eleva as propriedades da matriz ao longo do tempo. Por outro lado, o GRC com metacaulim praticamente mantém as propriedades mecânicas iniciais da matriz, por reduzir o ataque alcalino às fibras.

## 2.7 CARACTERIZAÇÃO DOS PAINÉIS EM GRC

O GRC pode ser moldado com formas variadas através de equipamentos de mistura e projeção, dispositivos adequados. Os painéis em GRC podem ser do tipo casca, nervurado, sanduíche ou *stud frame*. Os painéis do tipo casca são planos, de pequenas dimensões, utilizados, por exemplo, em fechamentos de canto. Quando estes painéis são de grandes dimensões, são inseridas nervuras de reforço, a fim de garantir a estabilidade estrutural do elemento construtivo. Os painéis do tipo sanduíche são produzidos com duas camadas de GRC, com um núcleo isolante entre as camadas. Os painéis com uma estrutura metálica de reforço, chamado de *stud frame*, são constituídos de uma camada de GRC com aproximadamente (12 – 15) mm de espessura, com um quadro de aço engastado na face oposta à face de acabamento. A figura 2.7 mostra os tipos de painéis aplicados em edifícios.

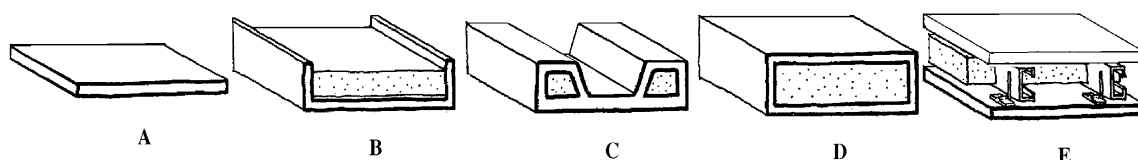


Figura 2.7 - Tipos de painéis em GRC. (a) painel casca; (b) painel casca com isolamento. (c) painel casca com nervuras de reforço; (d) painel sanduíche e (e) painel tipo *stud frame* (CIRIA, 1992)

Os painéis do tipo *stud frame*, são mais empregados no mercado norte-americano, pois a fibra de vidro é importada da Europa ou da Ásia e o aço é largamente utilizado na construção civil daquele país. De forma semelhante, no Brasil, a fibra de vidro é importada e o aço é produzido em larga escala. Deste modo, o painel com estrutura metálica é mais econômico de ser produzido, devido à economia obtida pela eliminação da segunda camada em GRC.

### 2.7.1 Tipos de moldes

O molde é um tipo de forma, que pode ser diferenciado por algumas razões. Os moldes diferem-se das formas por algumas razões: os moldes são utilizados na indústria e as formas são utilizadas em obra. Os moldes muitas vezes não precisam ser desmontados, dependendo da geometria do produto a ser fabricado.

Os moldes são definidores do bom desempenho compositivo do componente. O índice de repetição de um dado molde é caracterizado pelo tipo de material empregado. PCI (1994), comenta que os moldes devem reproduzir as dimensões dos painéis e as tolerâncias de fabricação estabelecidas em projeto, e que o uso repetitivo destes não deve provocar tolerâncias maiores que as estabelecidas no projeto. Também não devem gerar problemas de empenamento e de abaulamento, de modo a não causar depressões ou medidas que excedam as tolerâncias máximas admissíveis de fabricação.

Os moldes fixos devem ter seus cantos arredondados ou chanfrados com um raio mínimo de 3mm e as abas devem ficar a 5 graus da vertical, de modo a facilitar a desmoldagem e aumentar sua vida útil, (PCI, 1991). A declividade das laterais fixas dos moldes para prover a desmoldagem, conduz a um aumento da largura nominal da junta, conforme mostrado nas figuras 2.8 e 2.9. O mesmo painel fabricado com laterais removíveis com ângulo de  $90^\circ$  possibilita a redução da junta nominal. As tolerâncias de fabricação e ajustes dos moldes podem ser a metade das tolerâncias dos painéis e serem fabricados, ou um máximo de 3mm, (PCI, 1991).

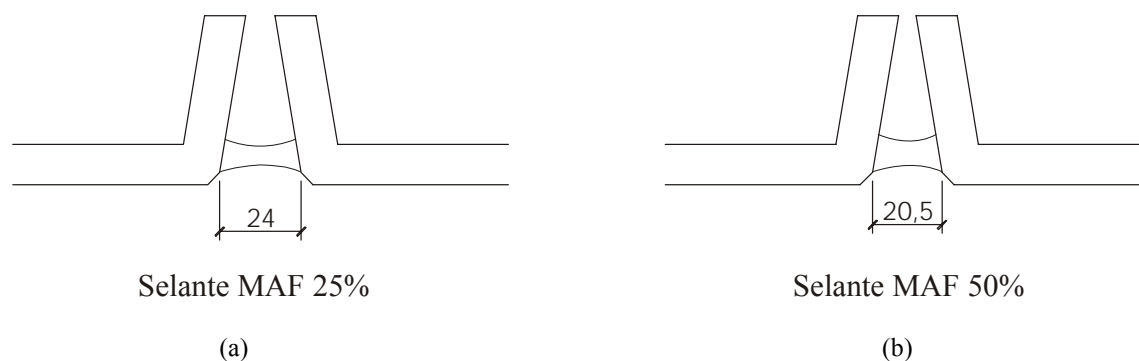


Figura 2.8 – Diferença entre as larguras de juntas para painéis com ângulo de  $80^\circ$  em (a) selante com capacidade elástica 25% e (b) selante com MAF = 50%.

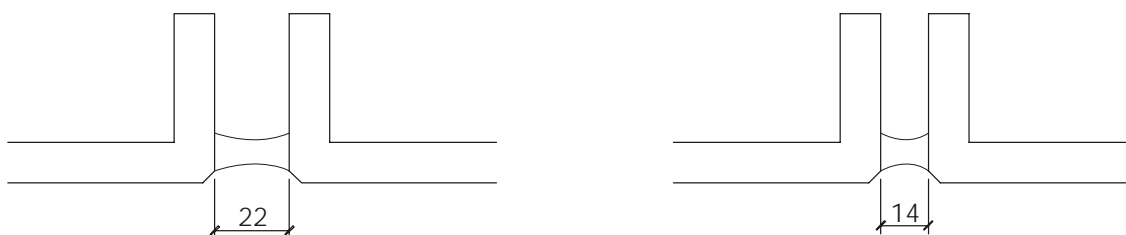


Figura 2.9 – Diferença entre as larguras de juntas para painéis com ângulo de 90° em (a) selante com capacidade elástica 25% e (b) selante com MAF = 50%.

Na fabricação dos painéis pelo método de projeção direta, a pistola deve alcançar todas as áreas do molde. Em áreas onde isto não for possível, a colocação do GRC deve ser realizada manualmente; a compactação e a espessura do componente tem que estar no mesmo padrão do GRC projetado. A operação manual pode consumir um maior tempo para sua realização, portanto, o molde deve ser desenhado para possibilitar o mínimo possível deste trabalho manual. Os moldes devem possibilitar o posicionamento e fixação dos insertes e também permitir a suspensão do bastidor metálico, quando o painel for com estrutura metálica de reforço, do tipo *stud frame*.

Existe uma enorme variedade de materiais utilizados na confecção dos moldes, sendo que os mais utilizados são o aço, a madeira, a resina de poliéster reforçado com fibra de vidro e o próprio GRC. PCI (1991) apresenta alguns fatores que devem ser observados na escolha do material do molde mais adequado para a fabricação de um determinado painel, que são relacionados a seguir:

- Quantidade de painéis idênticos para um projeto;
- Número de painéis por molde;
- Formato, tamanho e acabamento dos painéis em GRC;
- Método de consolidação (rigidez do molde);
- Custo;
- Manutenção do molde;
- Método de cura;
- Desmoldagem;
- Facilidade de fabricação.

Os moldes executados em madeira devem receber uma camada de produto selador de modo a prevenir a absorção de umidade. Estes materiais possibilitam poucas utilizações e devem ser examinados a cada desmoldagem. Os moldes em concreto e em GRC apresentam grande rigidez, estabilidade dimensional, elevada repetitividade e podem ser produzidos em vários formatos. PCI (1991), recomenda que estes moldes possuam polímeros plastificantes na sua composição, para que fiquem mais fluidos, distribuindo-se uniformemente ao longo do molde de base e que sejam compactados de modo a não proporcionar o aparecimento de fissuras na face do molde. Os moldes em resina de poliéster reforçado com fibra de vidro são utilizados em painéis com geometrias complexas e possuem alta reutilização, como os utilizados nos 14 novos torreões para a reforma e ampliação da Catedral da Sé, de São Paulo, figura 2.10.



(a)



(b)

Figura 2.10 –Moldes e contra-moldes produzidos em fibra de vidro para os painéis das torres da catedral da Sé, São Paulo (BARTH et al, 2003a)

Os moldes metálicos permitem um excelente acabamento superficial e grande capacidade de repetição dos painéis, podendo alcançar até 500 utilizações, sendo particularmente adequado para obterem-se componentes com superfícies planas. Os perfis laterais podem ser articulados ou parafusados nas mesas.

Os moldes em GRC podem ser dos tipos sanduíche ou *stud frame*. Os moldes do tipo sanduíche são executados sobre superfícies planas. Os moldes do tipo *stud frame* são enrijecidos com bastidores metálicos, pois são fabricados em espessuras muito finas, em comparação com os correspondentes moldes em concreto

## 2.7.2 Equipamentos

Os equipamentos mais utilizados na fabricação do GRC são os misturadores e as pistolas de projeção. Existe uma grande variedade de fabricantes e equipamentos disponíveis no mercado.

Na pistola de projeção, o corte das fibras de vidro é feito dentro de um tambor em tamanhos uniformes, que posteriormente serão projetados no molde por ar comprimido, conforme mostra a figura 2.11. Os fatores que influenciam na produtividade da máquina são a quantidade de argamassa a ser projetada, em Kg/min e o diâmetro da pistola. A unidade de projeção de argamassa recebe-a do misturador e a projeta por um fluxo fino com um ângulo cônico a fim de se realizar uma homogeneidade com a fibra de vidro.



(a)



(b)

Figura 2.11 – (a) Equipamento de projeção concêntrico e (b) projeção do GRC sobre o molde  
(<http://www.power-sprays.co.uk/>. Acessado em 6 de Fevereiro de 2006; BARTH, 2003)

## 2.7.3 Métodos de projeção

Os materiais básicos constituintes do compósito GRC são a fibra de vidro, cimento, areia e água, sendo que os métodos de aplicação mais empregados são o de pré-mistura e o de projeção direta, (TRUE, 1986; MAJUMDAR and LAWS, 1991). Aceleradores ou retardadores de pega, plastificantes e pigmentos são freqüentemente utilizados. Majumdar and Laws (1991), afirmam que as bobinas (rovings) de fibra de vidro possuem cerca de 40 feixes, sendo que cada feixe tem

aproximadamente 200 filamentos. Cada filamento possui diâmetro com cerca de 10-20 $\mu\text{m}$ <sup>10</sup>, ou seja, 0,01-0,02mm. Esses dois métodos de fabricação foram utilizados na produção dos painéis dos estudos de caso.

#### 2.7.3.1 Pré-mistura (*Premix*)

O método de aplicação por pré-mistura é caracterizado primeiramente pela mistura dos materiais que compõem a pasta de argamassa. A fibra de vidro AR é adicionada posteriormente no misturador. Nas formulações das proporções das misturas a relação água/cimento deve ser preferencialmente inferior a 0,35. A trabalhabilidade da matriz é conseguida por meio de polímeros plastificantes. Majumdar e Laws (1991), comentam que a fibra de vidro misturada à matriz de argamassa sem polímero desloca a água do interior da pasta para a superfície desta, ocorrendo a segregação e a perda de água. A adição de polímeros às fibras antes do contato com a matriz gera uma lubrificação dos feixes, possibilitando uma melhor distribuição das fibras na pasta e ajudando na retenção de água. O conteúdo de fibras adicionado é de aproximadamente 4% da massa total da matriz, com seu comprimento variando de 12-25mm<sup>11</sup>. A matriz cimentícia posteriormente é aplicada ao molde para a conformação do componente. True (1986), destaca que este método somente deve ser utilizado para componentes que não exijam desempenho elevado e estabelece as etapas para a obtenção da matriz cimentícia:

1 – a medida de água é colocada no misturador, juntamente com o plastificante;

2 – o cimento é colocado no misturador e misturado por dois minutos;

3 – a areia é adicionada e misturada por um minuto;

4 – as fibras de vidro são adicionadas aos poucos e rapidamente, a fim de evitar torrões. A matriz cimentícia deve ser agitada o suficiente para que a pasta torne-se homogênea com as fibras, sem que haja muitos danos às fibras, pois os

---

<sup>10</sup> 1 $\mu\text{m}$  (micron) equivale a milésima parte de um milímetro, ou seja, 0,001 milímetro

<sup>11</sup> Este comprimento é para as fibras de vidro AR que são comercializadas já cortadas nestas dimensões.



feixes das mesmas poderão romper-se em filamentos individuais diminuindo as características mecânicas do compósito.

A figura 2.12 mostra a seguir o fluxograma que ilustra de maneira geral, as seqüências de trabalho para a obtenção de componentes em GRC pelo método de pré-mistura.

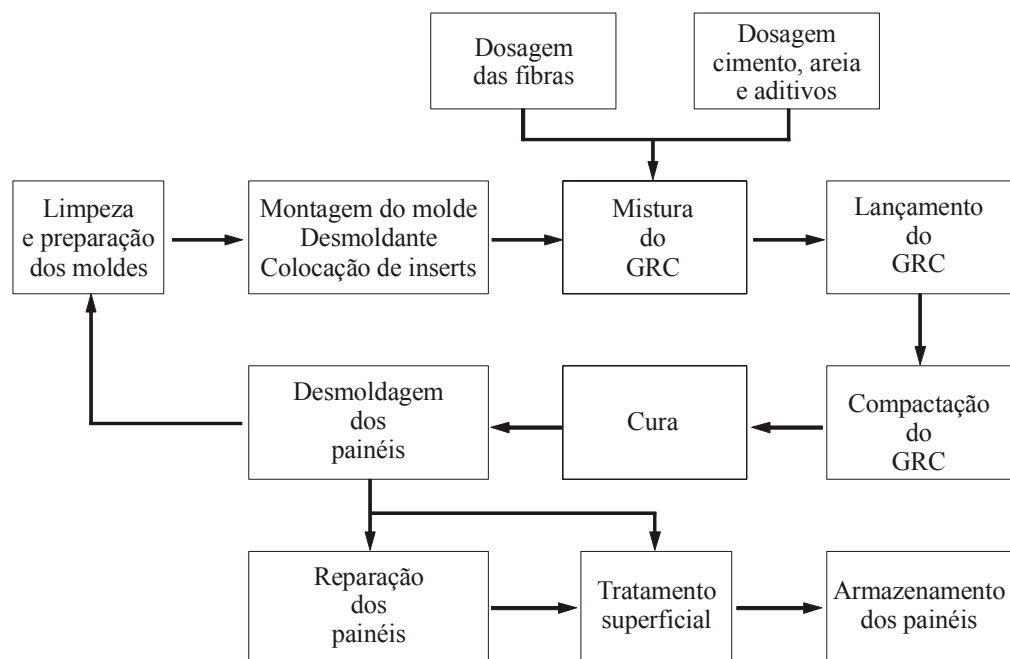


Figura 2.12 – fluxograma de fabricação dos painéis em GRC pelo processo pré-mistura (BARTH, 1997)

### 2.7.3.2 Projeção direta (*Spray-up*)

Processo pelo qual a fibra de vidro e a pasta de cimento são mantidas separadas. As duas partes somente entram em contato no molde. A aplicação é feita por um projetor de cabeça concêntrica onde, no centro da boquilha, sai a fibra de vidro e nas bordas é projetada a argamassa.

True (1986) afirma que na preparação da pasta de cimento e areia, dois fatores devem ter consideração especial: a água e o plastificante. A água adicionada à mistura deve ser suficiente para gerar trabalhabilidade à matriz, porém se aplicada em excesso pode causar a diminuição das propriedades mecânicas, retração excessiva com possíveis fissuras, podendo provocar muita variação dimensional.

Neste método manual, o operador move a pistola de um lado para outro em faixas retas, direcionando o fluxo perpendicularmente ao molde, (MAJUMDAR e LAWS, 1991). A primeira parte a ser projetada no molde é uma camada de revestimento (*mist coat*) com 1mm de espessura, sem fibra de vidro, de modo que a pasta penetre nos detalhes do molde, (TRUE, 1986; CEM-FIL,1996). Em seguida ocorre a aplicação das camadas em GRC já com as fibras de vidro. Estes autores recomendam que estas camadas sejam com espessura de 3mm, cada uma, compactadas com rolos metálicos para evitar vazios no compósito. Majumdar e Laws (1991) comentam que a compactação do GRC com rolos metálicos também é importante para o total preenchimento do molde, envolver as fibras na matriz e para aumentar a densidade do compósito. Cem-Fil (1996) recomenda que cada camada deve ser projetada em direção perpendicular à anterior, assim como, a faixa projetada deve sobrepor a anterior em 50%. A camada inferior do GRC não deve endurecer antes da aplicação da próxima, para evitar a delaminação do componente. A superfície pode ser alisada ou decorada. Imediatamente após a fabricação, os painéis em GRC são cobertos com lona de polietileno, sendo desmoldados entre 16-24h depois.

Neste método a projeção por camadas e a orientação das fibras no plano dos moldes fazem com que os produtos adquiram grande resistência mecânica com pequenas espessuras. Isto faz com que este método seja particularmente recomendado para os painéis de fachada, pois possibilita uma otimização na relação custo/benefício.

Neste método pode-se adotar os seguintes procedimentos para a obtenção do compósito:

- A medida de água é colocada no misturador, juntamente com o plastificante;
- O cimento ARI (alta resistência inicial) é colocado no misturador;
- A areia é adicionada e misturada até a homogeneidade da mistura, com determinação sistemática da consistência da matriz;
- A matriz cimentícia é colocada e peneirada na unidade de bombeamento;

- O corte da fibra é regulado no tambor de projeção, conforme o comprimento desejado;
- Projeta-se uma amostra para a medição do teor de fibra da mistura
- Na projeção o operador move a pistola de um lado para outro em faixas retas, direcionando o fluxo perpendicularmente ao molde;
- A projeção da argamassa e das fibras é realizada em camadas de 3 a 4 mm até atingir a espessura desejada;
- Após a projeção de cada uma das camadas, o compósito é compactado manualmente com rolo metálico com ranhuras para reduzir o ar que se encontra entre as fibras e a argamassa. A camada superior deve ser projetada perpendicularmente à anterior e a camada inferior do GRC não deve endurecer antes da aplicação da próxima, para evitar a delaminação do componente;
- Após a fabricação os painéis em GRC são cobertos com lonas impermeáveis, podendo ser desmoldadas entre 12-24h.

O fluxograma de fabricação dos painéis através do método de projeção possibilita a sistematização das operações, onde são definidos a inspeção e dosagem dos insumos, as seqüências de mistura, projeção e compactação das camadas e dispositivos de controle para a preparação e recuperação de moldes, tratamentos superficiais e eventual reparação dos painéis, conforme mostra a figura 2.13.

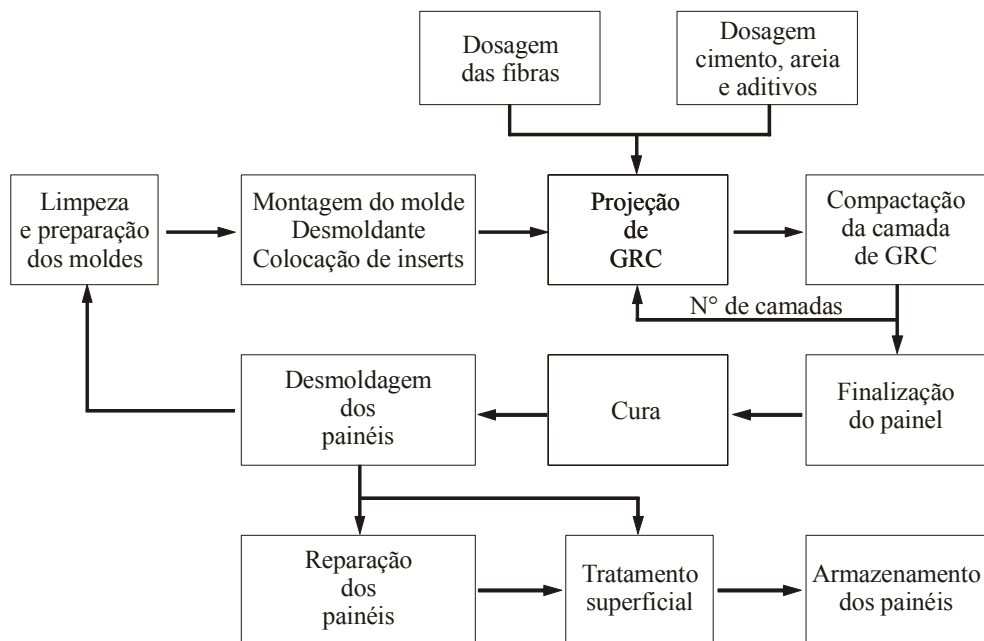


Figura 2.13 – Fluxograma de fabricação dos painéis em GRC pelo processo de projeção (BARTH, 1997)

O GRC possui outros métodos de fabricação com *spray*, como projeção mecanizada, projeção robotizada (DRAGADOS,1990), dentre outros tipos, figura 2.14.

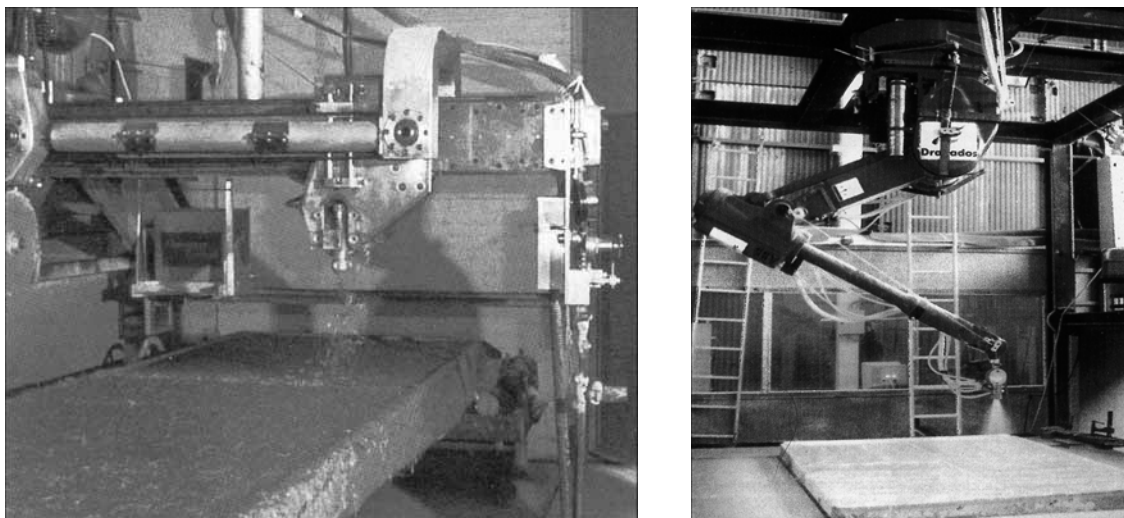


Figura 2.14 - Projeção automatizada de GRC no BRE (1985) e na Caracola - Dragados.(1990)

Os métodos mecanizados podem alcançar até três vezes a capacidade da projeção manual, porém custam muito caro, são difíceis de se operar e alcançam rendimento máximo em geometrias muito simples.

#### 2.7.4 Cura

O processo de cura é exigido para que a mistura atinja as características mecânicas discriminadas em projeto quando endurecida. Os componentes produzidos em GRC são normalmente muito finos e que apesar da baixa relação água/cimento, apresentam grande quantidade de cimento e de água. A casca em GRC deve ser coberta após a concretagem por uma lona de polietileno, para que não aconteça a rápida evaporação da água, retendo o máximo possível da mesma, (CEM-FIL, 1997). Caso contrário, a hidratação do cimento não poderá ser completa, podendo assim ocasionar a perda das propriedades mecânicas desejadas. Para os produtos em GRC existem dois tipos de cura: cura úmida e cura ao ar. True (1986) destaca que a hidratação começa imediatamente após a adição de água ao cimento e que a hidratação mais significativa ocorre entre 2 – 5h depois do início da mistura.

A cura úmida começa imediatamente após a fabricação. Esta é realizada para garantir que o painel tenha resistência suficiente para que não sofra danos na desmoldagem. O período de cura depende do produto, do processo de fabricação e das proporções dos materiais utilizados na matriz, porém segundo Cem-Fil (1997), para um regime prático de cura o painel desmoldado é curado por mais sete dias em uma câmara úmida, com temperatura variando de 15 – 20 °C e umidade relativa de 95%.

A cura ao ar deve ser feita cuidadosamente e somente com a ajuda de polímeros que impeçam a saída de água da matriz. O polímero forma uma película em volta do compósito possibilitando assim a retenção de umidade, utilizada para a hidratação do cimento.

## 2.7.5 Acabamentos superficiais

Os produtos em GRC podem receber diferentes acabamentos superficiais. Muitos destes tratamentos superficiais utilizados foram criados anteriormente no revestimento de painéis de concreto. Estes acabamentos podem ser incorporados na fase de fabricação dos painéis ou realizadas depois dos produtos desmoldados.

### 2.7.5.1 Matriz pigmentada

Os pigmentos inorgânicos naturais e artificiais são utilizados freqüentemente para se produzir diversas colorações nas camadas superficiais dos painéis. Os pigmentos naturais são extraídos de jazidas minerais, calcinados a altas temperaturas e passam posteriormente por sucessivas peneiras, a fim de gerar grãos com tamanho entre (5 a 7)mm para o controle de sua coloração, (LUZARDO, 1991). Em seguida estes são triturados para reduzir ainda mais o tamanho, ficando entre (10 a 50) microns. Os pigmentos naturais mais utilizados são os óxidos férricos e ferrosos, que possibilitam as cores preta, vermelha e amarela, e os óxidos de cromo, que produzem a cor verde. Os pigmentos inorgânicos artificiais são obtidos através de um processo químico que utiliza ar comprimido como catalisador para produzir uma pasta destes minérios. O peneiramento é similar aos pigmentos naturais. No entanto, o tamanho de suas partículas é da ordem de 1 micron. Devido ao menor tamanho das partículas, os pigmentos inorgânicos artificiais possibilitam maior homogeneidade na mistura com os materiais formadores da matriz cimentícia, favorecendo a uniformidade na coloração do painel.

Diferentes porcentagens de pigmentos adicionados sobre o peso de cimento podem variar consideravelmente a intensidade da coloração de um painel para outro. Porcentagens menores que 1% podem provocar alta variação de coloração. Quando utilizadas porcentagens entre 2 a 5%, esta variação é menor, possibilitando um controle mais fácil, (PCI, 1991). Acima de 5%, não existe um

aumento significativo da intensidade de cor. A relação água/cimento deve ser uniforme para todas as misturas, de modo a não provocar variações na coloração dos painéis. Estudos realizados por Luzardo (1991), revelam que os pigmentos vermelhos, amarelos, azuis e verdes alcançam a sua saturação entre 5 a 7% da massa de cimento e que o pigmento preto satura com somente 3%. Com relação à resistência mecânica, o autor relata que adições de até 7% de pigmentos sobre a massa de cimento não prejudicam as propriedades mecânicas da matriz cimentícia.

#### 2.7.5.2 Superfícies texturizadas

Os moldes texturizados simulam características superficiais de outros tipos de revestimentos, tais como: pedra natural, blocos de concreto, madeira e alvenarias de tijolos aparentes, conforme mostra a figura 2.15. Os moldes podem ser confeccionados com poliéster reforçado com fibra de vidro, borrachas naturais, sintéticas e silicones que reproduzem as texturas e detalhes superficiais que são incorporados nos painéis.

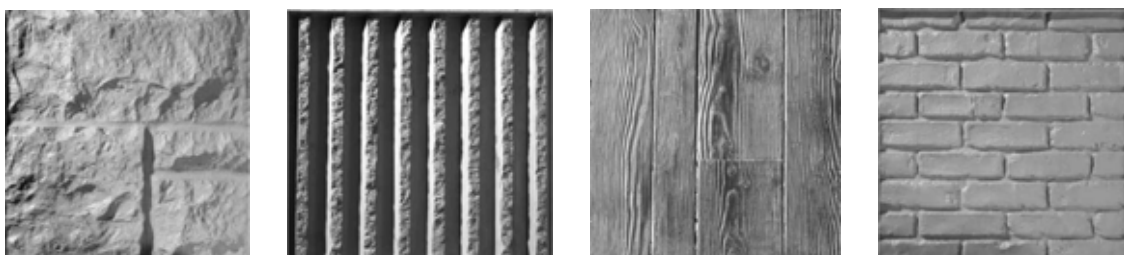


Figura 2.15 –Texturas obtidas nos moldes: pedra, bloco split, madeira e tijolo (form liners)

Fonte: [www.scottsystem.com](http://www.scottsystem.com). - Acessado em 15 de Fevereiro de 2006.

Outra forma de se obter texturas nos painéis em GRC é a utilização de tecidos sintéticos, com diferentes texturas, que são aderidos no fundo do molde, como mostrado na figura 2.16. Este tipo de acabamento superficial é indicado quando o índice de repetição dos painéis não é tão elevado, em função do desgaste que a matriz cimentícia provoca nos tecidos.

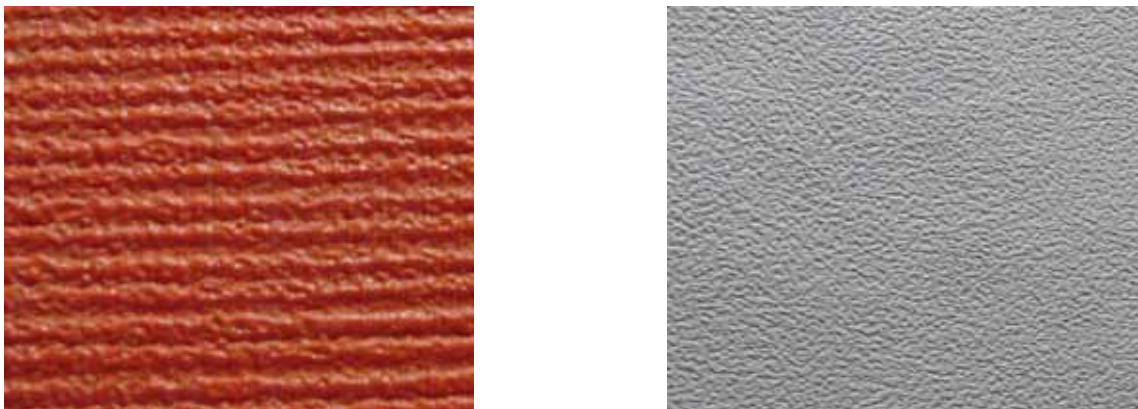


Figura 2.16 – Tecidos plastificados para revestimento de fundo de moldes

### 2.7.5.3 Exposição de agregados

A exposição dos agregados possibilita obter texturas e cores com a retirada da matriz cimentícia que está no entorno dos agregados, expondo os mesmos. Estas texturas podem ser geradas de diferentes maneiras e graus de exposição dos agregados, conforme visto na figura 2.17. Estas podem ser:

- Exposição leve - onde somente a nata formada por cimento e areia fina é retirada, deixando uma pequena parte das superfícies dos agregados aparentes. A cor da areia influencia muito na aparência geral do painel;
- Exposição média - obtida através da remoção parcial da matriz cimentícia, deixando os agregados expostos parcialmente;
- Exposição profunda - onde é retirada grande parte da matriz cimentícia deixando expostas as arestas dos agregados. Nesta modalidade, os agregados são facilmente visualizados, podendo criar efeitos de cores e sombreamento.

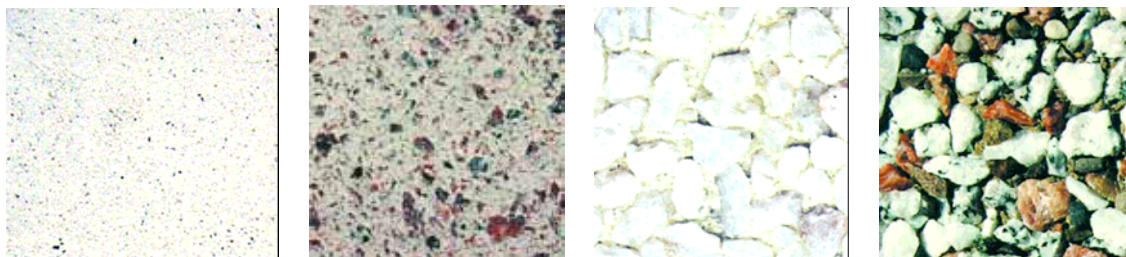


Figura 2.17 – Texturas com agregados especiais

Fonte: [www.cpci.ca](http://www.cpci.ca). - Acessado em 15 de Fevereiro de 2006



Os acabamentos superficiais que produzem maior uniformidade são os projetados pela pistola, no método de projeção direta. O tamanho máximo que pode ser projetado juntamente com a matriz cimentícia é de 5mm, (PCI, 1991). As laterais dos painéis também podem receber este acabamento, desde que a matriz cimentícia tenha um traço que impeça o escorregamento da mesma nas laterais do molde.

O método de projeção é o mais indicado para acabamentos lisos, texturas por meio de tecidos, moldes texturizados e para componentes incorporados na fabricação do painel, pois a aplicação do GRC pela pistola de projeção favorece a homogeneidade da mistura e a uniformidade dos acabamentos. O método de pré-mistura, por sua vez, é o mais comum para expor os agregados por ataque ácido, (PCI, 1991). Cuidados devem ser tomados durante a manipulação com substâncias ácidas, para que estes atinjam somente os agregados. As exposições dos agregados podem ser conseguidas por meio de retardadores de pega, ataque ácido, com jatos de areia ou água.

Retardadores de pega – são compostos químicos aplicados no molde, de modo a atrasar o endurecimento do compósito da camada de acabamento superficial. A exposição dos agregados pode ser feita pelo tipo de substância química do retardador, pela variação das camadas aplicadas no molde e pelo volume de cimento da matriz, (PCI, 1991). Mais camadas deste produto químico possibilitam maior penetração no painel, assim como menor quantidade de cimento no volume da mistura. Os retardadores podem ser aplicados com rolos, pincéis ou por aspersão. Devem estar secos antes da aplicação da camada de acabamento superficial. A remoção de parte da camada em que o retardador atuou deve ser realizada o mais rápido possível, logo que o painel for desmoldado, através de jato de água pressurizada.

Jatos de areia – trata-se de uma maneira menos agressiva de expor os agregados, que os ácidos, porém o jateamento com areia pode causar danos nos cantos dos painéis e causar mudança de tonalidade dos agregados, devido à

abrasão ocorrida entre a areia e o painel. Painéis com grandes dimensões, planos e com superfícies lisas devem receber um cuidado maior no jateamento, para garantir uma retirada uniforme dos agregados. A matriz cimentícia da camada superficial deve ser preferencialmente removida nas primeiras 72h depois de projetada, pois à medida que a matriz passa pelo período de cura aumenta sua resistência e a extração desta do painel torna-se mais difícil. A aplicação deve ser realizada perpendicularmente à superfície do painel, com um distanciamento de (0,6 a 1,2)m deste. (PCI, 1991). Recomenda, ainda, que a distância para a aplicação deve levar em conta a pressão do jato e a resistência da matriz.

Ataque ácido – a superfície do painel que recebe o ácido deve ser saturada previamente com água, para limitar a penetração do mesmo, pois a solução ácida tende a penetrar rapidamente e com maior profundidade no GRC seco. Quando molhado, a água preenche os vazios do compósito e impede a penetração excessiva do ácido no painel, (PCI, 1991). Também não se deve expor demoradamente a camada superficial do painel à ação da solução ácida, pois existe a formação de um gel, que é produto da reação química entre o ácido e o cimento, que se desenvolve aproximadamente 30 minutos após o contato entre estes dois. Se após os 30 minutos o gel permanecer na camada superficial pode ser muito difícil retirá-lo. Depois da aplicação da solução ácida, o painel é lavado com jato de água sob pressão. Deve-se, também, proteger os insertes e o bastidor metálico do ataque ácido. A solução ácida deve ser aplicada somente 3 a 4 dias depois do compósito ser projetado, quando a resistência mecânica à compressão do GRC for de no mínimo 28Mpa, (PCI, 1991). Com a preocupação ambiental, as obtenções de texturas com as soluções ácidas vêm sendo aplicadas cada vez menos, pois requerem grandes investimentos para a diluição do ácido para níveis que não comprometam o ambiente.

#### 2.7.5.4 Revestimentos aderidos

Acabamentos superficiais com plaquetas cerâmicas podem ser incorporados nos painéis através de gabaritos com encaixe fixados no fundo do molde, conforme mostrado nas figuras 2.18(a) e (b). No entanto, estes e outros materiais, como granitos, mármore e placas cerâmicas, aderidos ao GRC podem gerar tensões na zona de interface destes com o compósito, devido às variações dimensionais ocorridas na retração do GRC e das variações de temperatura, umidade e de diferentes materiais. Uma opção para a absorção destas movimentações é a colocação de uma barreira não-aderente, como por exemplo, uma lamina de polietileno ou uma camada de poliestireno expandido, conjuntamente com uma ancoragem mecânica entre o material e o GRC.

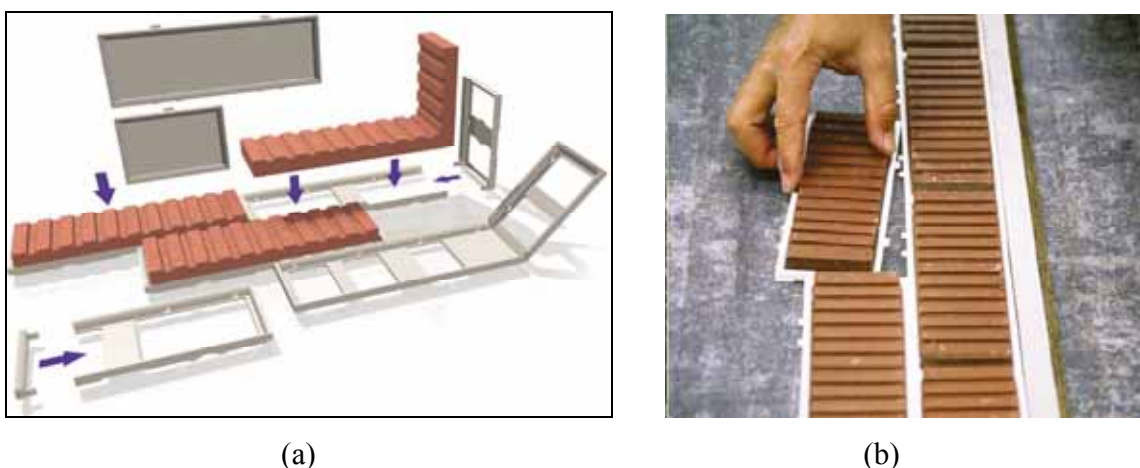


Figura 2.18 – (a) Componentes plásticos utilizados como gabarito e (b) colocação de plaquetas cerâmicas no fundo do molde (SCOTT SYSTEM INC, 2005)

Outra possibilidade é dispor de uma camada de argamassa colante, capaz de aderir o suficiente para permitir a desmoldagem e para absorver as movimentações ocorridas pela retração irreversível do GRC. Na cura da camada de GRC ocorre perda significativa de água, com conseqüente redução das dimensões da placa. Isto ao ocorre na camada externa do revestimento cerâmico, fazendo com que seja necessária uma camada de transição com argamassa com polímeros que provocam retardamento do seu endurecimento e desta forma absorver as deformações diferenciadas entre a camada de GRC e a das plaquetas cerâmicas

### 2.7.6 Controle de qualidade

Um programa de controle de qualidade é fundamental na indústria do GRC, pois os produtos fabricados são muito finos, com medidas e juntas cotadas em milímetros, onde pequenas variações podem comprometer a montagem dos painéis e o desempenho das fachadas. Um produto fabricado em GRC passa por alguns controles de qualidade, tanto no processo de fabricação, quanto do produto acabado. Alguns testes são feitos para assegurar a qualidade das matérias-primas e do produto GRC, entre eles estão:

- Verificação do teor de fibras na matriz cimentícia no estado fresco;
- Verificação da espessura da camada estrutural de GRC;
- Arrancamento das ancoragens flexíveis;
- Ensaio à flexão do GRC no estado endurecido.

No Brasil existem normas que têm como um dos objetivos estabelecer diretrizes e ensaios para o controle de qualidade dos produtos em GRC. A norma NBR 15305 (2005), dispõe de procedimentos para o controle da fabricação destes produtos, que se iniciam no controle do recebimento das matérias-primas. Cada insumo deve ser estocado isoladamente, em local protegido e utilizados por ordem de recebimento. Os ensaios estabelecidos por este projeto de norma são para os produtos fabricados pelos métodos de pré-mistura e por projeção direta, além de apresentar ensaios para os painéis no seu estado endurecido.

O anexo A desta norma relaciona as diretrizes para o estabelecimento de garantia de qualidade dos produtos em GRC, que começam com os requisitos e critérios de projeto, os critérios de aceitação dos insumos, fornecendo características relevantes dos produtos, bem como as inspeções e ensaios realizados durante a fase de fabricação. Os ensaios dos produtos no estado fresco e no estado endurecido devem ser registrados e guardados, assim como os registros dos insumos, dos métodos de fabricação e do armazenamento. Ações corretivas de qualquer natureza devem ser tomadas o mais rápido possível e também devem ser documentadas. O fabricante deve assegurar que seus

operários sejam bem treinados e que exista um sistema de gerenciamento capaz de garantir a exigüidade da fabricação dos painéis em GRC.

Dentre os ensaios exigidos para os produtos em GRC no estado fresco, o ensaio de consistência da matriz estabelecido na NBR 15306 – parte 1 - (2005), o chamado *slum test*, é empregado para se verificar o abatimento da pasta, medida na horizontal em círculos concêntricos. Segundo Cem-FIL (1996), o abatimento constante do GRC proporcionará uma projeção constante e tornará a compactação mais eficiente. Destaca também que este teste muitas vezes não é adequado à formulações com polímeros, por geram aumento da trabalhabilidade da mistura e como consequência um maior abatimento.

Os ensaios para a determinação do teor de fibra da mistura no estado fresco ou da mistura projetada são importantes para que a resistência do GRC e a consistência da matriz sejam homogêneas ao longo de toda a produção dos painéis. A norma NBR 15306 – partes 2 e 3 - não determina qual é a porcentagem mínima de fibras para os produtos em GRC. De outra parte, Cem-FIL (1996), deixa claro que o teor mínimo de fibras na matriz de GRC deve ser de no mínimo 5% sobre a massa do cimento utilizada para a fabricação de produtos pelo método de projeção direta. Informa também que para a calibração ideal da pistola de projeção deve ser de 12Kg/min para a argamassa e de 670g/min para as fibras de vidro AR. O ensaio proposto pela NBR 15306 - parte 2 é demorado, de difícil execução e necessita de equipamentos como forno e peneiras, conforme visto na figura 2.19. O ensaio proposto pela parte 3 é mais simples e mais rápido de ser realizado, exigindo somente dois baldes e uma balança.

O controle de qualidade dos produtos no estado endurecido é realizado por ensaios simplificado e/ou completo de flexão, estabelecidos nas partes 4 e 5 desta mesma norma para se saber se os painéis terão resistência suficiente para atender às cargas solicitadas, conforme ilustrado na figura 2.20. A diferença entre estes ensaios está somente na precisão de alguns equipamentos e nos resultados, pois pela parte 4 calcula-se a tensão de ruptura e pela parte 5 calculam-se as deformações e tensões no limite de proporcionalidade e na ruptura.

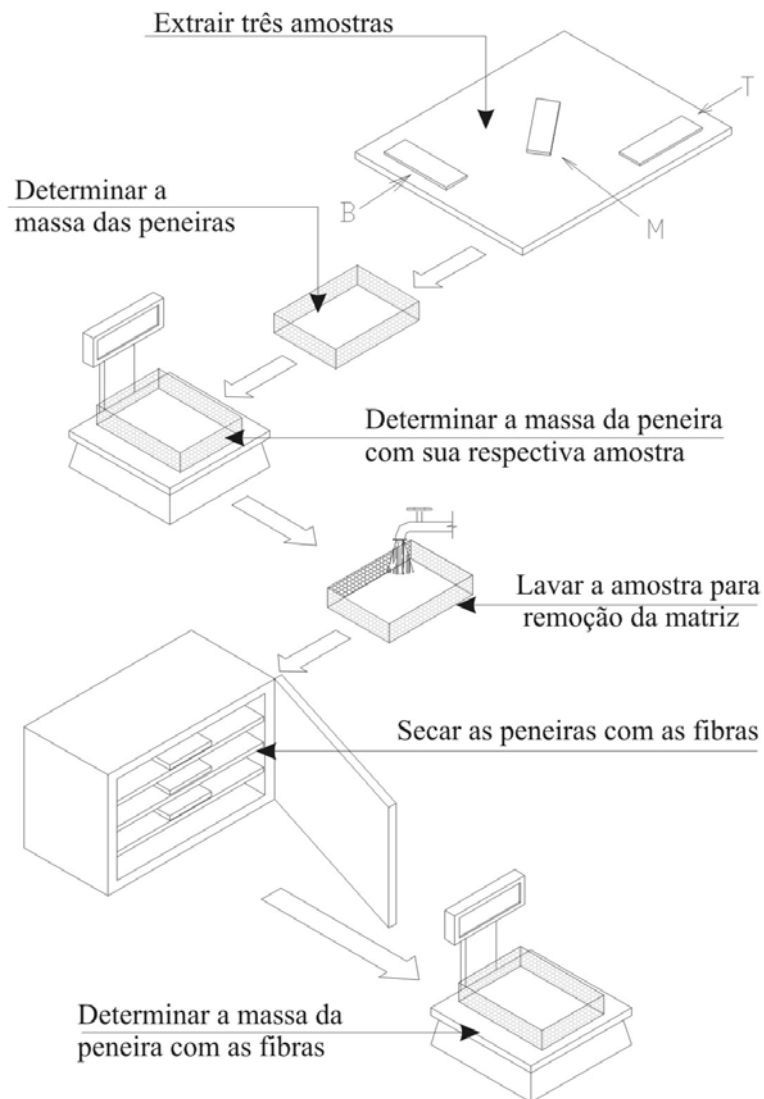


Figura 2.19 – Procedimento de ensaio para a determinação do teor de fibras, (NBR-15306, parte 2)

A parte 6 desta norma estabelece um método de ensaio para determinar a absorção de água e a massa unitária seca para as formulações em GRC. Serve para determinar a massa, em  $\text{Kg/m}^3$  e a porcentagem de absorção de água do compósito GRC.

A parte 7 estabelece um método de ensaio para determinar as variações dimensionais máximas, ou seja, retração por secagem e expansão reversível do GRC devido às variações do teor de água de acordo com a exposição ambiental.

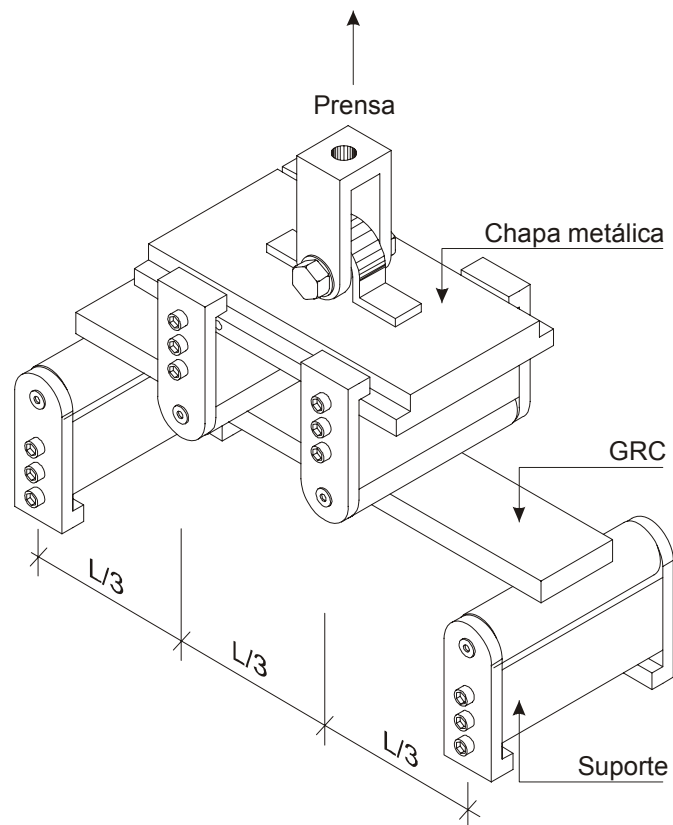


Figura 2.20 – Dispositivo de ensaio acoplado a uma prensa para a determinação da resistência à flexão do compósito GRC.

Todos estes procedimentos e ensaios possibilitam aumentar o controle de qualidade dos produtos fabricados em GRC, garantindo a rastreabilidade das matérias-primas, métodos de produção e do controle de qualidade realizado através dos ensaios normativos.

# 3. PROJETO E PRODUÇÃO DE FACHADAS EM GRC

Este capítulo apresenta aspectos de projeto, fabricação e montagem dos painéis pré-fabricados em GRC, que compreendem a paginação, as coordenações dimensional e modular, as juntas e fixações, assim como os métodos de fabricação empregados nos estudos de caso.

## 3.1 DIRETRIZES BÁSICAS PARA O PROJETO DE FACHADAS EM GRC

O projeto de fachadas pré-fabricadas possibilita a racionalização dos tipos de painéis, juntas, fixações e na composição das fachadas arquitetônicas, através da padronização das aberturas, uniformidade no tratamento das volumetrias das fachadas, tratamentos superficiais como ranhuras, texturas, cores e tonalidades dos painéis.

### 3.1.1 Paginação

A paginação é uma modalidade de projeto que busca a componentização das elevações do projeto de obra de arquitetura, de modo a compatibilizar a sua produção através da fabricação dos elementos de fachada. A paginação possibilita a produção das fachadas em famílias e tipos de painéis. As famílias são constituídas por painéis que possuem a mesma forma geométrica, ainda que apresentem variações dimensionais ou no posicionamento das fixações. Os tipos são constituídos por painéis possíveis de serem fabricados em um mesmo molde.

Nessa etapa de projeto também são definidos os tipos de fixações, o transporte e a forma de montagem dos painéis de fachada. A padronização das



fixações deve buscar o aumento da produtividade na fabricação dos painéis e facilitar a montagem. As condições de transporte costumam definir as dimensões máximas dos painéis. Nos transportes rodoviários as dimensões da carreta e o caminho a ser percorrido restringem o tamanho dos painéis e devem ser levados em consideração, pois passarelas e fios localizados em postes que cruzam as estradas podem dificultar a movimentação. O tipo de estrutura e o tipo de painel costumam definir os equipamentos utilizados para a montagem, onde o projetista pode adequar as operações às condicionantes do terreno e da obra, de modo a obter o melhor desempenho do sistema.

### 3.1.2 Coordenação dimensional

Os produtos industrializados necessitam de uma ferramenta de desenho e de produção para que haja uma sistematização de fabricação na indústria e de montagem dos painéis na obra. A industrialização da construção de um edifício, segundo ROSSO (1976), está composta por duas fases: a primeira é chamada de fase abstrata, ou seja, é o projeto de obra de arquitetura que qualifica e organiza os ambientes e suas funções, segundo as exigências humanas. A segunda fase é a concreta, isto é, a construção física do edifício. Esta última é realizada por meio da racionalização do projeto, que tira partido da coordenação dimensional. Rosso comenta que “A coordenação dimensional não deve ser entendida como mero instrumento geométrico, mas também físico e econômico. Não está vinculada apenas à composição arquitetônica, mas também à tecnologia e à produção”. Isto porque a coordenação dimensional, não só “dimensiona” os espaços, de modo a garantir a perfeita realização de tarefas nestes ambientes, mas também possibilita a correta fabricação do produto, a integração, intercambiabilidade e correlação com outros sistemas construtivos.

A normalização permite que exista uma redução da variedade de produtos disponíveis no mercado, a fim de reduzir os custos de fabricação, aumentar a produtividade e possibilitar a intercambiabilidade de produtos. A quantificação dos espaços livres<sup>12</sup> e preenchidos<sup>13</sup> pode ser expressa em módulos. Rosso (1976),

---

<sup>12</sup> São caracterizados pelos ambientes internos e externos

apresenta três tipos de módulos: o módulo-função, o módulo-forma e módulo objeto. O módulo-função é o espaço básico para a realização de uma atividade. O módulo-forma é o dimensionamento da envolvente, ou seja, o espaço mínimo que uma vedação deve possuir para desempenhar satisfatoriamente todas as funções que são previstas a ela. O módulo-objeto é caracterizado como “unidade que deve ter caráter de univocidade e repetitividade decorrente das exigências de produção”, ou seja, é um módulo que satisfaça os dois módulos anteriores. É um módulo espacial, ao contrário dos demais que são bidimensionais. Neste caso, a coordenação dimensional passa a ser uma coordenação modular.

O sistema de painéis pré-fabricados de fachada possibilita a repetição de módulos, desde que o projeto esteja adequado para este fim. No entanto, os painéis em GRC não necessitam de uma modulação fixa, sendo esta determinada para cada projeto. Os painéis e elementos em GRC podem ser produzidos em diferentes formatos, seguindo diferentes modulações em um mesmo edifício, inclusive com medidas não-modulares, que possibilitam os ajustes dimensionais necessários.

### 3.1.3 Coordenação modular

A coordenação modular é uma ferramenta projetual que adota uma unidade de medida para racionalizar o projeto e padronizar os elementos da construção, facilitando a fabricação, a montagem dos componentes. O módulo básico adotado internacionalmente é de 10cm. Alguns fatores foram determinantes nesta escolha, como ser praticamente o mesmo valor de 4” utilizado em alguns países. Em 1950 o Brasil já dispunha de uma norma sobre coordenação modular, a NB-25, que adotava o módulo básico de 1 decímetro.

Pode-se perceber que certas modulações são preferidas por diferentes sistemas construtivos, como por exemplo, no caso de perfis de aço que são fornecidos em barras com 6m de comprimento. Submúltiplos e múltiplos deste módulo conferem o melhor aproveitamento de um determinado perfil, influenciando no custo global do painel. Os painéis em GRC obrigatoriamente devem estar inscritos

---

<sup>13</sup> São caracterizados pelas vedações internas e/ou externas

em um espaço geral de coordenação<sup>14</sup>, que define o módulo-objeto, respeitando suas medidas modulares, conforme ilustra a figura 3.1(a). Isto faz com que componentes fabricados por diferentes indústrias sejam unidos dentro deste espaço.

O espaço modular possui algumas dimensões que auxiliam na produção dos painéis de fachada, conforme mostrado na figura 3.1(b). A dimensão de projeto é denominada dimensão nominal. A dimensão mínima do painel é a dimensão de projeto (nominal), menos a tolerância de fabricação, ou seja, é a menor dimensão real que o painel deve ter. Da mesma forma, a dimensão máxima é a maior medida admissível do painel. A coordenação modular também possibilita aumento de produtividade e redução dos custos na construção

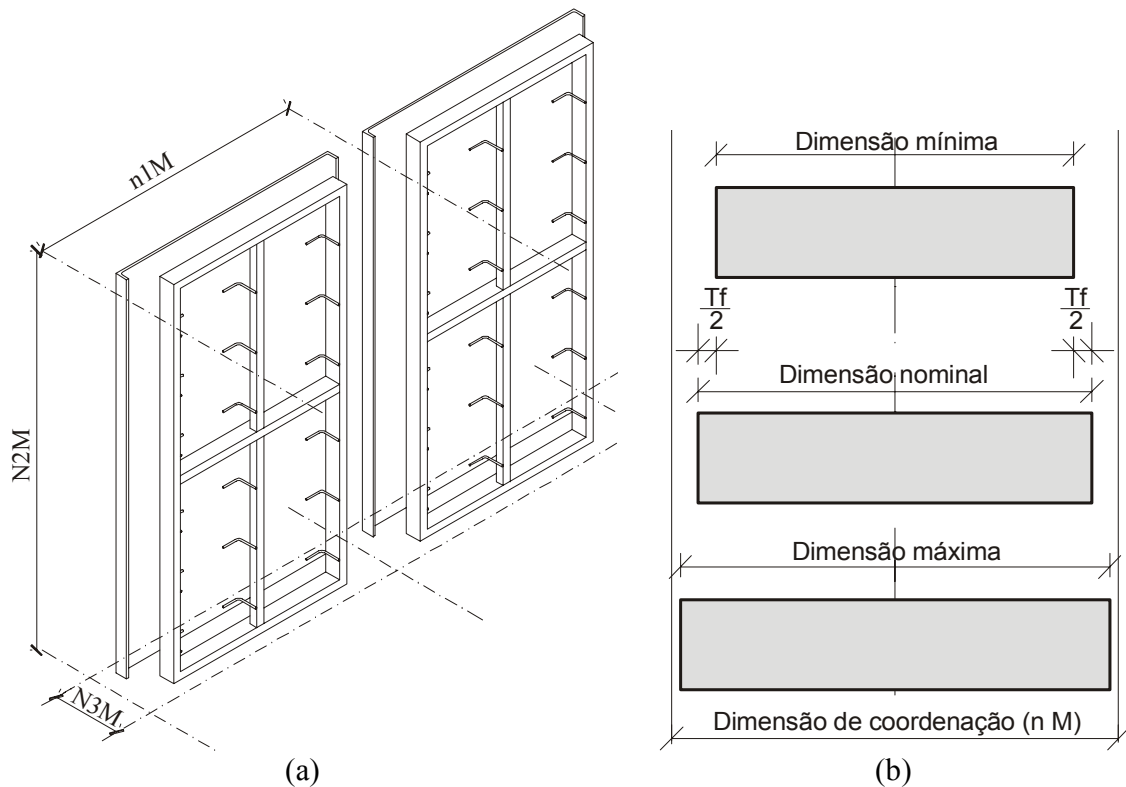


Figura 3.1 – (a) Espaço geral de coordenação e (b) medidas das tolerâncias na coordenação modular.  
Adaptado de Rosso (1976) (a) e Ordóñez, 1974, p 160 (b).

<sup>14</sup> Espaço geral de coordenação é o “espaço que circunscreve o componente e inclui o campo necessário para absorver as tolerâncias e os ajustes”. (ROSSO, 1976, p 30).

As tolerâncias de fabricação e montagem dos componentes devem estar em conformidade com a norma NBR 9062 (2001), para adequarem-se à medida modular, a fim de evitar adaptações e cortes de material. As tolerâncias de fabricação são apresentadas no item 3.3.

#### 3.1.4 CONFORMAÇÃO DE JUNTA

As juntas nas fachadas pré-fabricadas são parte integrante do sistema construtivo, exigindo especial atenção no seu dimensionamento e no desempenho dos materiais utilizados. Elas costumam ser o ponto crítico nas fachadas, por estarem expostas às intempéries e submetidas a um grande número de solicitações. As juntas empregadas nas vedações de uma edificação possuem várias funções: na composição arquitetônica, na limitação das dimensões máximas dos painéis, no controle das tolerâncias de fabricação e montagem e nas variações dimensionais devido à variações de temperatura e umidade. Quando as juntas são seladas, elas também são responsáveis por garantir a estanqueidade à ação de chuva e vento e pelo isolamento acústico das vedações. As fachadas pré-fabricadas podem ter as juntas abertas ou fechadas, de acordo com os tipos de painéis e a função que desempenham.

##### 3.1.4.1 Juntas abertas

As juntas abertas são freqüentemente utilizadas em fachadas cortinas ou em painéis externos (figura 3.2), onde a estanqueidade, o isolamento termo-acústico e a resistência ao fogo não são exigidos, como é o caso de: sacadas, marquises, etc.

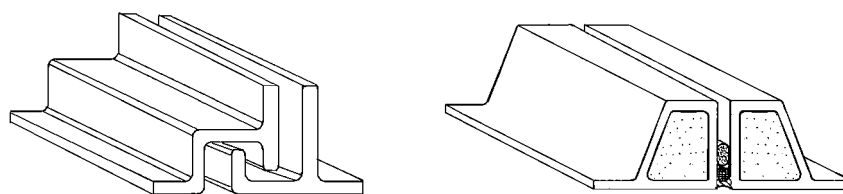


Figura 3.2 – Junta aberta e junta selada (BARTH, 1997)

Siqueira Júnior (2003, p.83) define junta aberta, como sendo: “espaços normalmente deixados abertos que separam duas placas [...] com o objetivo de

promover o alívio das tensões oriundas das movimentações intrínsecas e extrínsecas ao conjunto, caracterizando um ‘ revestimento ventilado’”. Os painéis em GRC com juntas abertas são pouco freqüentes em fachadas arquitetônicas, pois exigem uma vedação interna que garanta a sua estanqueidade. Neste caso, a câmara de ar ventilada localizada entre os painéis e a vedação interna pode ser pouco ventilada ou muito ventilada, conforme a largura da junta.

#### 3.1.4.2 Juntas seladas

Esse tipo de junta é utilizado na grande maioria das fachadas executadas com painéis pré-fabricados, podendo ser realizadas em uma só etapa ou em dois estágios. As juntas simples geralmente são mais utilizadas por questões econômicas e de construtividade. As juntas podem apresentar dois estágios de selamento, um na face externa e um na face interna. O selamento com dois estágios apresenta dupla barreira contra a penetração da água da chuva, porém segundo Barth (1997), esta técnica duplica os custos de material selante, além de dificultar a inspeção e manutenção do selante na face interna, pois em geral, estes painéis costumam receber uma camada de revestimento interno.

As juntas com selantes podem ser planas, côncavas ou reentrantes no espaço localizado entre os painéis. As juntas planas e côncavas, quando alinhadas com a superfície externa dos painéis são de fácil execução, porém costumam ser facilmente identificadas nas fachadas. As juntas reentrantes podem ser obtidas pelo posicionamento do material selante na parte mais interna da junta ou pela sua colocação em ranhuras ou reentrâncias dos painéis, conforme a figura 3.3. As juntas reentrantes minimizam o impacto visual e protegem melhor o material selante na fachada. Quando aplicadas nos baixos relevos dos painéis, minimizam a percepção de eventuais falhas de montagem, pois as ranhuras passam a ter destaque na composição das fachadas.

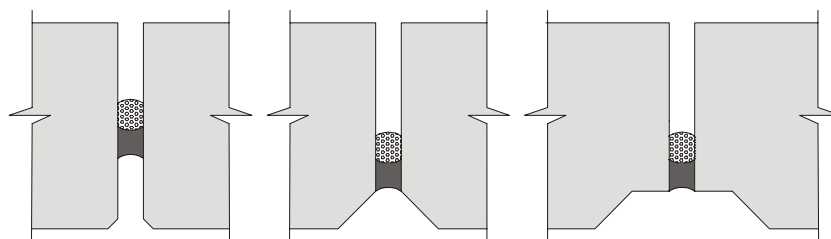


Figura 3.3 – Secções transversais de tipos de juntas reentrantes (BARTH, 1997)

### 3.1.5 Dimensionamento das juntas seladas

A durabilidade dos selantes pode ser menor que a das fachadas dos edifícios, devido aos constantes movimentos e degradações físicas e químicas ocorridas nos selantes, (WOOLMAN, 1994). As imprecisões na montagem dos painéis podem ocasionar juntas estreitas que, aliadas às movimentações das juntas, podem provocar altas tensões nos selantes. A norma ASTM C719 (1993), estabelece duas classes de movimentação elástica para as juntas seladas: 12,5% e 25%. Hoje em dia alguns selantes submetidos à tração chegam a ter 200% de elasticidade, segundo a norma ASTM C 1193. Os selantes destinados à aplicação em painéis de fachadas pré-fabricadas devem possuir elasticidade adequada aos movimentos exigidos pela envolvente e pelos materiais empregados na edificação. Barth (1997) determinou as movimentações por variação de temperatura e por umidade em painéis de fachadas em edifícios situados em Barcelona, indicando que no caso do GRC a expansão higroscópica é tão elevada quanto a expansão térmica.

A profundidade do selante é fundamental para a economia de material e para o perfeito funcionamento da junta. A profundidade ideal do selante depende das características dos movimentos a que esta junta está submetida e da capacidade elástica do material selante.

Woolman (1994), apresenta diferentes profundidades dependendo do tipo de selante utilizado. Os selantes plásticos apresentam melhor desempenho quando a profundidade é ao menos igual à largura da junta. Os elásticos trabalham melhor em seções esbeltas, enquanto que os elasto-plásticos obtêm melhores resultados em profundidades com a metade da largura da junta. A figura

3.4 apresenta as profundidades das juntas para vedações e movimentações estruturais nos pilares.

De outra parte, a norma ASTM C 1193 (2005) afirma que a largura mínima de uma junta não deve ser inferior a 6mm, pois sua instalação é muito difícil de ser realizada e não deve superar a 50mm, pois pode ocorrer o escorrimento do material selante na junta antes de sua cura total. A profundidade do selante também não deve ser menor que 6mm, porém para juntas em substratos porosos, como os painéis pré-fabricados com matriz cimentícia algumas relações devem ser respeitadas. Esta norma indica que a espessura da junta deve ser igual à largura em juntas onde a largura estiver entre 6 – 13mm. Juntas com largura entre 13 – 25mm, a espessura da junta deve ser igual à metade da largura e juntas acima deste valor não devem ter espessura maior que 13mm.

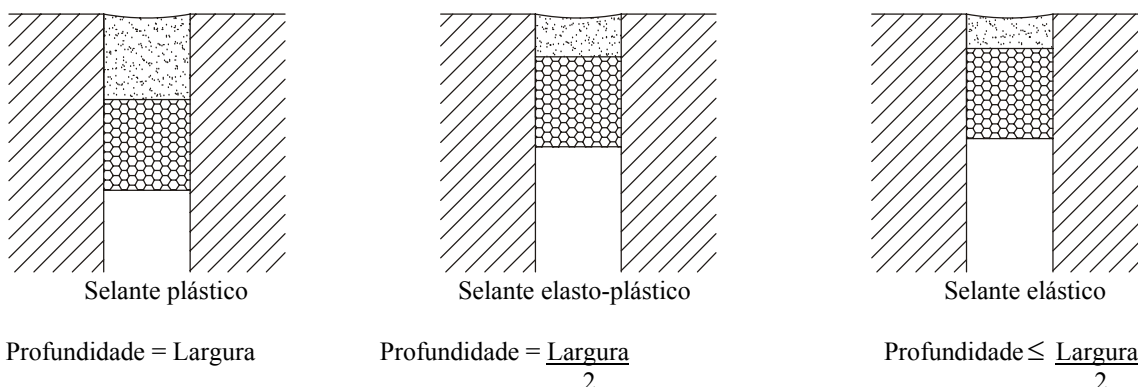


Figura 3.4 – profundidades das juntas dos diferentes tipos de selantes (WOOLMAN, 1994).

A profundidade da junta é regulada por meio de um perfil de polietileno de poros fechados colocado sob pressão na junta, de modo a controlar a profundidade de aplicação do selante. Para que o selante possa deformar-se em função dos movimentos dos painéis, é necessário que seja perfeitamente colado às duas superfícies opostas da junta, deixando livre as outras superfícies. Nas juntas submetidas a esforços cortantes, a profundidade do selante deve ser no mínimo igual a espessura da junta. O perfil regulador de profundidade de junta deve ser como mínimo 20% maior que a largura nominal da junta para garantir que acompanhe o movimento da junta. A junta côncava é a mais utilizada, pois

direciona a tensão das interfaces com os painéis para o centro do material selante, diminuindo o risco de falha por adesão. Segundo PCI (1994), o dimensionamento dos materiais selantes é executado através da fórmula a seguir:

$$J = \frac{(100 \Delta l)}{MAF} + Tm$$

onde:

J = largura mínima da junta, em milímetros

MAF = capacidade elástica de movimentação

$\Delta l$  = movimentação calculada do painel para as variações térmicas ou higroscópicas

Tm = tolerância de montagem

Como ilustração pode-se tomar por base um painel com comprimento  $l = 4,00\text{m}$  e com variação térmica de  $\Delta t$  de  $50^\circ\text{C}$ . Pelas dimensões do painel, PCI admite  $6\text{mm}$  como tolerância de montagem, porém, a norma NBR 9062 (2001) prevê tolerância de  $10\text{mm}$  para painéis menores que  $5\text{m}$ . Adotou-se o valor estabelecido por PCI, por ser possível esta maior precisão na montagem. O coeficiente térmico de expansão linear do GRC depende da matriz cimentícia, porém para este cálculo adotou-se o valor de  $c = 12 \times 10^{-6} \text{ mm/mm/}^\circ\text{C}$ . Assumindo um selante com  $MAF = \pm 25\%$  para o preenchimento da junta, tem-se que:

Determinação da expansão do painel por aumento de temperatura:

$$\Delta l = c \cdot l \cdot \Delta t \quad \Delta l = (12 \times 10^{-6} \text{ mm/mm/}^\circ\text{C}) \cdot 4000\text{mm} \cdot 50^\circ\text{C} \quad \Delta l = \mathbf{2,4\text{mm}}$$

$$J = \frac{(100 \cdot 2,4\text{mm})}{25} + 6\text{mm} = \mathbf{15,6\text{mm}}$$

Para o mesmo caso, calcular a espessura da junta com relação à expansão por umidade. Barth (1997) destaca que o valor da expansão por umidade do compósito GRC pode variar em função da matriz, mas admite valores entre  $0,6 - 1,0 \text{ mm/m}$ . Adotando-se o valor intermediário  $e = 0,8\text{mm/m}$ , tem-se que:

$$\Delta l = e \cdot l \quad \Delta l = 0,8\text{mm/m} \cdot 4\text{m} \quad \Delta l = \mathbf{3,2\text{mm}}$$



$$J = \frac{(100 \cdot 3,2\text{mm})}{25} + 6\text{mm} = \mathbf{18,8\text{mm}}$$

Deve-se levar em consideração neste cálculo que as juntas poderão ficar entre (13 e 25) mm, em função das tolerâncias de montagem. De acordo com PCI (1987), quando a junta é muito larga, recomenda-se o uso de selantes com MAF maior que 25%. Utilizando um selante com capacidade elástica MAF = 50% no mesmo exemplo, tem-se que:

$$J = \frac{(100 \cdot 3,2\text{mm})}{50} + 6\text{mm} = \mathbf{12,4\text{mm}}$$

Deste modo, pode-se reduzir a largura nominal da junta através do aumento da capacidade elástica do selante, ficando entre (7 e 19) mm.

### 3.1.6 Características dos selantes

Os selantes têm a propriedade de deformarem-se, e ajustarem-se ao espaço disponível entre os painéis. Os painéis tendem a diminuir de tamanho quando submetidos a baixas temperaturas e tendem a aumentar suas dimensões em altas temperaturas. Da mesma forma, os selantes também estão submetidos a estas ações, porém os mesmos são forçados a movimentos contrários às ações de expansão e contração pelos painéis aderidos a eles. Assim sendo, os selantes devem ser escolhidos pelas amplitudes e frequências dos movimentos a que estão sujeitos.

A durabilidade dos selantes pode variar segundo alguns fatores, tais como: exposição à radiação solar, aos raios ultravioleta, aos poluentes atmosféricos e ao envelhecimento do selante pelo calor. Larguras e/ou profundidades das juntas que excedam a capacidade elástica do selante, assim como instalação inadequada dos componentes da junta selada pode interferir no seu desempenho. A latitude e a orientação da fachada de um edifício também contribuem no desempenho. O selante exposto em regiões onde a incidência da radiação solar é maior tende a

ter menor durabilidade neste requisito que em regiões mais frias, devido às diferentes incidências da radiação solar.

A compatibilidade química dos selantes com os componentes pré-fabricados deve ser observada, a fim de evitar perda de adesão e mudança de cor. Os componentes podem conter poluentes que podem migrar para o selante e interferir na adesão deste com os painéis pré-fabricados. A mudança de coloração não significa perda de adesão inicial, porém pode ser um indicativo de futura perda de adesão. A mudança de cor pode ocorrer pela migração dos componentes formadores do selante para a sua superfície, que atraem as partículas atmosféricas, mudando a coloração do selante. Em ambientes onde existe grande concentração de poluentes, como industriais ou centros urbanos, os selantes podem mudar de cor mais rapidamente.

Algumas precauções devem ser tomadas na aplicação de selantes em ambientes com elevadas temperaturas. Tonalidades escuras nos painéis podem gerar temperaturas superficiais muito altas, ultrapassando a temperatura limite de alguns selantes. O tempo de cura dos selantes nestas condições ambientais é acelerado, resultando em um menor tempo de aplicação do material selante. As elevadas temperaturas podem criar vazios na interface do material selante com o limitador de junta, devido à evaporação da água e a liberação do gás contido no limitador de junta, se este puder absorver água ou gás.

Os selantes podem ser classificados como mono-componentes ou bi-componentes. Os mono-componentes são tipicamente fornecidos em tubos e aplicados com pistolas. Estes selantes possuem a desvantagem de ter um tempo de cura maior que os selantes classificados como bi-componentes, pois os mono-componentes necessitam da umidade relativa do ambiente para realizar a cura. O tempo maior de cura deste tipo de selante é devido à formulação do selante para suportar grandes períodos de armazenamento, pode variar conforme a estação do ano e a localização da edificação. A norma ASTM C 1193 (2005) recomenda que em regiões muito secas não se utilize este tipo de selante, pois haverá um tempo de cura mais prolongado. Os selantes bi-componentes apresentam tempo de cura mais acelerado, porém possuem as desvantagens de serem misturados por

equipamentos com baixa rotação, devendo-se manter a proporção da mistura e evitar a formação de bolhas de ar na mistura.

Os movimentos durante a fase de cura do selante devem ser levados em consideração para que não haja falha de adesão entre os painéis pré-fabricados e o selante. Segundo a norma ASTM C 1193, o risco de falha da junta selada ocorrerá se, durante o período de cura, o movimento desta superar os 35% do movimento (MAF) do selante curado. Isto quer dizer que para uma junta com 13mm de largura e um selante com MAF de  $\pm 25\%$ , seu movimento durante o período de cura não deve ultrapassar 1,5mm da sua capacidade elástica, que corresponde a 45% dos 3mm totais admissíveis. Os movimentos do selante durante a fase de cura são devidos predominantemente às variações térmicas, que são provocadas pela temperatura do ar e pela temperatura superficial dos painéis devido ao ganho de calor por radiação solar.

Quando a movimentação do painel for superior ao estabelecido pela norma, pode-se utilizar algumas alternativas para reduzir esta movimentação. Pode-se empregar um selante bi-componente, cuja cura é mais rápida que o selante mono-componente; aplicar o selante em fachadas sombreadas, em tempo nublado ou dias com temperatura mais amena.

Os selantes utilizados nas juntas entre painéis pré-fabricados devem possuir características compatíveis com as solicitações de serviço, podendo ser classificados em três tipos:

■ *Elásticos* – capacidade de deformar-se e recuperar o seu tamanho original. São os melhores para selar juntas que possuam movimentações rápidas cíclicas. De acordo com Woolman (1994), são os mais indicados para paredes-cortina (*curtain walling*) e sistemas de painéis leves de fachada. Poliuretanos ou silicones são os materiais mais empregados.

■ *Plásticos* – não possuem deformação reversível quando submetidos a um carregamento, ou seja, adquirem novo formato quando a força cessa. São mais indicados para juntas com pouca movimentação.

■ *Elasto-plásticos* – unem tanto as propriedades dos selantes plásticos com os elásticos, conseguindo certo movimento reversível quando submetidos a um tipo qualquer de carregamento. Os polissulfetos, alguns epóxis e silicones são empregados em juntas com movimentação lenta, podendo ser aplicados em juntas entre painéis pré-fabricados de concreto, juntas de revestimento pétreo e cerâmico.

Uma das variáveis que caracteriza o grau de rigidez do material selante é a dureza, podendo ser determinado através do teste de dureza Shore A. Este teste tem por objetivo medir a resistência à penetração ou riscamento do selante. Um aparelho mede esta resistência, cuja escala varia de 0 a 100. Alguns selantes podem atingir valores de dureza altos depois de alguns anos. Isto pode provocar fissuras ou rupturas no selante, pois sua capacidade elástica diminui. A norma ASTM C 920 indica que a dureza não deve ser menor que 15 e maior que 50, exceto em condições especiais determinadas pela norma ASTM C 661.

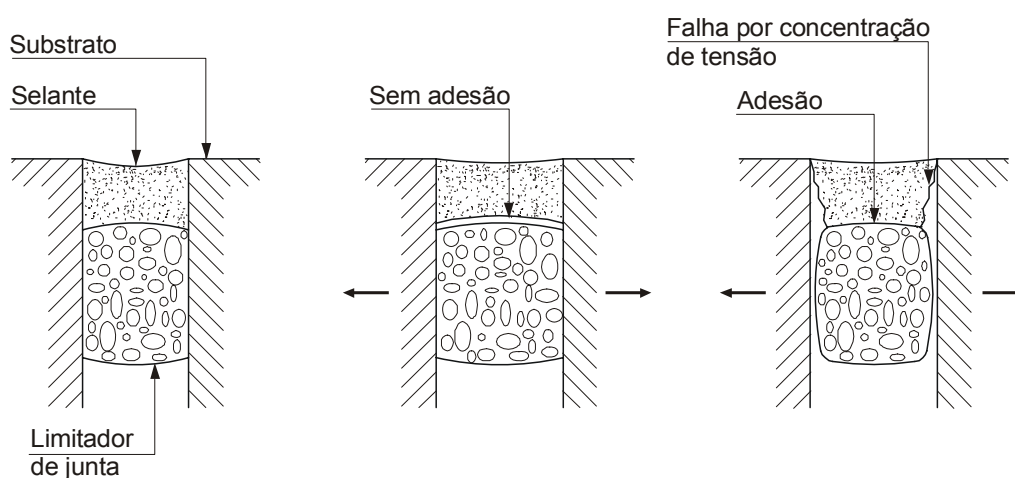
### 3.1.7 Execução de selamento de junta entre painéis

Após a montagem dos painéis pré-fabricados pode-se começar o selamento das juntas, cujo preenchimento deve seguir alguns procedimentos a fim de garantir o perfeito funcionamento do selante. Medeiros (1999), estabelece as seguintes etapas de execução:

- Limpeza dos cantos dos painéis;
- Proteção das bordas dos painéis nas fachadas;
- Aplicação da camada de base (*primer*), se houver necessidade;
- Colocação do material limitador de junta;
- Aplicação do material selante;
- Acabamento do selante;
- Retirada das proteções de borda dos painéis.

Antes de se realizar a colocação do selante nas juntas, deve-se fazer uma verificação das larguras entre os painéis, a fim de evitar juntas muito. Caso os valores sejam menores que a largura mínima estabelecida, pode-se realizar um reposicionamento dos painéis adjacentes ou até mesmo a substituição por outro com as medidas corrigidas. Outra alternativa é aumentar a capacidade elástica do selante. Com os painéis já instalados faz-se a limpeza das laterais dos mesmos, a fim de retirar partículas de poeira ou umidade contidos nos painéis. A proteção das bordas das faces frontais dos painéis faz-se necessária para que não ocorram manchamentos nos painéis em GRC. A norma ASTM C 510 (1997), define manchamento em uma edificação como sendo uma ocorrência estética indesejável. O manchamento é devido a exudação química dos selantes para os poros do substrato. Não se deve utilizar silicones com ácido acético, pois pode ocorrer manchas na interface entre o concreto e o silicone durante a cura.

Após a proteção dos painéis deve-se proceder à aplicação do primer. O *primer* é utilizado para aumentar a adesão entre o selante e o painel pré-fabricado, fechar os poros da superfície do substrato, fortalecer as áreas fracas e reduzir a pressão por capilaridade de umidade através das superfícies dos painéis. Cuidados devem ser tomados para que o *primer* seja aplicado somente nas faces laterais dos painéis e antes da colocação do limitador de junta. Se houver adesão à superfície do limitador, o selante poderá ficar aderido em três faces, o que pode gerar tensões no selante, provocando a ruptura do mesmo por falha de coesão ou de adesão, conforme mostra a figura 3.5.



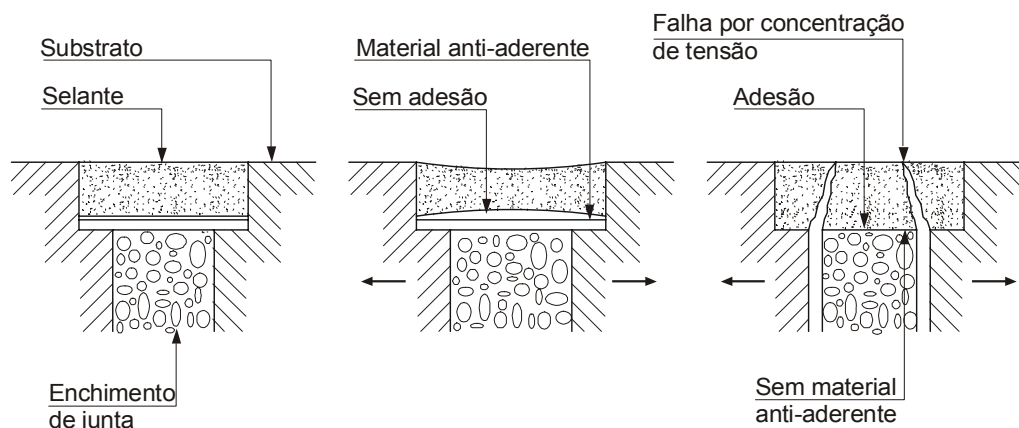


Figura 3.5 – Configurações de juntas seladas mostrando o efeito de adesão em três faces, adaptado de ASTM C 1193. 2005.

O *primer* deve ser aplicado nas superfícies que receberão o selante no mesmo dia e conforme instruções do fabricante. Caso as superfícies dos painéis recebam a base no dia anterior, estas deverão receber outra pintura de imprimação para a aplicação do selante. O *primer* deve ser transferido em poucas quantidades para utensílios menores, pois a vida útil do mesmo é curta. O material utilizado em um dia de trabalho não deve ser reutilizado, pois este pode ser contaminado pela umidade ou ter seus solventes evaporados. Depois da aplicação, deve-se evitar o contato da base com ferramentas ou mãos sujas, de modo a não prejudicar a adesão com o selante.

O passo seguinte é a inserção do limitador de junta, que pode ser uma espuma celular de polietileno, poliestireno ou outro material que seja de fácil compressão e que não sofra degradação por meio do calor ou da água. O poliestireno não é muito recomendável, pois não expande conjuntamente com o substrato, podendo deformar o selante. Além disso, solventes presentes em alguns selantes e *primers* atacam o poliestireno, (WOOLMAN, 1994). Para painéis pré-fabricados, o perfil de polietileno é usualmente preferido, pois este se adapta às expansões e contrações das juntas, protegendo o selante principalmente nas primeiras idades, ou seja, no período de cura, quando o selante está vulnerável e deforma-se facilmente.

Para juntas estreitas, recomenda-se cortar o bico do recipiente do selante na mesma dimensão da junta, conformando uma só camada. Para juntas muito

largas, Woolman (1994) comenta que se deve projetar o selante em camadas. Vazios internos devem ser evitados na aplicação das diversas camadas, para não provocar falha prematura na junta. A figura 3.6 ilustra a aplicação de camadas.

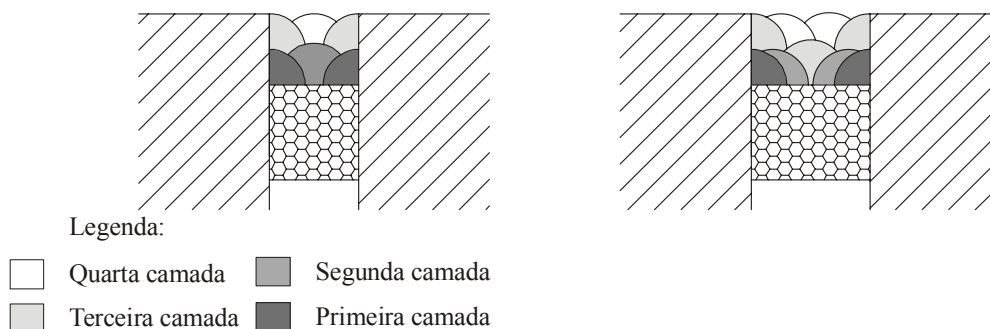


Figura 3.6 – visualização das camadas aplicadas em juntas largas (WOOLMAN, 1994).

O acabamento da junta serve para torna-la lisa, espalhar o selante pela junta, compactando-o e gerando a forma final côncava desejada. As ferramentas utilizadas para este serviço podem ser um pedaço de metal ou plástico. As ferramentas devem ser limpas periodicamente para que não haja o acúmulo de outros selantes, especialmente quando ocorre mudança de cor. Após gerar a forma final da junta, procede-se à retirada da fita adesiva das laterais dos painéis. Se a fita for retirada depois que a pele do selante se formou, ou se iniciou o período de cura, poderá gerar dano à junta selada.

Nos encontros das juntas verticais e horizontais, surgem esforços de cisalhamento que podem induzir uma fissuração do selante a 45° e em estágios avançados, a ruptura deste. Outra manifestação patológica que pode ocorrer é a migração de parte do material selante para o painel através de sucção capilar. Os materiais selantes, tanto a base de silicone ou poliuretano, podem apresentar solventes em sua constituição, de modo a conferir a moldabilidade no selamento e a elasticidade após o endurecimento. Se parte deste material solúvel apresentar uma ligação fraca com as moléculas do selante ele pode migrar através dos capilares próximos a junta, gerando manchas nos painéis e possíveis descolamentos.

### 3.1.8 Ensaio de adesão dos selantes

A determinação da adesão entre o selante e o painel pré-fabricado pode ser realizada através de ensaios em obra. A norma ASTM C 1193 (2005) contém alguns ensaios, dos quais dois são relatados a seguir:

■ *Ensaio de adesão nas juntas* – ensaio para detectar problemas de aplicação do selante ou dos componentes da junta na obra. Para este teste é preciso destruir uma pequena parte da junta selada. O teste deve ser realizado entre (7 – 21) dias de cura, dependendo das características do material selante. A norma recomenda que o ensaio seja realizado a cada 300m de junta selada.

Para o experimento deve-se fazer um corte horizontal na junta que compreenda toda a sua largura. Em seguida cortam-se as laterais da junta selada de cima para baixo, começando pelo corte horizontal, que estão em contato com os painéis, com altura de 75mm. Dispor o selante cortado nas laterais em ângulo de 90° com o selante do painel e puxar, conforme visto na figura 3.7. O selante bem aplicado deve rasgar ou resistir a um alongamento de 25mm, sem causar falha de adesão com o substrato, que neste caso são os painéis pré-fabricados.

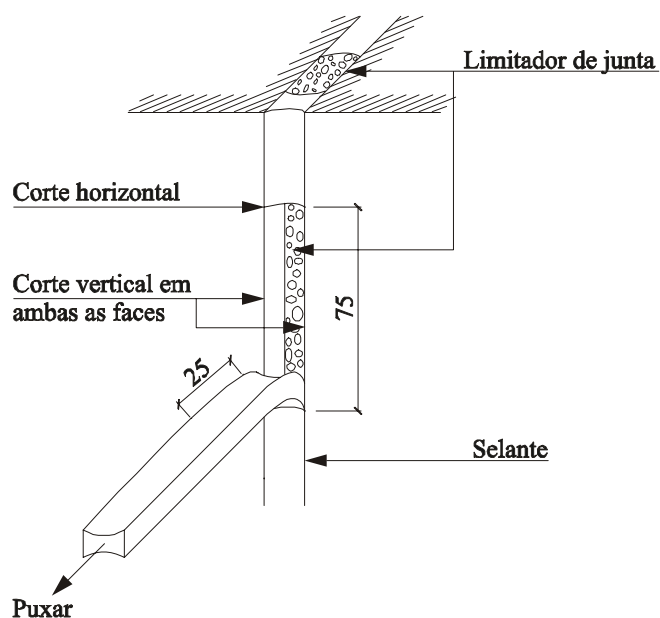


Figura 3.7 – Ensaio de adesão por extensão do selante na junta, adaptado de ASTM C 1193.



A área testada deve ser reparada com o mesmo tipo de selante, se ficar comprovado que o mesmo possui adesão suficiente com o substrato. Deve-se estar atento para que o selante original esteja isento de poeira e outros contaminantes e que haja a adesão com o selante novo.

■ *Ensaio de adesão em placa* – teste realizado quando as condições anteriores são difíceis ou impossíveis de serem ensaiadas. O teste consiste em instalar o selante em uma superfície plana exposta utilizada ou extraída do edifício. O selante deve ser o mesmo usado na edificação, assim como o *primer*. Deve-se limpar a peça plana e aplicar a base, se houver necessidade, seguindo as recomendações de projeto. Colocar sobre a peça uma folha de polietileno e em seguida projetar o selante sobre a peça. Aplicar o selante com comprimento de 200mm, largura de 25mm e espessura de 3mm. A parte em contato com a fita antiaderente deve ter no mínimo 50mm. Com uma ferramenta assegurar que o selante tenha adesão uniforme com o substrato. Após o tempo de cura, puxar o selante 25mm perpendicular ao plano da peça, a 25mm da fita antiaderente. Se o substrato for adequado, o selante sofrerá falha por coesão, ou se alongará, dependendo da capacidade elástica do selante, conforme ilustra a figura 3.8.

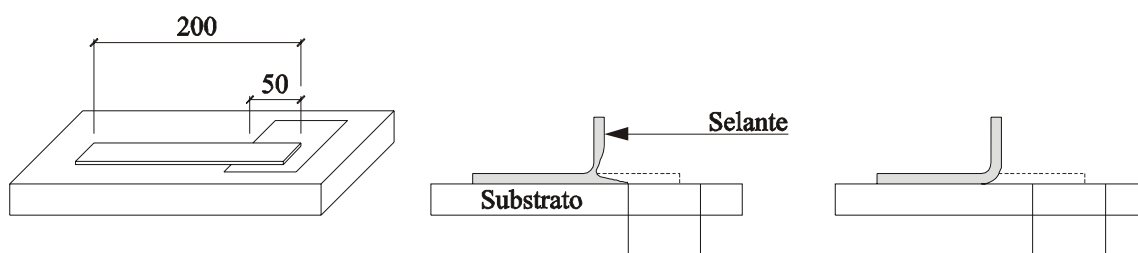


Figura 3.8 – Ensaio de adesão por extensão do selante na placa, adaptado de ASTM C 1193.

### 3.1.9 Fixações

Os painéis pré-fabricados em GRC exigem, na sua manipulação, transporte e montagem, ancoragens que possibilitem resistir aos esforços de modo a manter a sua integridade. Os componentes de ancoragens internas dos painéis são

denominados de insertes e aqueles que fazem a união dos painéis com a estrutura do edifício, são denominados de fixações.

Os dispositivos de fixação dos painéis em GRC são mais esbeltos que os componentes de fixações utilizados para os correspondentes painéis em concreto armado, devido à menor massa dos painéis em GRC. As fixações destes painéis podem variar de acordo com o tipo de painel: sanduíche, casca, nervurado ou com bastidor metálico. Os painéis podem apresentar ainda três tipos de insertes e fixações: as ancoragens para o içamento no desmolde, as ancoragens de manuseio e transporte, e as ancoragens de fixação dos painéis à estrutura do edifício.

■ *Ancoragens de desmolde* - é a situação mais crítica na vida dos painéis, pois costuma ser realizado poucas horas após a concretagem, quando a resistência da matriz cimentícia é relativamente reduzida, devido à necessidade de reutilizar os moldes para produção de novos painéis.

■ *As ancoragens de manuseio e transporte* - podem ser as mesmas utilizadas na extração do painel do molde. A distribuição das cargas durante o manuseio e transporte pode provocar aumento de tensões em função da geometria dos painéis e das ações dinâmicas. Estes sistemas devem apresentar facilidades de colocação e segurança durante as operações. A GRCA (1990), recomenda que a largura não ultrapasse quatro vezes a altura do painel, de modo a evitar a concentração de tensões nas zonas próximas às ancoragens, pois o mesmo pode apresentar flexão ou torção devido aos deslocamentos e rotações no seu manuseio.

■ *As ancoragens de fixação* - fazem a fixação dos painéis em GRC na estrutura do edifício e são função das características dos painéis, dos modelos de transmissão das cargas e do grau de movimentação necessário aos pontos de fixação. As deformações da estrutura do edifício podem provocar movimentos que ultrapassam as tolerâncias de montagem nas fixações e causar esforços

adicionais nos painéis de fachada devido à ação da sobrecarga e da fluência de lajes e vigas. Deve-se dimensionar as fixações de acordo com as cargas atuantes.

Os insertes nos painéis tipo sanduíche são incorporados na etapa de colocação do GRC, figura 3.9. Nos painéis *stud frame*, os insertes são adicionados após a colocação do GRC no molde. É recomendável que se use o mesmo tipo de material nos insertes e fixações, de modo a evitar pontes galvânicas, e a corrosão.

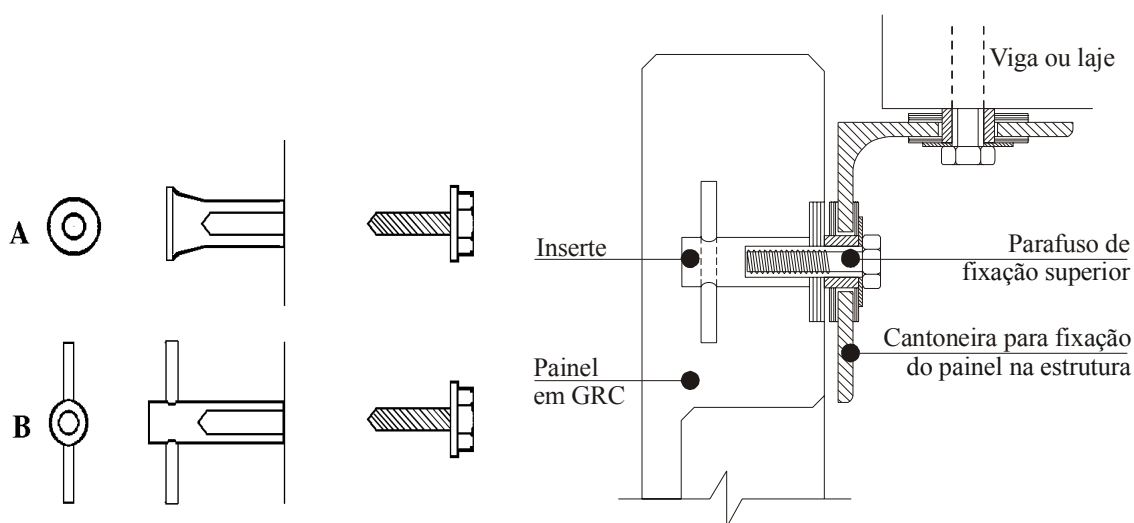


Figura 3.9 – Tipos de insertes colocados em painéis do tipo sanduíche e um exemplo de fixação de painéis em GRC à estrutura do edifício.(BARTH, 1997)

Os componentes de fixação dos painéis em GRC podem ser em aço galvanizado ou em aço inox, em função do nível de exposição e da durabilidade desejada. As ancoragens mais simples podem ser realizadas com insertes parafusáveis localizados nas nervuras ou pontos de reforço dos painéis. A fixação dos insertes na estrutura também pode ser feita com cantoneiras parafusadas na estrutura do edifício. Os movimentos horizontais e verticais do painel podem ser permitidos por meio de furos oblongos nos perfis de fixação.

### 3.2 PRODUÇÃO DAS FACHADAS COM PAINÉIS EM GRC

Como os três estudos de caso apresentam somente dois métodos de fabricação, realizar-se-á a descrição destes métodos neste capítulo, a fim de não repetir informações sobre os mesmos nos estudos de caso.

### 3.2.1 Fabricação de painel sanduíche com plaquetas cerâmicas no método de pré-mistura

O método de pré-mistura baseia-se na mistura de todos os materiais que farão parte da matriz cimentícia. Algumas particularidades deste processo serão aplicadas no processo de projeção direta. Os painéis sanduíche em GRC com plaquetas cerâmicas são produzidos de acordo com as seguintes etapas:

A – Escovação e limpeza dos moldes metálicos

B - Fixação das cantoneiras: dois lados fixos e dois lados reguláveis com imãs de fixação. Alguns detalhes para a fabricação dos painéis tipo sanduíche são apresentados na figura 3.10. O primeiro deles diz respeito à verificação das medidas do molde, visto na figura 3.10(A). A medida (Y) é a espessura do painel, que deve ser dimensionada conforme o projeto. A letra (X) representa a borda do molde, que segundo Cem-FIL (1996), deve possuir no mínimo 50 mm.

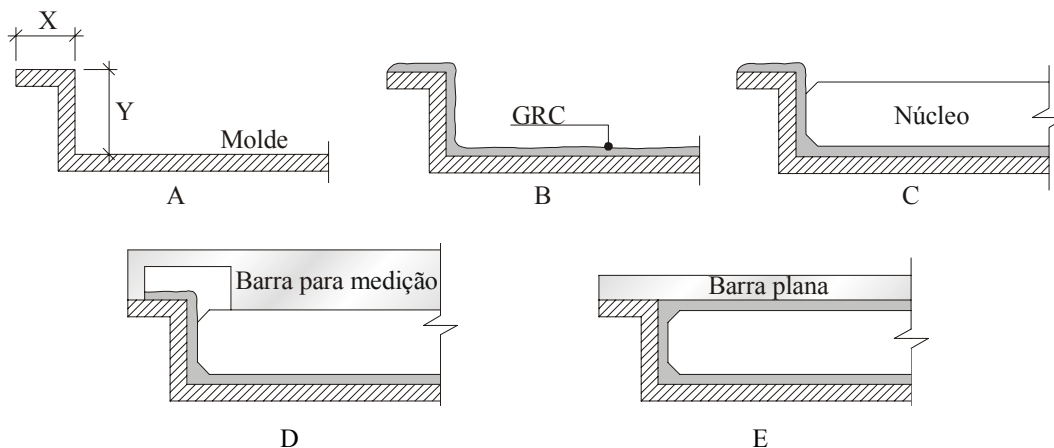


Figura 3.10 – Detalhes para a fabricação dos painéis tipo sanduíche para o método de pré-mistura e de projeção direta.(CEM-FIL, 1996).

C - Elaboração do gabarito das plaquetas de revestimento cerâmico, com dimensões das plaquetas cerâmicas = (55 x 225) mm; espessura de 13 mm, com fita de borracha com adesivo em uma face – dimensão (10 x 10 x 6000) mm

D - Aplicação de desmoldante (parafina com óleo diesel) nas fitas adesivas e nas laterais dos moldes

- E - Colocação das plaquetas no fundo do molde, conforme mostra a figura 3.11(A)
- F - Recorte e verificação do posicionamento do poliestireno expandido conforme projeto.
- G - Colocação e verificação do posicionamento dos insertes metálicos de fixação e de içamento e posterior retirada.
- H - Preparo da argamassa colante do tipo AC-III para as plaquetas cerâmicas, com consumo de 4,2 litros de água para 20 kg de argamassa.
- I - Aplicação da argamassa e regularização da superfície com espessura média de 5 mm acima do tardoz da plaqueta, conforme visto na figura 3.11(B).

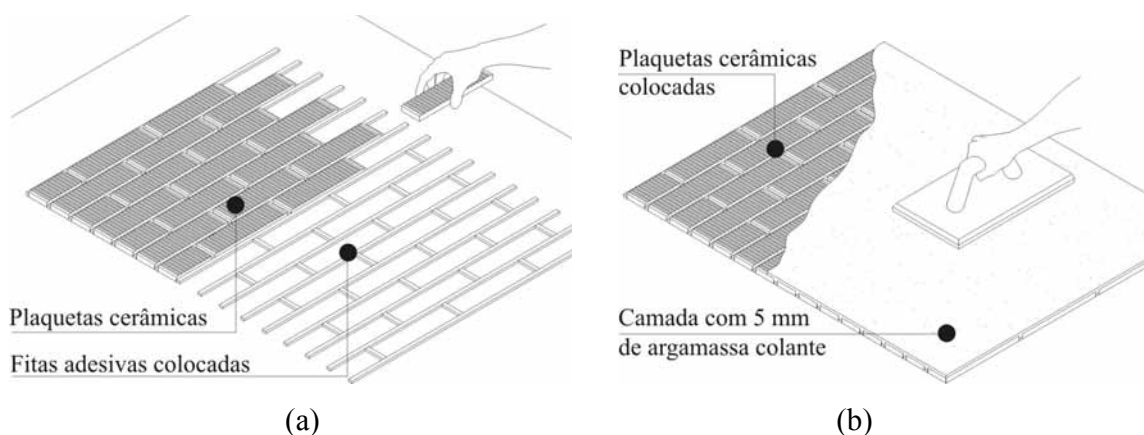


Figura 3.11 - Colocação das plaquetas no fundo do molde e aplicação da argamassa colante sobre estas.

- J - Preparo do GRC conforme traço especificado para um saco de cimento.

Tabela 3.1 – Quantidades dos materiais utilizados no método *premix*

Material	Quantidade
cimento	50 Kg
areia fina	50 Kg
Fibra AR (pré-mistura / projeção)	(2,5 / 3,5) Kg
Água	17,5 litros
Superplastificante	0,3 litros

- K - Aplicação da primeira camada de GRC com espessura nominal de 15 mm com compactação simultânea com roletes metálicos estriados, visto na figura 3.10(B).

- L - Colocação e verificação do posicionamento das peças de poliestireno expandido. Cem-FIL (1996) recomenda que os blocos que fazem parte dos cantos do painel sejam chanfrados a fim de evitar concentração de tensões nos cantos do painel, conforme visto na figura 3.10(C). Estes blocos são posicionados na parte horizontal do molde e arrastados até a parte vertical, para impedir que o GRC se solte das laterais do molde. Em seguida faz-se a verificação da diferença de altura dos blocos de poliestireno em relação ao molde, para a colocação da camada superior de GRC. Esta verificação é realizada com uma barra de medição padrão, visto na figura 3.10(D).
- M - Colocação dos insertes metálicos, conforme figura 3.12.

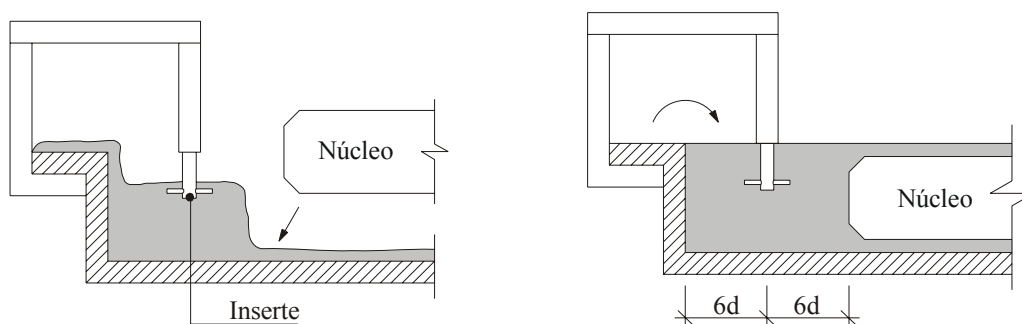


Figura 3.12 – Colocação dos insertes metálicos e posterior aplicação do GRC.(CEM-FIL, 1996).

- N - Preenchimentos das nervuras conforme projeto
- O - Aplicação da segunda camada de GRC conforme espessura nominal de 15 mm, desempenar e compactar simultaneamente, conforme mostrado na figura 3.10(E).
- P - Regularização e acabamento final com argamassa de cimento e areia fina com traço de 1;1 (sem fibra) com espessura nominal de 2 mm.

Procedimentos de mistura do GRC:

- A - Limpeza dos misturadores e recipientes
- B - Pesagem dos insumos
- C - Colocação da água no misturador
- D - Colocação do superplastificante no misturador
- E - Colocação do cimento
- F - Colocação da areia

## G - Colocação da fibra de vidro

### 3.2.2 Fabricação de painéis sanduíche pelo método de projeção direta

Para a fabricação dos painéis sanduíche as etapas de A até I são semelhantes à fabricação dos painéis pelo método de pré-mistura. A composição dos materiais é idêntica, porém ocorre um aumento da quantidade de fibras no compósito. Por se tratar de um processo de projeção em camadas, as fibras são distribuídas em 2 direções. A mistura das fibras com a matriz ocorre no molde, por isso o conteúdo de fibras utilizado pode ser maior. O conteúdo ótimo de fibras é por volta de 5%.

Ao contrário do processo anteriormente mencionado, a aplicação do GRC é realizada em camadas entre 3-4mm de espessura, conforme visto na figura 3.13. As etapas de colocação das placas de poliestireno e das ancoragens são as mesmas do processo anterior.

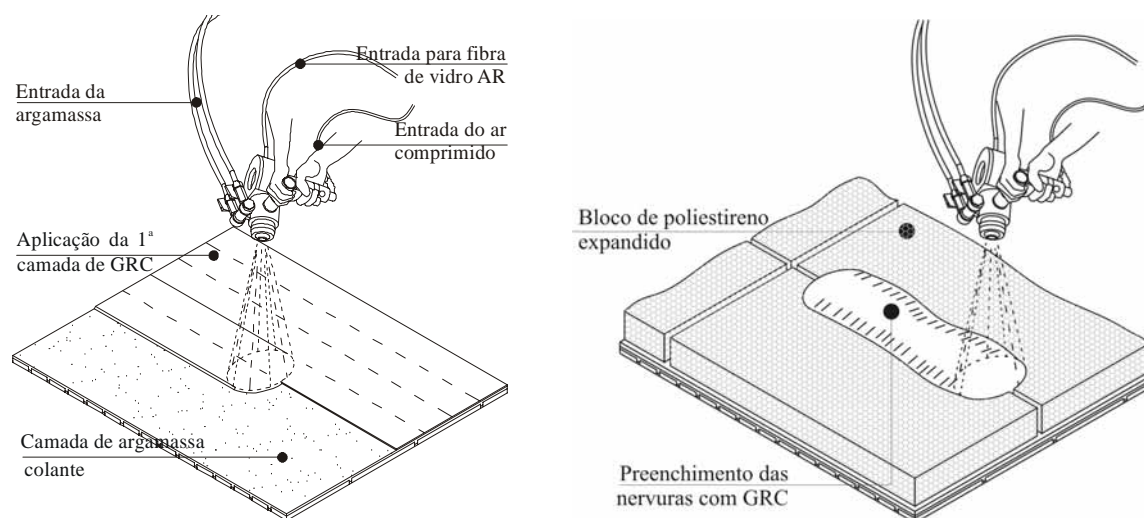


Figura 3.13 – Projeção da primeira camada de GRC com 3-4mm de espessura sobre a argamassa colante.

### 3.2.3 Fabricação de painéis tipo *stud frame* pelo método de projeção direta

Para a fabricação dos painéis tipo *stud frame* as etapas F, G, K, L, M, N, O e P são eliminadas, pois este tipo de painel possui estrutura em aço e não necessita de nervuras para reforço estrutural.

A proporção da mistura, assim como, a projeção desta sobre o molde metálico segue as mesmas determinações da fabricação dos painéis do tipo sanduíche por este método. Depois da projeção e compactação da casca em GRC, segue-se à colocação do bastidor metálico sobre a casca de GRC.

O Bastidor metálico é composto por um quadro e por barras flexíveis de pequeno diâmetro em forma de “L”, que são soldadas e espaçadas regularmente ao longo do quadro, fazendo a ligação do bastidor à casca em GRC. As barras metálicas são chamadas de flexíveis, pois permitem a movimentação da casca por mudanças dimensionais, provocadas por variações de temperatura e umidade. O bastidor deve ser colocado antes da pega do GRC. Na colocação, o suporte para o bastidor deve garantir que o mesmo esteja firmemente preso, na posição desejada e evitar a flexão dos perfis metálicos, conforme visto na figura 3.14.

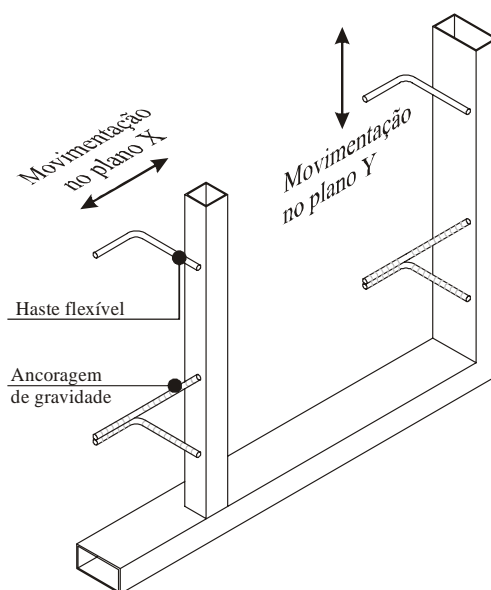


Figura 3.14 – Perspectiva de uma parte de um bastidor metálico, mostrando as ancoragens de gravidade na parte inferior e as hastes flexíveis na parte superior.

A instalação do bastidor deve ser cuidadosa, de modo a evitar o contato das hastes com a casca em GRC (PCI, 1991). Se por algum motivo isto acontecer, deve-se reparar a área afetada imediatamente. Do contrário, a pressão exercida pelo peso do bastidor na área entre as hastes e o GRC pode mudar a densidade do compósito e a relação água/cimento da matriz cimentícia, fazendo com que



exista uma coloração diferenciada na área da face em contato com o molde. Segundo PCI (1991), as hastes flexíveis devem estar a uma distância entre (3-10) mm da casca em GRC. O contato direto das hastes na casca pode ocasionar um excesso de restrição para esta última, devido às variações de temperatura e umidade incidentes, que a casca responde rapidamente por ser muito fina. Isto pode resultar em concentração de tensões e ocasionar fissuras no painel.

As hastes flexíveis possuem duas funções neste tipo de painel. As hastes perpendiculares à casca em GRC resistem às cargas de vento e as hastes da gravidade resistem às cargas do peso próprio da casca. Estas últimas são compostas por duas barras em “L”, que formam um triângulo com o bastidor, ou seja, uma estrutura indeformável, conforme mostra a mesma figura. Devem formar também uma linha horizontal ao longo da casca, pois este tipo de ancoragem restringe a movimentação vertical.

A orientação e comprimento das ancoragens flexíveis influenciam na maior ou menor restrição do painel. Devido à retração do GRC nas primeiras idades, é recomendado que estas ancoragens sejam posicionadas nas laterais do bastidor mais próximas do centro do painel, pois a casca não voltará a ter suas dimensões originais, mesmo em ambientes muito úmidos.

Se algum erro de colocação ocorrer, ou se por detalhes de projeto não for possível posicionar as hastes nos lugares corretos, deve-se flexioná-las a fim de aumentar o comprimento de ancoragem, conforme mostra a figura 3.15. Estas devem acomodar as mudanças de dimensões em dois planos, o horizontal e o vertical.

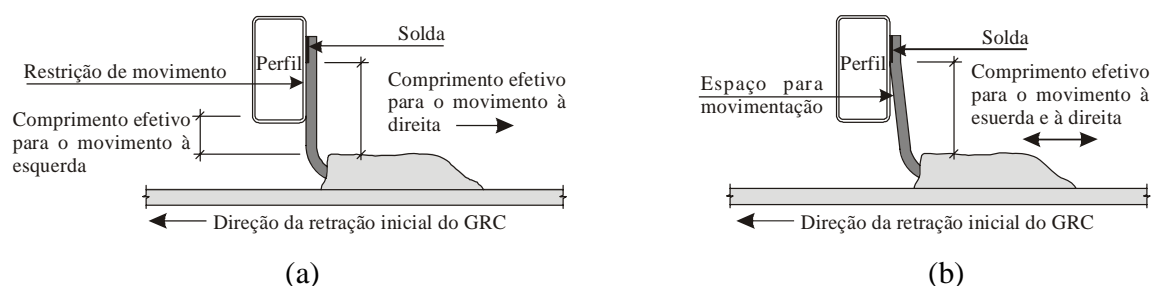


Figura 3.15 – Problemas com o posicionamento errado da haste flexível (a) e alternativa de uso para o mau posicionamento (b). Adaptado de PCI (1991).

Para se fazer a união entre a casca em GRC e o bastidor metálico, faz-se a colocação de uma almofada em GRC, com as mesmas características da matriz cimentícia projetada no painel, conforme figura 3.16. A colocação deve ser feita antes da pega do compósito, de modo a deixar o produto monolítico. Esta almofada só deve ser aplicada na parte horizontal das hastes, a fim de não restringir a movimentação do painel, caso contrário poderão ocorrer fissuras decorrentes das mudanças dimensionais provocadas pelas variações de temperatura e umidade.

Algumas medidas mínimas devem servir como referência no projeto e execução das almofadas. A camada acima da haste não deve ser inferior a 13mm e a área efetiva da almofada (largura efetiva X comprimento efetivo) deve ser superior a 155cm<sup>2</sup>, segundo ensaios realizados por PCI (1994), como mostrado na figura 3.17. A execução da almofada é realizada manualmente, sendo que o operário projeta uma quantidade de GRC em um balde e em seguida coloca-o sobre a haste, compactando este compósito com a mão.

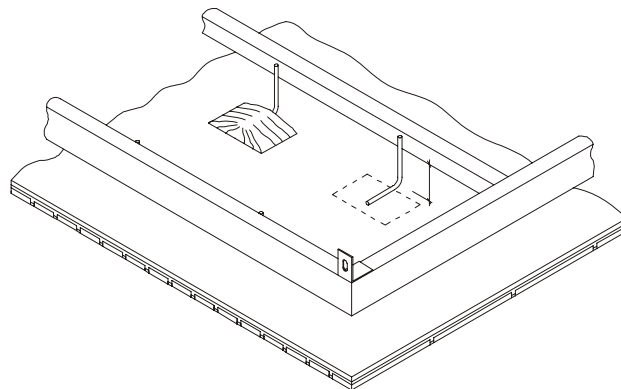


Figura 3.16 – Perspectiva de uma parte de um bastidor metálico, mostrando a colocação das almofadas em GRC sobre as hastes flexíveis.

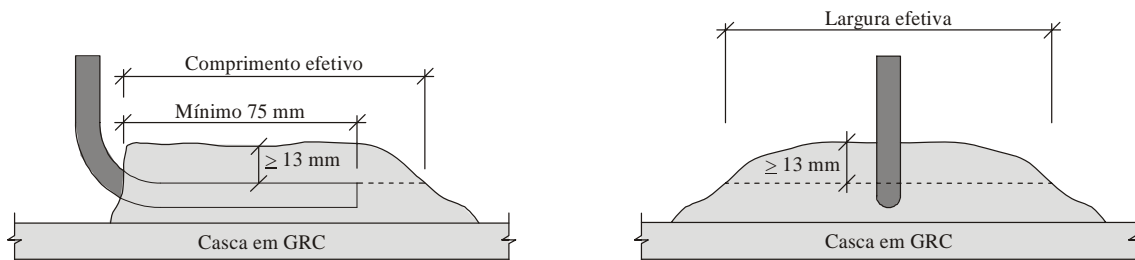


Figura 3.17 – Detalhes da almofada em GRC. Adaptado de PCI (1994).

Para todos estes métodos, as tolerâncias de fabricação dos painéis são as mesmas. PCI (1994) indica que as precisões de fabricação devem respeitar alguns aspectos, tais como: tolerâncias para verificação do empenamento e da deflexão do bastidor metálico e da fabricação dos moldes.

### 3.3 TOLERÂNCIAS DE FABRICAÇÃO E MONTAGEM DOS PAINÉIS

As tolerâncias de fabricação e montagem dos componentes devem estar em conformidade com a norma NBR 9062 (2001), para adequarem-se à medida modular, a fim de evitar adaptações e cortes de material e também para obter um ajuste mais fácil na montagem. Esta norma fixa valores máximos de tolerâncias de fabricação para os painéis pré-fabricados em concreto, conforme mostrados na tabela 3.2. No entanto, a tolerância da espessura do painel não se aplica aos elementos em GRC, pois a variação dimensional proposta pela norma é elevada para as espessuras comumente executadas nos painéis em GRC.

De outra parte, PCI (1994) apresenta tolerâncias de fabricação próprias para os produtos em GRC. Este admite tolerâncias de fabricação das diversas partes e componentes formadores dos painéis, sendo alguns apresentados na tabela 3.2.

Tabela 3.2 – Tolerâncias de fabricação estabelecidas por PCI e pela norma NBR-9062.

Norma	Descrição		Tolerâncias
PCI	<i>Stud frame</i>	Empenamento	5mm/m do vértice adjacente mais próximo
		Flecha	Menor ou igual a L/240
	Comprimento	$L \leq 3m$	$\pm 3mm$
		$L > 3m$	$\pm 1mm/m$ , com máximo de 6mm
	Espessura		-0mm, + 6mm
Interface da abertura com o painel		$\pm 6mm$	
NBR 9062	Comprimento	$L \leq 5m$	$\pm 10mm$
		$5m < L \leq 10m$	$\pm 15mm$
		$L > 10m$	$\pm 20mm$
	Espessura		- 5mm, +10mm

Pela tabela anterior, observa-se que as tolerâncias de fabricação estabelecidas por PCI são mais rigorosas que as apresentadas pela NBR 9062. A tolerância no comprimento do painel, definida por PCI, é de  $\pm 6$  mm para painéis acima de 6m de comprimento, enquanto que a norma brasileira admite  $\pm 20$  mm

para painéis acima de 10m de comprimento, ou seja, chega a ser mais de três vezes a tolerância da primeira.

As tolerâncias de montagem dependem das dimensões de coordenação dimensional, das dimensões nominais dos painéis e da junta mínima admissível (BARTH, 1997). A precisão no posicionamento do painel de fachada está em função do controle das medidas e das facilidades de manipulação e ajuste dos componentes de fixação. Em seguida, procede-se o posicionamento do painel na fachada de maneira que se encontre centralizado com relação à dimensão de coordenação.

Na montagem dos painéis deve-se utilizar linhas de referências para garantir o nível, o prumo e o alinhamento dentro das tolerâncias admissíveis de projeto, conforme nas figuras 3.18 e 3.19 e na tabela 3.3, onde  $m_1$  e  $m_2$  são as dimensões efetivas dos painéis. Estas tolerâncias são apresentadas a seguir:

Tabela 3.3 – Tolerâncias de montagem estabelecidas por PCI e pela norma NBR-9062.

Norma	Descrição		Tolerâncias	
PCI	Desvios de posicionamento no plano da fachada	$\Delta$	$L < 6m$	$\pm 6mm$
			$L \geq 6m$	$\pm 8mm$
		$\alpha$	$L \leq 3m$	$\pm 6mm$
			máximo	$\pm 9mm$
	Desvios de posicionamento na seção transversal	$\Delta$	$\pm 6mm$	
		$\alpha$	$L \leq 3m$	$\pm 6mm$
	Máximo em 30m		$\pm 25mm$	
NBR 9062	Desvios de posicionamento no plano da fachada	$\Delta$	$\pm 10mm$	
	Desvios de posicionamento na seção transversal	$\alpha$	$\pm 1/300$ da altura, com máximo de $\pm 25mm$	

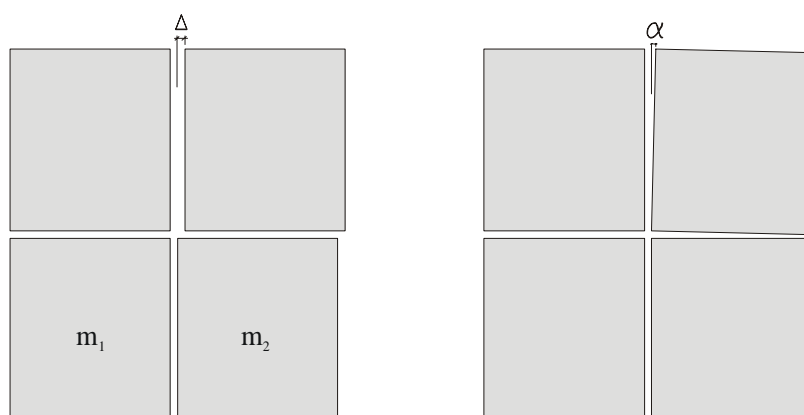


Figura 3.18 – desvios de posicionamento de painéis no plano da fachada, onde  $\Delta$  é o deslocamento e  $\alpha$  é o desvio angular

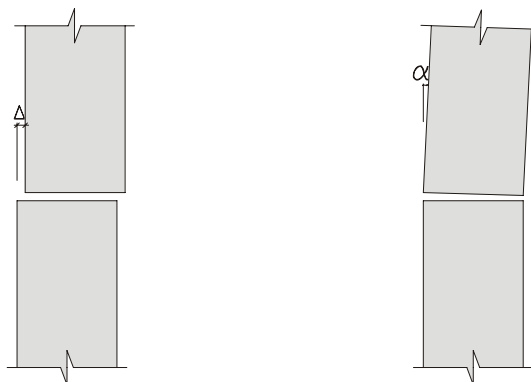


Figura 3.19 – desvios de posicionamento na seção transversal de painéis no plano da fachada, onde  $\Delta$  é o deslocamento e  $\alpha$  é o desvio angular

A tabela 3.3 mostra que as tolerâncias de montagem determinadas por PCI são, novamente, mais rigorosas em relação às tolerâncias apresentadas pela NBR 9062.

### 3.4 MONTAGEM DOS PAINÉIS

As vedações costumam ser o caminho crítico depois da execução da estrutura do edifício. O sistema com painéis pré-fabricados em GRC possibilita o rápido fechamento do edifício e a antecipação de outros serviços que só devem ser realizados depois das vedações externas estarem instaladas. A velocidade de montagem das fachadas pré-fabricadas é um dos responsáveis pela sua expansão em grandes obras, onde os prazos de entrega são exíguos. A entrega e montagem organizadas dos componentes produzidos na fábrica são elaboradas de tal forma para que haja o mínimo possível de estoque no canteiro de obras, perda de produção na montagem dos painéis e gastos desnecessários com equipamentos de içamento. As operações que constituem a montagem das fachadas exigem o controle de alguns fatores:

- Determinação dos acessos a serem utilizados na montagem;
- Utilização de equipamentos mecanizados que facilitem as operações;
- Definição das zonas de armazenamento parciais;

- Planejamento de operações seqüenciais;
- Execução do controle de montagem e das tolerâncias admissíveis;
- Fixação de critérios de segurança na obra;

Os acessos devem ser situados de modo que se realize o mínimo possível de manobras dentro da obra, para não influenciar no andamento dos trabalhos de outras equipes. Obras situadas em zonas urbanas com grande densidade e/ou com terrenos pequenos apresentam pouca área de solo disponível para que se realizem as manobras de carga e descarga dos caminhões. As zonas de armazenamento são utilizadas comumente, pois é difícil manter um ritmo constante na montagem dos painéis e eventuais atrasos podem ocorrer. Segundo Barth (1997), as repetições e semelhanças entre as famílias de painéis podem gerar operações repetitivas. Estas operações cíclicas podem desenvolver-se por meio de um mesmo grupo de trabalho, aumentando o rendimento na montagem dos painéis. O içamento, a colocação, o alinhamento, o prumo, o nivelamento e a fixação do painel formam operações cíclicas que exigem a coordenação entre os operários e o condutor da grua. O serviço de grua pode ser otimizado com sistemas de fixação que permitam o ajuste da posição do painel e o controle das juntas sem a necessidade do auxílio permanente desta.

Equipamentos de transporte e de manipulação dos painéis utilizados na montagem das fachadas não costumam representar um fator que limita as operações e o tamanho dos painéis. No entanto, como o transporte dos painéis é realizado predominantemente por meio de carretas, é importante observar que painéis de grandes dimensões podem requerer autorização e sinalização especiais para trafegar em rodovias, bem como saber de prováveis passarelas, viadutos e fios elétricos no percurso a ser realizado para o transporte.

### 3.4.1 Equipamentos para montagem e segurança dos operários

Os equipamentos mais empregados nas obras são as torres grua, devido ao seu alcance e a maior capacidade de elevação. A capacidade de carga da torre de grua é reduzida consideravelmente na medida em que se aumenta o raio de operação da lança. O vento pode produzir alterações significativas na movimentação dos painéis, dependendo da sua intensidade. Em função da elevada altura da grua e a ação dos ventos sobre a mesma, faz-se necessário um controle das condições de segurança que sinalize quando a velocidade do vento, medida através de um anemômetro, alcance os 42 Km/h. Com ventos de 42 a 72 Km/h, (NR –18 de 2005), a montagem é realizada por operação assistida, onde os controles sobre os procedimentos de movimentação são mais rigorosos.

O canteiro de obra produz ruído aéreo bastante elevado e freqüentemente está inserido em centros urbanos, cujos níveis sonoros também são elevados. A proximidade dos operários aos equipamentos de montagem exige a utilização de protetores auriculares, dificultando a comunicação entre os operários, podendo causar acidentes graves. Para prevenção destes acidentes faz-se necessária a utilização de um código de sinais que racionalize os serviços de movimentação e montagem dos painéis na obra. Este código de sinais, mostrado, é obtido através do gestual do operário, que deve ser claro e de fácil entendimento pelo operador da grua.

Os equipamentos necessários para a montagem de fachadas constituídas por painéis em GRC podem ser de menor capacidade de carga, pois este sistema possibilita painéis mais leves, em comparação com os correspondentes painéis executados em concreto armado. A figura 3.20 ilustra a montagem de dois tipos de painéis em GRC em duas obras, cujos equipamentos de içamento são caminhões com lança telescópica.



(a)



(b)

Figura 3.20 – (a) montagem dos painéis stud frame no edifício da Faculdade de Odontologia e (b) etapa de içamento e fixação dos painéis sanduíche na fachada leste do edifício de estacionamento

Fonte: Nave Sistemas Construtivos, 2003

Estes equipamentos possibilitam redução nos custos com aluguel e maior rapidez de montagem, ao contrário dos equipamentos utilizados para o içamento de painéis em concreto armado, que muitas vezes utilizam guindastes.



# 4. VERIFICAÇÃO DOS DESEMPENHOS TÉRMICO, ACÚSTICO E AO FOGO

Neste capítulo serão abordados os aspectos referentes aos desempenhos térmico, acústico, riscos de condensação e a resistência ao fogo de vedações pré-fabricadas. Segundo Mitidieri (1998), desempenho pode ser definido como um conjunto de características de um material ou de um sistema construtivo frente a um determinado uso.

Da mesma forma pode-se definir os conceitos de requisitos e critérios de desempenho. Os requisitos representam os aspectos qualitativos, ou seja, quais características que um determinado produto deve apresentar em determinadas condições. O referido projeto de norma destaca que os requisitos são: “Condições qualitativas que devem ser cumpridas (...), a fim de que sejam satisfeitas as condições dos usuários durante a vida útil de projeto”.(ABNT, 2001. p. 5). CIRIA (1992) divide os requisitos em dois grupos: a) condições exigidas internamente ao edifício, caracterizadas por ventilação, perda de calor, segurança, entre outros e b) condições impostas por agentes naturais, como por exemplo, temperatura do ar, chuva, radiação solar, barulho e vibração, fogo e sujidades. Este projeto de norma define critério como sendo: “Conjunto de especificações e procedimentos que visam representar tecnicamente as exigências do usuário”. Os critérios representam os aspectos quantitativos dos requisitos, determinados por valores numéricos.

Os elementos construtivos costumam apresentar perdas de seus requisitos e critérios de desempenho iniciais que podem ser minimizadas através de

intervenções preventivas ou reparativas, contribuindo para uma retomada do desempenho das partes ou da edificação como um todo, como mostra a figura 4.1.

No caso específico das fachadas, estas intervenções buscam manter o desempenho próximo às condições previstas em projeto, sem prejuízos aos aspectos da composição arquitetônica, da funcionalidade do edifício e do conforto dos usuários durante a sua vida útil. A edificação pode apresentar ainda uma vida útil residual, desde que estas perdas não provoquem risco à segurança dos usuários.

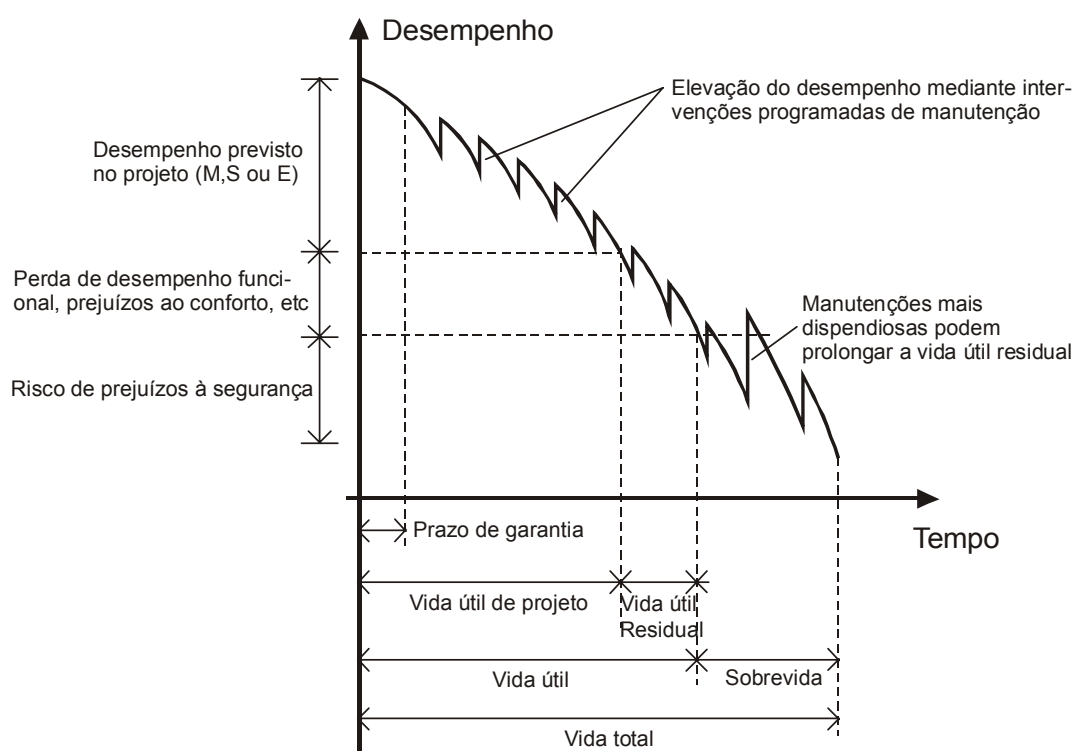


Figura 4.1 – Perdas de desempenho na vida útil da edificação

Fonte: Projeto de norma brasileira Desempenho de Edifícios Habitacionais de até 5 pavimentos – Parte 1. (2001).

A edificação pode ter uma sobrevida desde que haja uma intervenção capaz de recuperar as condições de desempenho, melhorando as condições de segurança dos usuários. Ocorre que na fase de sobrevida as intervenções não são apenas preventivas e sim reparadoras, e freqüentemente apresentam relação custo-benefício muito elevada.

## 4.1 DESEMPENHO TÉRMICO

O desempenho térmico de uma edificação é função do desempenho térmico das partes que compõem a envolvente. Da mesma forma o isolamento térmico das vedações de uma edificação é obtido pela média ponderada das resistências térmicas das superfícies que a compõem: paredes opacas, portas, janelas e paredes translúcidas e transparentes.

O desempenho térmico de uma vedação é função da transferência de calor entre os ambientes interno e externo. O estabelecimento de requisitos e critérios de desempenho térmico para uma vedação a ser projetada possibilita adequá-la às condições climáticas locais a fim de proporcionar conforto aos usuários e diminuir gastos energéticos para aquecimento e resfriamento das edificações quando necessários.

Conjuntamente com a transferência de calor, costuma ocorrer a transferência de vapor de água entre os diferentes ambientes. O vapor de água pode condensar quando ocorre um rebaixamento das temperaturas, cujas condensações podem criar condições favoráveis à proliferação de microrganismos nas superfícies internas e externas e no interior da vedação. A análise dos riscos de condensação tem a função de prevenir estas manifestações patológicas.

O desempenho térmico da vedação pode ser determinado através dos métodos de cálculos apresentados a seguir, válidos tanto para as vedações convencionais quanto às pré-fabricadas.

### 4.1.1 Conforto térmico

A NBR 15220 – Desempenho térmico das edificações, aprovada no ano de 2005, estabelece 8 zonas bioclimáticas<sup>15</sup> para o Brasil, conforme mostrado na figura 8.1 do anexo, e procura garantir as condições de conforto nas edificações, estabelecendo diretrizes construtivas e estratégias de condicionamento térmico passivo. Dentre as diretrizes construtivas estão listadas a porcentagem de

---

<sup>15</sup> Esta norma define zona bioclimática como sendo “região geográfica homogênea quanto aos fatores climáticos que interferem nas relações entre ambiente construído e conforto humano”.

aberturas para ventilação, em função da área de piso dos ambientes; o sombreamento ou não destas aberturas no verão e o inverno; e os tipos de vedações que devem ser utilizadas: vedações leves, leves refletoras ou pesadas. Dentre as estratégias de condicionamento solar passivo estão: ventilação cruzada e aquecimento solar da edificação para edificações localizadas em regiões menos quentes; e resfriamento evaporativo e ventilação seletiva em regiões mais quentes.

Esta mesma norma fornece valores máximos indicativos de transmitância térmica para os elementos de vedação, conforme o tipo de parede e da zona bioclimática na qual a edificação está inserida, como mostra a tabela 4.1. No entanto, a NBR 15220 não estabelece nenhuma característica que diferencie as vedações leves das leves refletoras e das pesadas.

Tabela 4.1 - Resistências térmicas máximas admissíveis das vedações segundo as zonas bioclimáticas, estabelecidas pelas NBR 15220.

Zona bioclimática	1 e 2	3	4	5	6 e 7	8
Tipo de vedação	Leve	Leve refletora	Pesada	Leve refletora	Pesada	Leve refletora
Transmitância térmica w/m <sup>2</sup> K	3,00	3,60	2,20	3,60	2,20	3,60

A norma brasileira não estabelece exigências quanto à transmitância térmica global da edificação, ou seja, busca garantir o desempenho da edificação através das transmitâncias térmicas dos elementos construtivos, sem permitir uma compensação entre os desempenhos das diferentes partes da edificação. Também não dispõe de valores de transmitância térmica para esquadrias e vidros.

Na determinação do desempenho térmico adotou-se também a norma espanhola como referência, por esta apresentar uma zona climática similar a que se encontram os estudos de caso, por possibilitar a avaliação do desempenho térmico global da edificação e a verificação dos riscos de condensações que a norma brasileira não contempla. Considera, também, as perdas de calor pelas lajes em contato com o solo e permite calcular o coeficiente térmico global da edificação através de um cálculo simplificado detalhado no item 4.2.

Para os cálculos do desempenho térmico foram utilizados valores máximos de transmitância térmica da norma espanhola NBE-CT-79, que são mostrados na tabela 4.2 e os mapas com as zonas climáticas que são apresentados nas figuras

8.2 e 8.3 do anexo. As duas normas tratam da verificação do desempenho térmico das edificações, porém a norma espanhola é mais rigorosa quanto aos valores máximos permitidos para o fluxo de calor. A NBE-CT-79 faz a distinção entre vedações leves, que possuem até 200Kg/m<sup>2</sup> e pesadas, acima deste valor. A transmitância térmica máxima admitida para as vedações leves é menor que a equivalente para as paredes pesadas, pois as leves apresentam menor capacidade térmica, devido a sua reduzida massa.

Tabela 4.2 – Valores máximos de transmitância térmica admissíveis para as vedações, em (W/m<sup>2</sup>K), retirados da NBE-CT-79

Tipo de fechamento	Zona climática			
	V e W	X	Y	Z
Coberturas	1,40	1,20	0,90	0,70
Fachadas leves	1,20	1,20	1,20	1,20
Fachadas pesadas	1,80	1,60	1,40	1,40
Lajes sobre espaço aberto	1,00	0,90	0,80	0,70

As fachadas estão em constante troca de calor e umidade com o ambiente externo. Entre os fatores que determinam as temperaturas externas de uma certa localidade estão a latitude e a altitude. Em um exemplo comparativo do cálculo do desempenho térmico das vedações através das normas brasileira e espanhola, adotaram-se duas zonas climáticas similares: Porto Alegre(30°) em região próxima ao litoral sul do Brasil (zona bioclimática 2) e Santa Cruz de Tenerife (28°50') pertencente à Espanha, localizada no oceano atlântico (zona climática V, para vedação e zona A para transmitância térmica global). A tabela 4.3 mostra as transmitâncias térmicas máximas admissíveis, segundo ambas as normas.

Tabela 4.3 – Comparação entre as transmitâncias térmicas das normas.

Norma		Zona climática	Transmitância térmica (W/m <sup>2</sup> K)	Zona climática	Transmitância térmica global (W/m <sup>2</sup> K)
NBR 15220	vedação leve	2	$U \leq 3,00$	-	-
NBE-CT-79	vedação leve	V e W	$U \leq 1,20$	A	1,40 – 2,45*
	vedação pesada	V e W	$U \leq 1,80$	A	

Nota: \*Os valores da transmitância global variam em função do fator de forma e da zona climática, ( $f = S / V$ )

As vedações mais leves e flexíveis são frequentemente usadas nos edifícios comerciais, por representarem montagem mais rápida, com equipamentos mais versáteis e de menor porte. Com a demanda cada vez maior

de energia para equipamentos de aquecimento e arrefecimento, a massa térmica é tida como complemento do desempenho térmico muitas vezes desnecessária, pois edificações com muita massa térmica levam muito tempo para aquecer ou resfriar os ambientes internos dos edifícios. Isso pode representar grande desperdício de energia. As vedações mais leves possuem pouca massa térmica e exigem menores tempos e consumo de energia para climatizar esses ambientes.

As fachadas compostas, freqüentemente apresentam câmara de ar interna que contribui de uma maneira significativa para a melhoria do isolamento térmico da vedação. Esta câmara de ar pode estar comunicada com o ambiente externo ou não, e varia em função do seu grau de abertura.

Nas vedações verticais a resistência da câmara de ar independe do sentido do fluxo de calor, apresentando os mesmos valores para as condições de inverno e verão, ou seja, com perda e ganho de calor. A resistência da câmara de ar depende da sua espessura, pois influencia no fenômeno de convecção do ar interno, e também das características de emissividade da superfície que a compõe, conforme mostradas na tabela 4.4. A resistência da câmara de ar pode ser facilmente duplicada com a utilização de mantas aluminizadas que baixam a emissividade da superfície.

Tabela 4.4 - Resistência térmica de câmaras de ar não ventiladas – NBR 15220

Superfície	Espessura da câmara	Resistência térmica $m^2.K/W$
Alta emissividade $\varepsilon > 0,8$	$1,0 \leq e \leq 2,0$	0,14
	$2,0 < e \leq 5,0$	0,16
	$e > 5,0$	0,17
Baixa emissividade $\varepsilon < 0,2$	$1,0 \leq e \leq 2,0$	0,29
	$2,0 < e \leq 5,0$	0,37
	$e > 5,0$	0,34

As fachadas com câmaras de ar internas podem ser muito ou pouco ventiladas. As aberturas na câmara de ar acentuam o fenômeno de convecção e podem contribuir para a retirada de calor que incide na parede externa, melhorando o desempenho térmico na situação de verão. No entanto, estas aberturas quando elevadas fazem com que a câmara interna tenha a sua temperatura rebaixada na situação de inverno o que diminui o isolamento térmico da parede. Na tabela 4.5 observa-se que na câmara de ar pouco ventilada a

relação entre a área total de abertura de ventilação (S) em cm<sup>2</sup> e o comprimento da parede (L) em metros, deve ser menor que 500. Acima deste valor, a norma define a câmara de ar como muito ventilada.

Tabela 4.5 - Condições de ventilação para câmaras de ar, NBR 15220

Posição da Câmara de ar	Câmara de ar	
	pouco ventilada	muito ventilada
Vertical (paredes)	S/L < 500	S/L ≥ 500

Na câmara de ar pouco ventilada, as aberturas não influenciam de maneira significativa no desempenho da vedação. A NBR 15220 considera, de maneira simplificada, que a resistência térmica da vedação é igual à resistência térmica da mesma com câmara não ventilada, tanto na situação de inverno quanto de verão.

$$R_T = R_{si} + R_t + R_{se}$$

Onde:

$R_{si} = (0,13)$  é a resistência superficial interna com fluxo de calor na horizontal

$R_{se} = (0,04)$  é a resistência superficial externa

$R_t$  é a resistência da vedação

Na condição de câmara muito ventilada, a norma brasileira é conservativa quanto ao desempenho térmico da vedação. Na situação de inverno, ela desconsidera a resistência térmica da camada externa da vedação, já que as temperaturas da câmara de ar se aproximam das temperaturas exteriores. Admite-se apenas uma pequena contribuição na mudança da resistência superficial externa do ar, considerando-a equivalente à resistência superficial interna, pois o ar da câmara está em repouso. Desta forma, a resistência total de ambiente a ambiente pode ser dada por:

$$R_T = 2.R_{si} + R_t$$

Na situação de verão, a NBR 15220 desconsidera os benefícios decorrentes da convecção do ar na câmara ventilada ao determinar que a resistência desta vedação seja igual ao da câmara de ar com pouca ou nenhuma ventilação. Esta consideração é bastante razoável para regiões com climas frios, porém não incentiva a sua aplicação em fachadas com grande incidência de radiação solar comum em regiões quentes.

#### 4.1.2 Variações dimensionais dos painéis por variações de temperatura

Os painéis de fachada têm como uma de suas funções atenuar as variações de temperatura no interior dos edifícios. As características de absorção térmica, radiação e transmissão de calor nos materiais constituintes determinam os gradientes de temperatura que se produzem nas fachadas.

A temperatura do ar sofre variações cíclicas durante o dia e também com as estações do ano. A radiação solar é o principal fator que determina este comportamento. No entanto, existem outros fatores que influenciam nas temperaturas, como por exemplo, os ventos, a vegetação e o micro-clima. Ainda que existam grandes variações durante o dia, as temperaturas médias máximas e as temperaturas médias mínimas podem servir para o cálculo do consumo médio de energia do edifício. No entanto, para avaliar o efeito das variações de temperatura nas fachadas deve-se considerar a probabilidade do alcance das temperaturas máximas e mínimas absolutas.

As fachadas encontram-se expostas a essas variações extremas da temperatura do ar e a radiação solar incidente pode elevar ainda mais as temperaturas superficiais dos painéis. A distribuição da energia solar é função da longitude da onda incidente.

A magnitude dos efeitos da radiação solar se deve à absorção térmica e à emitância de energia por parte dos materiais que recebem o calor. Assim, parte da energia absorvida é irradiada pelos materiais, produzindo a troca de calor entre os materiais que constituem a vedação e o ar. Isto produz gradientes de temperatura nas vedações que variam ao longo do tempo em função da radiação solar e das temperaturas do ar interior e exterior. A amplitude das temperaturas superficiais é obtida pela ação combinada da energia solar incidente e das variações de temperatura do ar exterior, (ASTM 1193,2005).

O coeficiente de absorção térmica de uma superfície é função da cor e das características do material. As superfícies claras e polidas apresentam valores mais baixos que as superfícies mais escuras e foscas. A superfície com pintura branca pode apresentar um coeficiente de absorção ( $\alpha = 0,2$ ), concretos com



tonalidades claras podem apresentar ( $\alpha = 0,3$ ) e concretos escuros podem alcançar  $\alpha = 0,8$ .

#### 4.1.3 Exemplo de análise do desempenho térmico

Para exemplificar o cálculo do desempenho térmico de uma vedação tomam-se as fachadas do edifício da faculdade de odontologia, que está localizado na Universidade Luterana do Brasil, na cidade de Canoas, no Rio Grande do Sul. Estas fachadas, por serem heterogêneas devem ter as resistências, transmitâncias e as capacidades térmicas calculadas para as diferentes seções das vedações. Deve-se saber a área de contribuição dos diferentes materiais que compõem a vedação, a fim de se elaborar uma ponderação entre as partes para a determinação da resistência térmica da parede.

■ *Resistência térmica* - A caixa de escada do edifício da Faculdade de Odontologia está composta por blocos estruturais de concreto rebocados internamente e revestidos por painéis em GRC tipo *stud frame* com plaquetas cerâmicas aderidas na face externa. A figura 4.2 ilustra uma perspectiva, a figura 4.3 mostra uma seção horizontal das camadas da vedação e a figura 4.4 mostra uma perspectiva com os cortes que passam pelas diferentes partes do bloco de concreto.

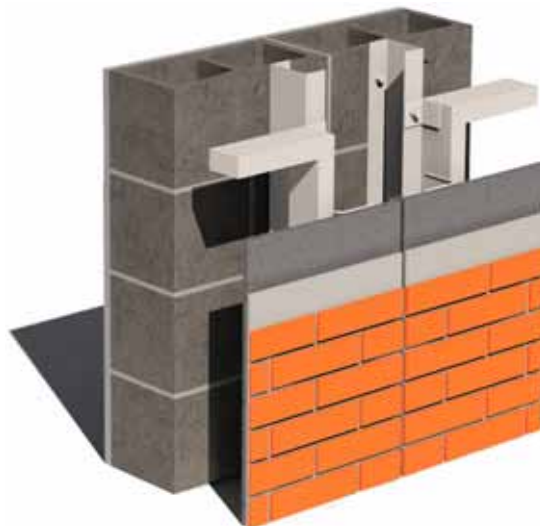


Figura 4.2 – Perspectiva mostrando as camadas de uma vedação estruturada com blocos de concreto e com painéis em GRC tipo *stud frame*

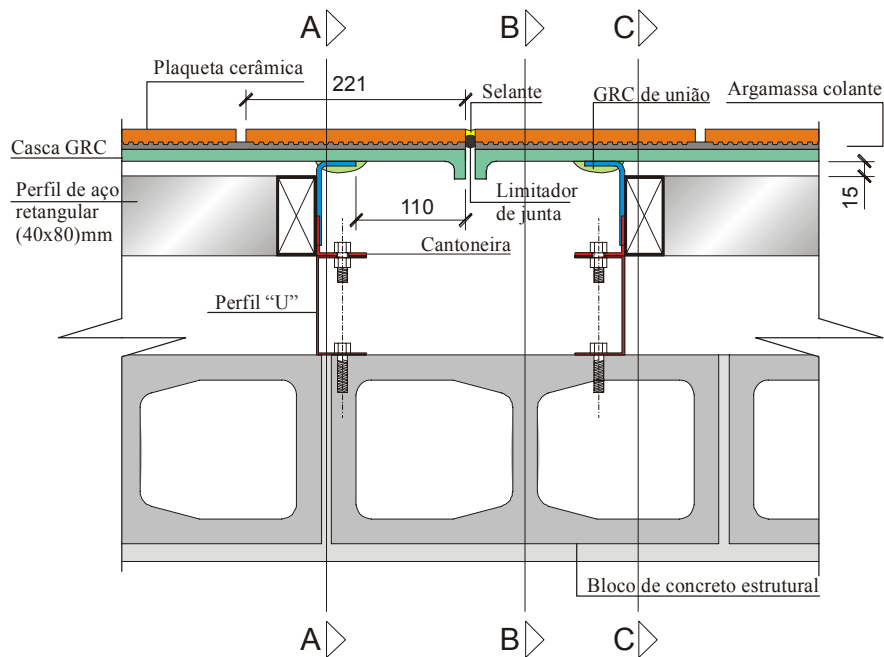


Figura 4.3 – Corte horizontal da vedação da caixa de escada da Faculdade de Odontologia. Medidas em milímetros

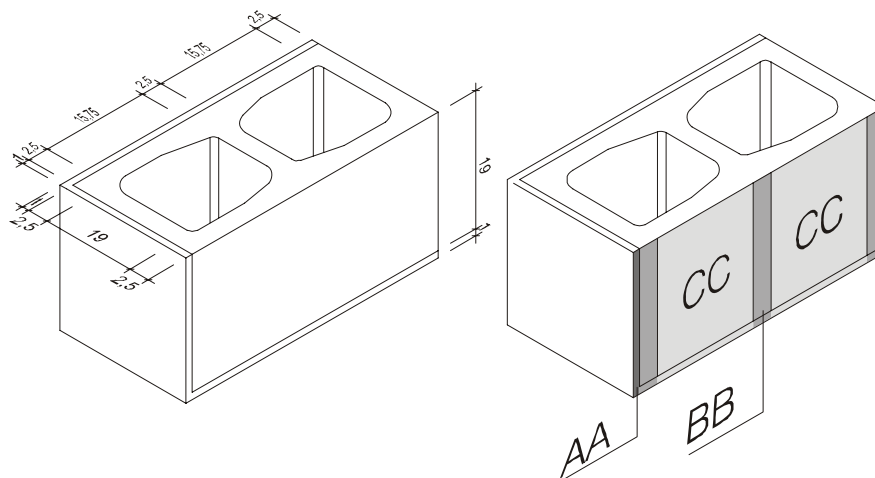


Figura 4.4 – Perspectiva do módulo com bloco estrutural de concreto, mostrando as seções de corte

**Seção AA** – corresponde à seção transversal que coincide com a vertical dos blocos de concreto. A espessura das camadas é dada em metros e a condutividade térmica do material é dada em (m.K/W).

$$\text{Área Aa} = \text{base} \times \text{altura} = 0,01 \times 0,19 = 0,0019\text{m}^2$$

$$R_a = \frac{e_{\text{argamassa}}}{\lambda_{\text{argamassa}}} + R_{\text{ar}} + \frac{e_{\text{GRC}}}{\lambda_{\text{GRC}}} + \frac{e_{\text{argamassa colante}}}{\lambda_{\text{argamassa colante}}} + \frac{e_{\text{plaqueta cerâmica}}}{\lambda_{\text{plaqueta cerâmica}}} =$$

$$R_a = \frac{0,21}{1,15} + 0,17 + \frac{0,012}{0,90} + \frac{0,005}{1,15} + \frac{0,013}{0,90} = 0,3844 \text{ (m}^2\text{.K)/W}$$

**Seção BB** - corresponde à seção transversal da parte maciça do bloco de concreto.

$$\text{Área } A_b = 0,025 \times 0,19 = 0,0048\text{m}^2$$

$$R_b = \frac{e_{\text{reboco}}}{\lambda_{\text{reboco}}} + \frac{e_{\text{concreto}}}{\lambda_{\text{concreto}}} + R_{\text{ar}} + \frac{e_{\text{GRC}}}{\lambda_{\text{GRC}}} + \frac{e_{\text{argamassa colante}}}{\lambda_{\text{argamassa colante}}} + \frac{e_{\text{plaqueta cerâmica}}}{\lambda_{\text{plaqueta cerâmica}}} =$$

$$R_b = \frac{0,02}{1,15} + \frac{0,19}{1,75} + 0,17 + \frac{0,012}{0,90} + \frac{0,005}{1,15} + \frac{0,013}{0,90} = 0,3274 \text{ (m}^2\text{.K)/W}$$

**Seção CC** - corresponde à seção transversal que atravessa os vazios do bloco de concreto.

$$\text{Área } A_c = 0,1575 \times 0,19 = 0,03\text{m}^2$$

$$R_c = \frac{e_{\text{reboco}}}{\lambda_{\text{reboco}}} + \frac{e_{\text{concreto}}}{\lambda_{\text{concreto}}} + R_{\text{ar}} + \frac{e_{\text{concreto}}}{\lambda_{\text{concreto}}} + R_{\text{ar}} + \frac{e_{\text{GRC}}}{\lambda_{\text{GRC}}} + \frac{e_{\text{arg. colante}}}{\lambda_{\text{arg. colante}}} + \frac{e_{\text{plaqueta}}}{\lambda_{\text{plaqueta}}}$$

$$R_c = \frac{0,02}{1,15} + \frac{0,025}{1,75} + 0,17 + \frac{0,025}{1,75} + 0,17 + \frac{0,012}{0,90} + \frac{0,005}{1,15} + \frac{0,013}{0,90} \quad R_t = 0,4175 \text{ (m}^2\text{.K)/W}$$

Desta forma a resistência térmica da vedação é obtida pela ponderação entre as resistências térmicas das seções características calculadas anteriormente e suas áreas correspondentes.

$$R_t = \frac{A_a + 3xA_b + 2xA_c}{\frac{A_a}{R_a} + \frac{3xA_b}{R_b} + \frac{2xA_c}{R_c}} = \frac{0,0019 + 3 \times 0,0048 + 2 \times 0,03}{\frac{0,0019}{0,3844} + \frac{3 \times 0,0048}{0,3274} + \frac{2 \times 0,03}{0,4275}} = \frac{0,0763}{0,1893} = R_t = 0,4028 \text{ (m}^2\text{.K)/W}$$

O valor determinado anteriormente corresponde à resistência térmica das camadas que compõem a vedação, sem contar com as resistências térmicas superficiais interna e externa do ar.

■ *Resistência térmica total da vedação de ambiente a ambiente* - Existe uma pequena variação da resistência superficial do ar pelo projeto da NBR 15220  $R_{si} = 0,13(m^2.K)/W$  e a correspondente da norma espanhola  $1/h_i = 0,11 (m^2.K)/W$ . De forma análoga, as resistências superficiais externas são  $R_{se} = 0,04(m^2.K)/W$  pela norma brasileira e  $1/h_e = 0,06(m^2.K)/W$  pela norma espanhola. Na consideração das resistências de ambiente a ambiente, o somatório das resistências superficiais em vedações verticais é igual nas duas normas, portanto a resistência térmica é:

$$R_T = R_{si} + R_t + R_{se} = 0,13 + 0,4028 + 0,04 = 0,5728 (m^2.K)/W$$

A partir da resistência térmica pode-se determinar a transmitância térmica para saber se esta vedação satisfaz ou não as normas de desempenho térmico.

■ *Transmitância térmica* - A transmitância térmica é o fluxo de calor incidente que passa por uma vedação em um metro quadrado desta, quando se aumenta um grau a temperatura.

$$U = \frac{1}{R_T} = \frac{1}{0,5728} = 1,75 \text{ W}/(m^2.K)$$

Este valor deve estar abaixo do estabelecido para esta zona bioclimática, segundo as normas NBR-15220 e NBE-CT-79. Na tabela 4.3 estão listados os valores das transmitâncias máximas admissíveis por ambas as normas. A norma brasileira admite transmitância para vedações leves  $\leq 3,00 \text{ W}/m^2K$  e a norma espanhola admite  $\leq 1,80 \text{ W}/m^2K$  para vedações pesadas. O valor encontrado para a transmitância térmica de  $1,75 \text{ W}/m^2K$ , satisfaz ambas as normas.

■ *Capacidade térmica da parede* - Como as vedações são compostas faz-se necessário o cálculo da capacidade térmica para as diferentes seções

transversais. Os valores limites para a capacidade térmica de vedações podem ser encontrados no projeto de norma de Desempenho de Edifícios Habitacionais de até 5 pavimentos – parte 4: fachadas, conforme mostrado na tabela 4.6.

Tabela 4.6 – Valores mínimos de capacidade térmica para vedações – Projeto de norma Desempenho de Edifícios Habitacionais de até 5 pavimentos

Nível de desempenho mínimo	Capacidade térmica (CT, em kJ/(m <sup>2</sup> .K))	
		Zona 8
	≥ 45	≥ 130

A capacidade térmica de uma vedação heterogênea é determinada a partir da capacidade térmica das diferentes seções que a compõe. Desta maneira, o cálculo da capacidade térmica apresentado pela norma brasileira é similar ao de resistência térmica, e é apresentado a seguir:

**Seção AA** (reboco + câmara de ar + GRC + argamassa colante + plaqueta cerâmica):

$$A_a = \text{base} \times \text{altura} = 0,01 \times 0,19 = 0,0019 \text{ m}^2$$

$$C_{Ta} = \sum_{i=1}^5 e_i \cdot c_i \cdot \rho_i$$

$$C_{Ta} = (e.c.\rho)_{\text{reboco}} + (e.c.\rho)_{\text{ar}} + (e.c.\rho)_{\text{GRC}} + (e.c.\rho)_{\text{arg.colante}} + (e.c.\rho)_{\text{plaqueta}}$$

$$C_{Ta} = 0,2 \times 1 \times 2000 + 0 + 0,012 \times 1 \times 2000 + 0,005 \times 1 \times 2000 +$$

$$0,015 \times 0,92 \times 1600 = 458 \text{ kJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

**Seção BB** (reboco + concreto + câmara de ar + GRC + argamassa colante + plaqueta cerâmica):  $A_b = 0,025 \times 0,19 = 0,0048 \text{ m}^2$

$$C_{Tb} = \sum_{i=1}^6 e_i \cdot c_i \cdot \rho_i = (e.c.\rho)_{\text{reboco}} + (e.c.\rho)_{\text{concreto}} + (e.c.\rho)_{\text{ar}} + (e.c.\rho)_{\text{GRC}} + (e.c.\rho)_{\text{arg.colante}} + (e.c.\rho)_{\text{plaqueta}}$$

$$C_{Tb} = 0,02 \times 1 \times 2000 + 0,19 \times 1 \times 2400 + 0 + 0,012 \times 1 \times 2000 + 0,005 \times 1 \times 2000 + 0,015 \times 0,92 \times 1600 =$$

$$C_{Tb} = 552 \text{ kJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

**Seção CC** (reboco + concreto + câmara de ar + concreto + câmara de ar + GRC + colante + plaqueta cerâmica):

$$A_c = 0,1575 \times 0,19 = 0,03 \text{ m}^2$$

$$C_{Tc} = \sum_{i=1}^8 e_i \cdot c_i \cdot \rho_i = (e.c.\rho)_{reboco} + (e.c.\rho)_{concreto} + (e.c.\rho)_{ar} + (e.c.\rho)_{concreto} + (e.c.\rho)_{ar} + (e.c.\rho)_{GRC} + (e.c.\rho)_{arg\ colante} + (e.c.\rho)_{plaqueta}$$

$$C_{Tc} = 0,02 \times 1 \times 2000 + 0,025 \times 1 \times 2400 + 0 + 0,025 \times 1 \times 2400 + 0 + 0,012 \times 1 \times 2000 + 0,005 \times 1 \times 2000 + 0,015 \times 0,92 \times 1600 = 216 \text{ kJ}/(\text{m}^2.\text{K})$$

Desta forma, a capacidade térmica da parede heterogênea pode ser obtida pela ponderação das capacidades térmicas e correspondentes áreas das seções calculadas anteriormente:

$$C_T = \frac{\frac{A_a + 3x A_b + 2x A_c}{C_{Ta} + \frac{3x A_b}{C_{Tb}} + \frac{2x A_c}{C_{Tc}}} = \frac{0,0019 + 3 \times 0,0048 + 2 \times 0,03}{\frac{0,0019}{458} + \frac{3 \times 0,0048}{552} + \frac{2 \times 0,03}{216}} = \frac{0,0763}{0,0003} = C_T = 248 \text{ kJ}/(\text{m}^2.\text{K})$$

O valor de 248 kJ/(m<sup>2</sup>.K) satisfaz o projeto de norma para esta zona bioclimática, já que esta fixa valor mínimo de 130 kJ/(m<sup>2</sup>.K).

■ *Atraso térmico* - O atraso térmico é o período correspondente entre a defasagem das amplitudes de temperaturas interna e externa de uma edificação em horas. Em vedações homogêneas, pode ser determinado pela seguinte expressão apresentada pela NBR 15220:

$$\varphi = 1,382 \cdot e \cdot \sqrt{\frac{\rho \cdot c}{3,6 \cdot \lambda}}$$

Nas vedações compostas, com câmara de ar interna, a camada exterior é determinante no desempenho térmico das camadas internas, conforme pode ser obtido pela seguinte fórmula:

$$\varphi = 1,382 \cdot R_1 \cdot \sqrt{B_1 + B_2}$$

Onde B<sub>0</sub>, B<sub>1</sub> e B<sub>2</sub> são determinados pelas seguintes expressões:

$$B_0 = CT - C_{\text{Text}} = 224 - 0,015 \times 0,92 \times 1600 = 202$$

$$B_1 = 0,226 \cdot \frac{B_0}{R_t} = 0,226 \cdot \frac{202}{0,5728} = 79,7$$

$$B_2 = 0,205 \cdot \left( \frac{(\lambda \cdot \rho \cdot c)_{\text{ext}}}{R_t} \right) \cdot \left( R_{\text{ext}} - \frac{R_t - R_{\text{ext}}}{10} \right)$$

$$B_2 = 0,205 \cdot \left( \frac{(0,90 \times 1600 \times 0,92)_{\text{ext}}}{0,5728} \right) \cdot \left( \frac{0,015}{0,90} - \frac{0,5728 - \left( \frac{0,015}{0,90} \right)}{10} \right) = -18,5$$

Neste caso, B2 é desconsiderado, pois resultou em valor negativo, fazendo com que o atraso térmico seja dado por:

$$\varphi = 1,382 \cdot R_t \cdot \sqrt{B_1 + B_2} = 1,382 \times 0,5728 \cdot \sqrt{79,7} = 7,06 \text{ horas}$$

O valor determinado não satisfaz o projeto de norma para esta zona bioclimática, já que esta fixa valor máximo de 4,3 horas. Uma alternativa para que o atraso térmico da vedação satisfaça a norma é a incorporação de um núcleo isolante, pois o atraso térmico é função da resistência e da capacidade térmica. Quanto maior for a resistência térmica e menor for a sua capacidade térmica, menor será o atraso térmico.

#### 4.2 CÁLCULO DE TRANSMITÂNCIA TÉRMICA GLOBAL

Outro fator que possibilita aumentar a eficiência energética de uma edificação é a transmitância térmica global ( $U_e$ ), cujo objetivo está em equilibrar as transmitâncias dos diversos componentes do edifício, a fim de limitar os ganhos e perdas de calor. Para a determinação da transmitância térmica global adotou-se o modelo de cálculo apresentado pela NBE-CT-79, tendo em vista que a NBR-15220 não apresenta um modelo de cálculo para a sua determinação. A NBE-CT-79 busca reduzir os gastos energéticos através de uma restrição no desempenho térmico global do edifício, possibilitando o cálculo das transmitâncias para as vedações verticais, coberturas e pisos, multiplicados pelos correspondentes coeficientes corretivos.

A referida norma faz distinção entre as vedações verticais, coberturas e pisos, discriminando coeficientes de correção para cada tipo. As vedações são

ainda subdivididas entre fechamentos em contato com o exterior e em contato com outros edifícios ou locais sem aquecimento. Na planilha de cálculo, o projetista soma as áreas de paredes, esquadrias, coberturas e pisos, assumindo valores para coeficientes de minoração das transmitâncias térmicas dependendo do tipo de fechamento. A equação a seguir, mostra a resolução do  $U_G$ .

$$U_G = \frac{\Sigma A_V \times U_V + 0,8 \Sigma A_C \times U_C + 0,5 \Sigma A_P \times U_P}{\Sigma A_V + \Sigma A_C + \Sigma A_P},$$

onde:  $A_V$  é a área de vedação vertical

$A_C$  é a área de cobertura

$A_P$  é a área de piso

$U_V$  é a transmitância da vedação vertical

$U_C$  é a transmitância da cobertura

$U_P$  é a transmitância do piso

Em seguida deve-se calcular o fator de forma da edificação. A fórmula para o cálculo do fator de forma é dada a seguir.

$$\text{Fator de forma } f = \frac{\text{Área Total}}{\text{Volume Total}}$$

Onde: área em  $m^2$

volume em  $m^3$

Ao final, deve-se encontrar um valor de  $U_G$  que seja inferior à transmitância global máxima ( $U_{GM}$ ) estabelecida pela norma. Este valor deve ser inferior à transmitância térmica global máxima admissível. A norma espanhola estabelece valores de transmitância térmica global para os fatores de forma  $f \leq 0,25$  e  $\geq 1,00$ . Os valores intermediários serão calculados através da fórmula a seguir:

$$U_{GM} = a (3 + 1/f)$$

Onde (  $f$  ) é o fator de forma dado pela relação entre a superfície total da envolvente e o volume da edificação. O coeficiente (  $a$  ) é função da zona climática



e do tipo de calefação, cujos valores são vistos na tabela 4.7. Observa-se aqui uma preocupação maior do edifício com a condição de inverno e uma tendência de critérios mais rigorosos para edifícios menos compactos, com fator de forma mais elevado. Por exemplo, têm-se duas edificações A e B com áreas de 100m<sup>2</sup> e 200m<sup>2</sup> e pé-direito de 6m e 3m respectivamente. As duas possuem o mesmo volume de 600m<sup>3</sup>. Aplicando a fórmula do fator de forma, tem-se que:

$$\text{Edificação A } f = \frac{\text{Área Total}}{\text{Volume Total}} = \frac{100\text{m}^2}{600\text{m}^3} = 0,16$$

$$\text{Edificação B } f = \frac{\text{Área Total}}{\text{Volume Total}} = \frac{200\text{m}^2}{600\text{m}^3} = 0,33$$

No exemplo A,  $f$  é menor que 0,25, portanto o valor máximo admissível de transmitância térmica global é retirado diretamente da tabela 4.8. Neste caso, o  $U_{GM}$  é igual a 2,45 (W/m<sup>2</sup>K). No exemplo B, o fator de forma é maior que 0,25 e menor que 1,00. Em função do coeficiente correspondente à zona climática (A) da tabela 4.7, acha-se o novo valor de  $U_{GM} = 2,11$ (W/m<sup>2</sup>K).

Tabela 4.7 – Coeficiente  $a$  em (W/m<sup>2</sup>K), extraída da norma NBE-CT-79

Tipo de energia para calefação	Zona climática segundo o mapa 1 do anexo				
	A	B	C	D	E
Caso II: edificios sem calefação	0,35	0,23	0,17	0,15	0,13

Tabela 4.8 – Valores limites máximos de  $U_G$ , em (W/m<sup>2</sup>K), extraídos da norma NBE-CT-79

Tipo de energia para calefação	Fator de forma $f$	Zona climática segundo o mapa 1 do anexo				
		A	B	C	D	E
Caso II: edificios sem calefação	$\leq 0,25$	2,45	1,61	1,19	1,05	0,91
	$\geq 1,00$	1,40	0,92	0,68	0,80	0,52

A edificação B possui valor menor de transmitância admissível, pois apresenta maior área de cobertura, podendo favorecer o aumento da passagem do fluxo de calor e menor altura, possibilitando que o ar quente fique mais perto dos usuários do edifício. Observa-se então, que edifícios que possuam menor área construída e/ou maior volume podem ter transmitâncias térmicas globais admissíveis maiores que edificações mais extensas e/ou com menor volume.

#### 4.2.1 Exemplo de cálculo da transmitância térmica global

Para exemplificar o cálculo da transmitância térmica global tomam-se novamente as fachadas da Faculdade de Odontologia. A edificação conta com uma área de 4090m<sup>2</sup> no térreo e com uma altura de 14,5m. O volume total do edifício é de 59305m<sup>3</sup>. A tabela 4.9 mostra as áreas dos diferentes fechamentos das fachadas deste edifício e a tabela 4.10 ilustra justificativa de cálculo da transmitância global U<sub>G</sub> deste edifício.

Tabela 4.9 – Somatório das áreas do edifício da Faculdade de Odontologia.

Tipo de fechamento	Área de fachada (m <sup>2</sup> )				Total (m <sup>2</sup> )
	Norte	Sul	Leste	Oeste	
Painel <i>stud frame</i>	56,8	55,3	176	-	288,1
Painel sanduíche	408	408	348	302	1466
Esquadria de alumínio + vidro comum de 3mm	183	183	546	641	1553
Estrutura concreto	28	28	182	182	420
Cobertura	4090				4090
Piso	4090				4090

Tabela 4.10 – Justificativa de cálculo da transmitância global U<sub>G</sub> do edifício da Faculdade de Odontologia. Tabela adaptada da NBE-CT-79.

Elemento construtivo		Área (m <sup>2</sup> )	Coef. U (W/m <sup>2</sup> K)	A x U (W/m <sup>2</sup> K)	Coef. correção n	n . ΣA . U (W/m <sup>2</sup> K)
Fechamentos em contato com o exterior	Painéis sanduíche	1466	0,37	648	1	648
	Painéis <i>stud frame</i>	288	1,75	258		258
	Estrutura concreto	420	3,50	935		935
	Esquadrias	1553	5,80*	7963		7963
Fechamento de cobertura	Laje de cobertura	4090	2,91**	11902	0,8	9522
Fechamento com o terreno	Contrapiso	4090	3,38**	13824	0,5	6912
Σ Total		11907				26238

Nota:

\*O valor da transmitância térmica de esquadrias foi retirado da tabela 2.12 do anexo 2 da norma espanhola.

\*\* Valor calculado conforme camadas e espessuras dos materiais constituintes da cobertura e do contrapiso estabelecidos no projeto.

$$\text{Fator de forma } f = \frac{\text{Área Total}}{\text{Volume Total}} = \frac{11907}{56851} = 0,21 \text{ m}^{-1}$$

Não é necessário calcular o U<sub>GM</sub>, pois o valor do fator de forma f é inferior a 0,25.

$$U_G \text{ edifício} = \frac{26238}{11907} = 2,20 \text{ (W/m}^2\text{K)}$$

Para que o edifício satisfaça a norma espanhola, o valor da transmitância térmica global da edificação UG não deve ultrapassar os valores estabelecidos na tabela 4.8. Observa-se que este edifício satisfaz a NBE-CT-79, pois o valor da transmitância global do edifício encontrado de 2,20 (W/m<sup>2</sup>K) é inferior ao valor estabelecido pela norma, que neste caso é de 2,45 (W/m<sup>2</sup>K).

#### 4.3 OS EFEITOS DA UMIDADE NOS PAINÉIS DE FACHADA

Os materiais formados por matriz cimentícia apresentam poros interconectados através dos quais é possível o transporte de líquidos e gases (figura 4.5). As moléculas que formam as superfícies dos poros na matriz cimentícia atraem as moléculas de vapor de água devido às características de suas ligações químicas. A espessura da camada de água que se forma na superfície dos poros depende do seu teor de umidade interior.

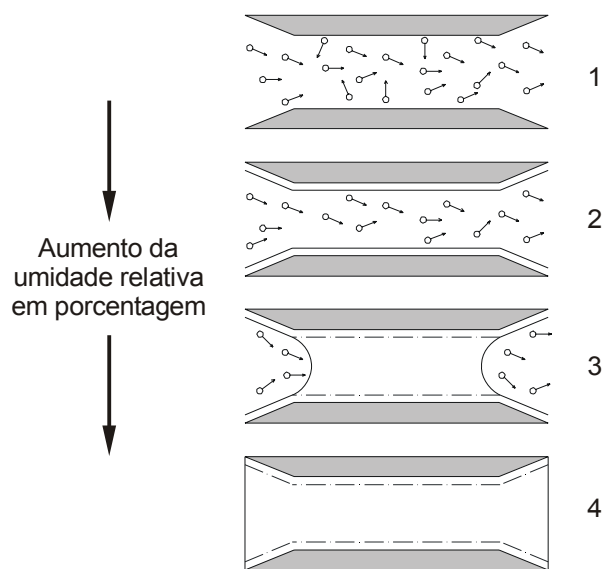


Figura 4.5 - Efeito de adsorção, difusão e condensação do vapor de água em função da umidade nos poros abertos. (QUENARD E SALLEE, 1992).

No modelo proposto por Quenard e Sallee são estabelecidas quatro fases:

- *Monocamada de adsorção com difusão de vapor* (1) – Essa fase é resultado da interação entre as moléculas de vapor de água e a superfície dos poros do material.

- *Multicamadas de adsorção com difusão de vapor e difusão superficial (2)* - As moléculas bipolares da água são atraídas pelas moléculas das superfícies dos poros, formando uma película de adsorção. O fluxo de umidade se realiza através do estado de vapor e através do fluxo superficial em estado líquido.
- *Condensação / Evaporação (3)* - Nesta fase existe um equilíbrio dinâmico, onde ocorre a condensação, que é função da pressão de vapor de água e do diâmetro do poro, e também a evaporação das partículas de água que estão preenchendo parcialmente os vazios capilares.
- *Saturação com fluxo em fase de condensação (4)* – os poros interconectados do material se encontram totalmente saturados. Nesta fase é possível o transporte de sais e agentes poluentes.

#### 4.3.1 Variações dimensionais dos painéis por variação de umidade

A umidade contida em um ambiente é função de fatores que compõem o micro-clima de uma região, tais como: o regime de chuvas, ventos, tipo de vegetação, que podem variar durante o ano. A umidade do ar também pode apresentar variações durante as horas do dia em função da radiação solar incidente, das temperaturas e das características do entorno.

À medida que a temperatura do ar se eleva, aumenta sua capacidade de conter vapor de água. O conteúdo de vapor de água é proporcional à pressão do vapor e das temperaturas, conforme pode ser observado no ábaco psicrométrico<sup>16</sup> da figura 8.3 do anexo. Quando as temperaturas do ar baixam de maneira significativa se produzem condensações do vapor de água excedente no ar que se depositam sobre as superfícies verticais e horizontais.

---

<sup>16</sup> Ábaco utilizado para se determinar a temperatura de bulbo seco (em °C), ou a umidade absoluta (em g/Kg de ar seco) ou ainda a umidade relativa (em porcentagem), apresentado no anexo 8.3.

A água que penetra nos vazios da matriz cimentícia produz modificações dimensionais na sua estrutura. A água nos capilares produz tensões internas responsáveis pela expansão da matriz cimentícia. Por outro lado os painéis perdem água por evaporação e reduzem suas dimensões quando expostos a ambientes secos.

Os painéis com matriz cimentícia levam uma quantidade de água superior ao necessário à hidratação do cimento em seu processo de fabricação. Esta água excedente tende a evaporar durante a fase de cura da matriz, onde as reações exotérmicas elevam as temperaturas e aceleram o processo de evaporação. Esta perda de água continua durante a fase de endurecimento do concreto e se prolonga até que o teor de umidade do painel esteja em equilíbrio com o ambiente externo (BARTH, 1997). As variações dimensionais dos painéis são de dois tipos em função da variação de umidade: retração inicial, que é irreversível e acontece durante a fase de cura do compósito e a retração e expansão reversíveis, que representam as perdas ou ganhos dos conteúdos de água em função das variações do teor de umidade do ambiente em que se encontram.

A avaliação das variações dimensionais máximas em função do teor de umidade é necessária para permitir o correto dimensionamento das juntas abertas e seladas, para que a movimentação dos painéis, frente às ações a que estão expostos nas fachadas, não prejudique os painéis e os selantes. Estas variações ocorrem conjuntamente com as variações das amplitudes térmicas. No entanto, estes efeitos são considerados isoladamente. A variação dimensional máxima provocada pelas mudanças do teor de umidade do ar pode ser calculada a partir das dimensões do painel e do coeficiente de expansão e retração, que pode ser obtido mediante ensaios laboratoriais de imersão em água e secagem em estufa.

$$\Delta l = l \times C$$

onde:  $\Delta l$  - é a variação dimensional, em milímetros

$l$  - é a maior dimensão, em metros

$C$  - é o coeficiente de expansão por umidade, em mm/m

Para o GRC, o valor médio do coeficiente de expansão por umidade varia entre, 0,6 mm/m a 1 mm/m, dependendo das proporções da mistura do compósito, (BARTH, 1997).

#### 4.3.2 Riscos de condensações

As vedações dos painéis pré-fabricados em concreto ou em GRC são porosas e permeáveis à passagem de vapor de água. Como algumas construções podem estar em regiões consideradas frias, existe a possibilidade de ocorrer condensações superficiais e intersticiais nas vedações em função dos contrastes de temperatura interior e exterior nas situações de inverno.

Como a NBR 15220 não aborda o desempenho higro-térmico das vedações, utilizou-se o método de cálculo da norma espanhola NBE-CT-79 com os dados locais determinados pelo programa computacional, Analysis Bio. As temperaturas médias mínimas para a cidade de Porto Alegre, onde estão localizados os estudos de caso, são de 10,7°C nos meses de junho e julho. A NBE-CT-79 estabelece as temperaturas internas, tabela 4.11, umidade relativa interna de 75% e a umidade externa de 95%.

Tabela 4.11 – temperatura do ambiente interior. Norma NBE-CT-79

Edifício ou local	Temperatura mínima seca (°C)
Residências, ensino, comércio e cultura	18
Salas de espetáculos, ginásios e trabalho leve	15
Locais de trabalho pesado	12
Espaço para armazenamento em geral	10

As temperaturas são calculadas em função das diferenças de temperaturas interna e externa, e das resistências térmicas de cada camada da parede. A transferência do vapor de água é função da diferença de pressão do meio interno e externo, e da resistividade ao vapor de água de cada camada:

$$\Delta P_{vn} = (P_{vi} - P_{ve}) e_n r_{vn} / R_{vT}$$

onde:

$\Delta P_{vn}$  – diferença de pressão na camada n

$P_{vi}$  – pressão no ambiente interno

$P_{ve}$  – pressão no ambiente externo

$e_n$  – espessura da camada n

$r_{vn}$  – resistividade ao vapor da camada n

$R_{vT}$  – resistência total da parede ao vapor

Este cálculo também pode ser realizado em função das diferenças entre os conteúdos de água do meio interno e externo. Conhecendo-se as temperaturas em cada camada da vedação e os respectivos conteúdos de vapor de água, é possível determinar a temperatura de condensação para cada camada através do ábaco psicrométrico, figura 8.4 do anexo.

Quando ocorre a intersecção entre os gradientes de temperatura do ar das camadas e as respectivas temperaturas de condensação intersticial, surge o risco de condensação nestes locais. Estas condensações intersticiais, por não serem facilmente detectadas, podem gerar condições favoráveis ao desenvolvimento de microorganismos e futuros problemas de umidade nas vedações.

A cidade de Porto Alegre está situada na latitude de 30° sul e altitude de 46,97m. Pelo mapa 1 da norma, a cidade que mais se aproxima destas condições é Santa Cruz de Tenerife, que está situada em uma ilha do oceano atlântico na latitude 28°50'N. O mapa 2 desta norma fixa o valor da temperatura mínima de 10°C a ser usada no cálculo das condensações, para esta região.

■ *condensação intersticial* – A diferença de temperatura que uma determinada camada produz na vedação é função do produto entre a sua resistência térmica ( $R_n$ ) e a diferença de temperatura que a vedação gera ( $\Delta t$ ), dividido pela resistência térmica total da vedação ( $R_T$ ).

$$\Delta t_n = \frac{R_n \times \Delta t}{R_T}$$

Para o caso específico de Porto Alegre a temperatura externa é de 10,7°C e a temperatura interna é de 18°C, por se tratar de um edifício institucional, portanto:

$$\Delta t = T_{\text{externa}} - T_{\text{interna}} = 18 - 10,7 = 7,3^\circ\text{C}$$

A resistência térmica total da vedação ( $R_T$ ) inclui as resistências de todas as camadas desta, bem como a adição das resistências superficiais do ar, interna e externa (ver item 4.1.1). Em vedações compostas não se deve tomar o valor da resistência térmica total pela ponderação, uma vez que este cálculo cria uma distribuição dos valores. Os cálculos dos gradientes de temperatura e da

permeabilidade da vedação ao vapor de água são realizados por camadas, portanto devem ser realizados para todas as seções a fim de verificar se há risco de condensação em alguma seção. No caso de utilizar as camadas de uma determinada seção e a resistência total ponderada, deve-se estar atento aos resíduos de cálculo, que deverão ser direcionados convenientemente. Como exemplo toma-se a vedação do mesmo edifício do item anterior. Escolheu-se a seção CC por representar 80% da vedação e por possuir uma câmara de ar a mais que as outras seções. A tabela 4.12 mostra a diferença de temperatura entre as camadas da vedação.

Seção CC (Rsi + reboco + concreto+ câmara de ar + concreto + GRC + câmara de ar + argamassa colante + plaqueta cerâmica+ Rse):

Tabela 4.12 – Diferença de temperatura das camadas da vedação (°C)

Camada	Rsi	reboco	conc	Ar	conc	Ar	GRC	Arg colante	Plaqueta cerâmica	Rse
$\Delta t$ °C	1,62	0,22	0,18	2,11	0,18	2,11	0,13	0,05	0,2	0,5

Resistência à passagem de vapor de água – de maneira análoga à resistência térmica, esta resistência segue o mesmo princípio. Para uma vedação executada com um mesmo material, quanto maior for a espessura da camada, maior será a resistência à passagem ao vapor de água (tabela 4.13). Esta resistência é dada por:

$$R_v = \delta x e,$$

onde:  $\delta$  - é a permeabilidade ao vapor de água  
 $e$  - é a espessura da camada em metros

$$R_{\text{reboco}} = \delta x e = \frac{30MN_s}{gm} x 0,02m = \frac{0,6MN_s}{g}$$

Tabela 4.13 – Resistência à passagem ao vapor de água da vedação, em MNs/g (NBE-CT-79)

Camada	reboco	conc	conc	GRC	Arg colante	Plaqueta cerâmica
Resistência	0,6	1,50	1,50	0,36	0,50	1,20

A permeabilidade ao vapor de água de cada componente da vedação está em função da resistência à passagem de vapor de água, das temperaturas interna e externa também das umidades relativas interna e externa.



$$\Delta C_n = \frac{R_{vn} \cdot x \Delta C}{R_{VT}}$$

Para estabelecer a contribuição no rebaixamento da temperatura de cada componente da vedação, faz-se necessária a determinação das temperaturas interna e externa do ar, com as suas respectivas umidades relativas. A temperatura externa do ar é de 10,7°C, com umidade relativa do ar em 95% e a temperatura de orvalho na superfície da parede é de 18°C, com umidade relativa interna de 75%. Pelo ábaco psicrométrico acha-se a temperatura de orvalho interna, que é de 13,48°C e a umidade absoluta C1 = 9,63 g/kg de ar seco; e temperatura de orvalho externa, que é de 9,91°C e a umidade absoluta C2 = 7,55 g/kg de ar seco, conforme ilustrado no gráfico 4.6.

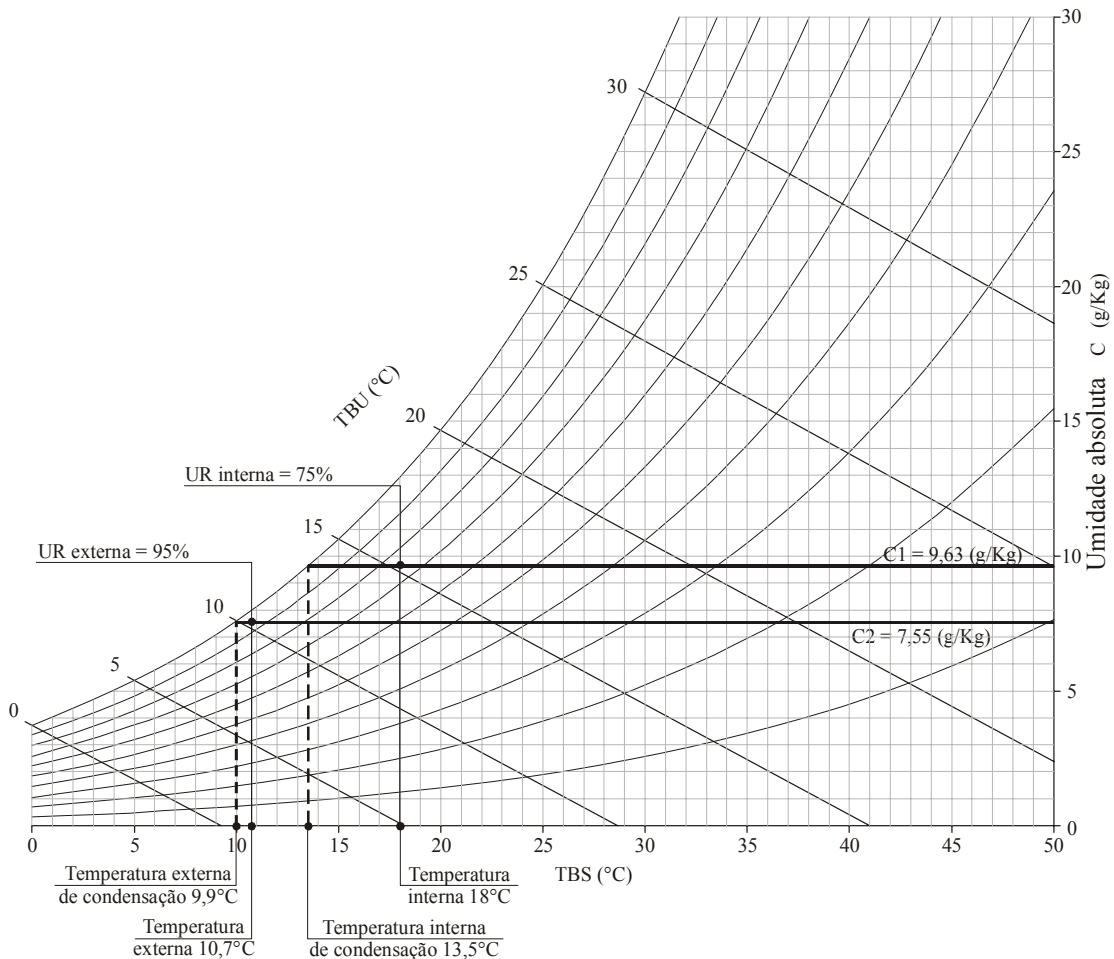


Figura 4.6 – Ábaco psicrométrico mostrando as temperaturas do ar e de condensação (ANALYSIS BIO)

Seção Ac – mais representativa - (reboco + concreto + concreto + GRC + argamassa adesiva + plaqueta cerâmica):

$$\Delta C = 9,63 - 7,55 = 2,08 \text{ g/Kg.}$$

Tabela 4.13 – permeabilidade ao vapor de água da vedação (g/Kg)

Camada	reboco	conc	conc	GRC	Arg colante	Plaqueta cerâmica
$\Delta C$	0,6	0,44	0,44	0,1	0,15	0,35

Os valores da tabela 4.13 são registrados no ábaco psicrométrico no intervalo entre (7,55 a 9,63) g/Kg, que é a diferença total de umidade da vedação. Em seguida são encontradas as temperaturas de condensação para cada camada, com umidade relativa igual a 100%. A figura 4.7 ilustra o resultado para esta vedação.

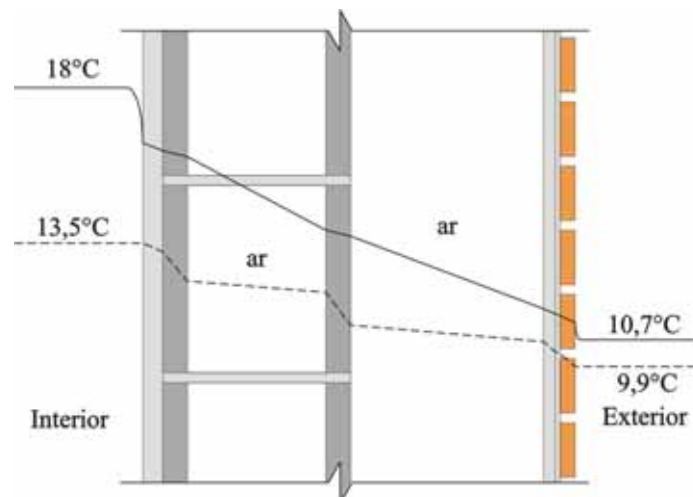


Figura 4.7 – Seção da vedação com blocos de concreto e painéis tipo *stud frame* ilustrando a diminuição das temperaturas do ar.

A linha contínua representa as temperaturas do ar de bulbo seco e a linha tracejada representa as temperaturas de condensação. Observa-se que neste caso não há o risco de condensação intersticial na vedação, pois não existe cruzamento de linhas.

#### 4.4 ISOLAMENTO ACÚSTICO

O tratamento acústico dos edifícios é de grande complexidade e compreende o isolamento acústico proporcionado pelas vedações e o condicionamento acústico dos ambientes. Através do isolamento acústico procura-

se evitar a penetração ou a saída de sons aéreos e sons de impacto em um determinado ambiente. Os níveis sonoros dos ambientes são determinados de acordo com a NBR 10152. No entanto, para a determinação dos índices de isolamento que as fachadas podem proporcionar recorreu-se a norma espanhola NBE-CA-88 (condiciones acústicas en los edificios) e ao projeto de norma de desempenho de edifícios habitacionais até 5 pavimentos, pois estas tratam do isolamento acústico global das fachadas e fornecem valores mínimos de isolamento acústico.

A norma NBR-10152 não foi utilizada, pois esta exige que a determinação do isolamento acústico seja realizada em campo. Esta medição leva em consideração muitas variáveis, tais como: isolamento de paredes internas, piso, forro e seus coeficientes de absorção sonora. Neste caso, mede-se o nível de pressão sonora do ambiente interno, sendo que um dos objetivos do trabalho é a determinação da perda de transmissão da vedação externa.

A NBE-CA-88 estabelece que o isolamento acústico em fachadas deve ser de no mínimo 30dB(A). O projeto de norma brasileira estabelece que as fachadas devem possuir uma diferença ponderada de nível sonoro com o exterior e apresenta três níveis de desempenho com seus respectivos isolamentos, que são: mínimo (M), superior (S) e elevado (E), sendo os isolamentos mínimos exigidos de 35dB, 40dB e acima de 45dB, respectivamente. Para edificações que estejam situadas junto a vias de tráfego intenso, os valores devem ser acrescidos em 5dB.

Nas vedações tem-se a incidência dos dois tipos de sons: o aéreo que é produzido e transmitido através do ar e diminui com a distância ao quadrado onde é recebida ou realizada a medição; e o de impacto, que é produzido sobre um corpo sólido e transmitido através do ar. O isolamento acústico para os sons aéreos nas fachadas de uma edificação deve o suficiente para gerar privacidade aos usuários e para a realização de tarefas diversas, como repouso, atividades intelectuais, dentre outras. A maior fonte de ruído nas cidades é gerada pelo tráfego de veículos. Barnes (1980) apresenta o nível médio de níveis sonoros para veículos automotivos, medidos a partir de 7 metros de distância dos mesmos, sendo que os valores são apresentados na tabela 4.14.

Tabela 4.14 – Nível de pressão sonora produzido por veículos (BARNES, 1980)

Tipo de veículo	Nível sonoro produzido, em dB(A)
Motocicleta	76
Automóvel de passeio	77
Veículo de transporte público	86
Veículos pesados acima de 3,5 t	85

Por sua vez, Knudsen e Harris (1950) mostram, pela figura 4.8, o aumento do nível sonoro pelo incremento do número de automóveis que circulam por minuto em uma via, podendo-se fazer projeções futuras do ruído aéreo provocado pelo tráfego de veículos para novos edifícios.

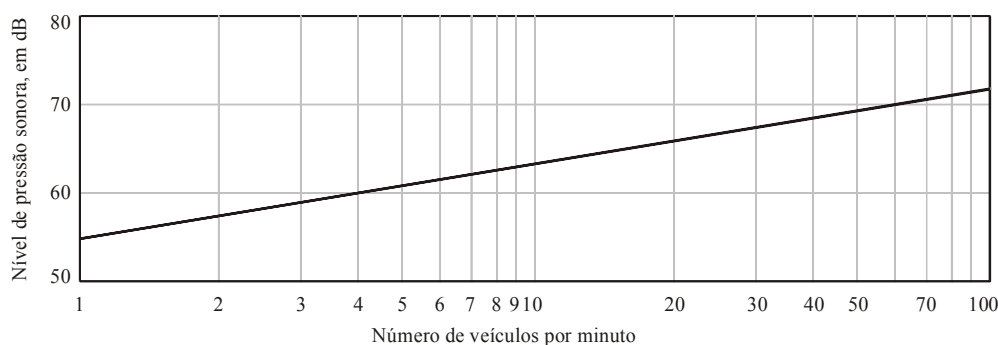


Figura 4.8 – Relação entre o nível de pressão sonora e o número de veículos por minuto (KUNDSSEN e HARRIS, 1950).

A magnitude da sensação sonora não é percebida somente em função da sua intensidade em dB, mas também em função da sua freqüência. O ouvido humano é mais sensível às altas freqüências. Para isto, busca-se compensar as diferenças de sensibilidade que o ouvido humano apresenta para as diversas freqüências do campo auditivo. Como correção, adotam-se curvas de audição obtidas por ensaios laboratoriais que modificam o sinal sonoro para cada faixa de freqüência, cujo gráfico mais utilizado é a curva de ponderação A, na qual se obtêm diretamente o valor da intensidade sonora em dB(A). Pela figura 4.9 observa-se que é necessário que o nível de intensidade sonora seja aumentado em 16 dB para uma freqüência de 125 Hz a fim de que seja detectado com a mesma sensação que uma freqüência de 1000 Hz

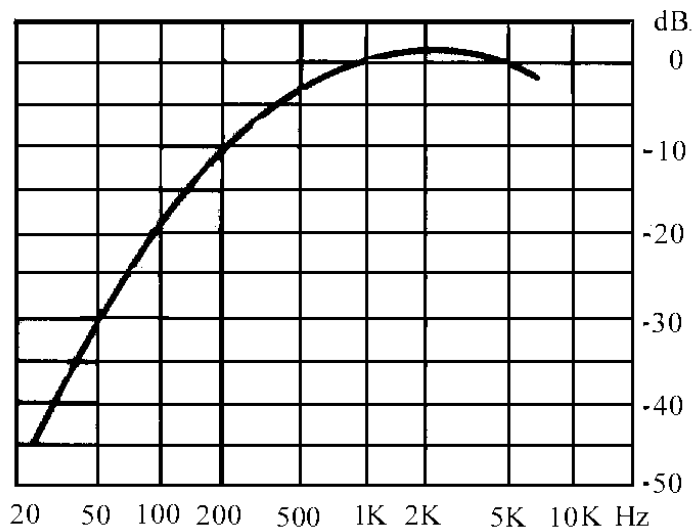


Figura 4.9- Curva de ponderação (A) obtida da NBE-CA-88

A norma espanhola fornece os valores da conversão das pressões sonoras entre dB e dB(A) para uma margem de freqüências de 125 a 5000 Hz, mostradas na tabela 4.15.

Tabela 4.15 – Compensação em dB(A) para freqüências entre 125 – 5000Hz (NBE-CT-88)

Freqüência em HZ	125	250	315	400	500	630	800	1000	1250	2000	2500	3150	4000	5000
Compensação em dBA	-16	-13	-6,6	-4,8	-3,2	-1,0	-0,8	0	0,6	1,2	1,3	1,2	1,0	0,5

Os níveis admissíveis de som aéreo nos ambientes podem também variar de acordo com os horários de utilização. As normas NB-CA-88 e NBR 10152 recomendam que alguns locais, como dormitórios e salas de estar, devem apresentar níveis de ruído aéreo admissíveis mais baixos em horários determinados. O isolamento acústico nestes ambientes pode ser conseguido por meio de vedações homogêneas ou heterogêneas.

O comportamento acústico de uma vedação, como transmissão, absorção e reflexão sonoras é função dos materiais que constituem esta vedação e das freqüências que incidem sobre estas.

#### 4.4.1 Isolamento acústico das vedações homogêneas

O isolamento acústico de uma vedação homogênea, não é igual para todas as frequências, sendo que para cada frequência pode-se determinar o isolamento acústico específico da vedação, conforme mostra a figura 4.10.

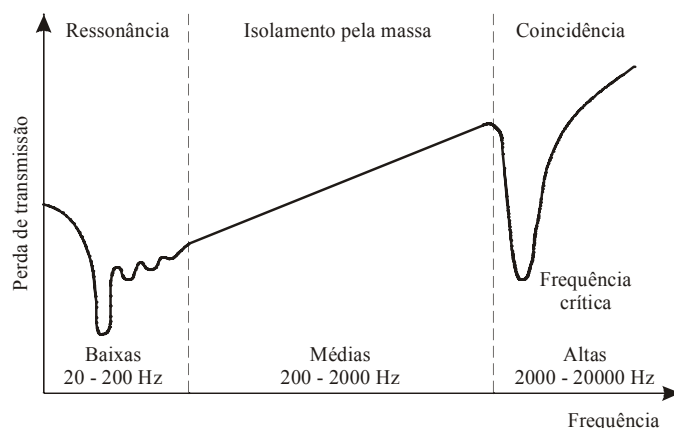


Figura 4.10 - Isolamento acústico de uma vedação homogênea em função das frequências em Hz (BARTH, 1997)

A frequência de ressonância é apresentada quando um corpo é atingido por uma onda sonora que o faz vibrar na mesma frequência da onda. Todo corpo possui uma ou mais frequências de ressonância, que quando excitadas causam um rebaixamento no isolamento acústico deste corpo, (DE MARCO, 1990).

Viveiros (2002), afirma que as vedações devem apresentar elevada massa e baixa rigidez. Uma vedação com alta rigidez diminui a distância entre a parte de ressonância e a parte de coincidência. Um exemplo para baixar a rigidez de uma vedação é adicionar uma camada de um material elástico, como por exemplo, borracha em pelo menos um dos lados da vedação para causar um amortecimento e aumentar o isolamento. Este tipo de solução é utilizado em estruturas do tipo sanduíche. O amortecimento só é efetivo na ressonância e coincidência, não demonstrando nenhum efeito visível na região de isolamento pela massa, (VIVEIROS, 2002).

De marco (1990) afirma que, ambientes que possuam componentes com grande absorção acústica, como forros acústicos, ou objetos fibrosos, como sofás, podem aumentar o isolamento acústico, devido à facilidade destes componentes de diminuir a reverberação do som, transformando a energia acústica incidente em

energia térmica. No entanto, o autor destaca que o isolamento produzido pela absorção é pequeno, porém pode-se aumentá-lo em até 10 dB com o uso de forros absorvedores acústicos em paredes refletoras. No caso do ambiente mobiliado, a contribuição do forro será de somente 3 dB. O valor de 3dB pode ser pouco, porém observa-se que pela lei da massa, para uma parede aumente o isolamento em 3dB é necessário aumentar sua massa em 50%.

Os valores do isolamento acústico de uma vedação homogênea devem ser determinados por meio de ensaios laboratoriais para se obter resultados precisos. No entanto, na falta destes dados sobre um determinado tipo de fechamento é importante que o projetista possa ter uma idéia do isolamento acústico durante a fase de projeto. A norma espanhola NBE-CA-88 estabelece duas fórmulas para se estabelecer o provável isolamento acústico de uma vedação, que é função da sua massa por unidade de superfície, sendo que a definição de qual fórmula usar está em função da massa da vedação e é apresentada a seguir:

$$\begin{aligned} m \leq 150 \text{ Kg/m}^2 & \quad R = 16,6 \log m + 2, \text{ em dBA} \\ m \geq 150 \text{ Kg/m}^2 & \quad R = 36,5 \log m - 41,5, \text{ em dBA} \end{aligned}$$

De outra parte, Viveiros (2002), apresenta uma fórmula para o cálculo do isolamento acústico de uma vedação homogênea que leva em consideração as frequências e é dada a seguir:

$$PT = [20\log(m.f)] - 47, \text{ em dB}$$

Onde,  $m$  = densidade superficial da vedação que é dada em  $\text{Kg/m}^2$   
 $f$  = frequência sonora incidente que é dada em Hz

Segundo a norma espanhola NBE-CT-79 não são levadas em consideração as frequências que incidem nas vedações. Somente obtém-se um valor geral do isolamento acústico, sem a preocupação de frequências que geram o “efeito de coincidência”. Este efeito é atingido quando a região do isolamento acústico controlada pela massa estende-se até uma frequência crítica, ou seja, é a menor frequência onde ocorre o menor isolamento acústico da vedação. A figura 4.11 (a) mostra o isolamento acústico de um painel em GRC em função da massa e a

figura 4.11 (b) ilustra o isolamento em função da frequência, com uma camada de 9mm de espessura e 18kg/m<sup>2</sup>.

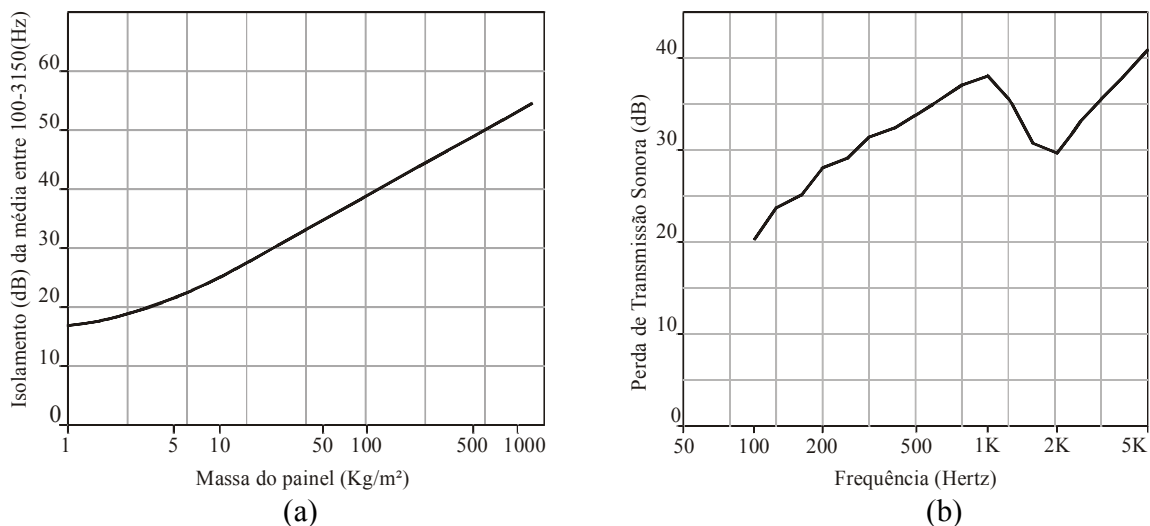


Figura 4.11 – Isolamento de um painel em GRC (a) em função de sua massa e (b) em função da frequência (CEM-FIL, 1996)

À medida que se dobra a massa, o isolamento é aumentado em 5dB. Da mesma forma, quando a frequência é dobrada, o isolamento acústico é elevado 5dB em média. Também fica claro que a frequência crítica para este compósito é por volta dos 2000Hz.

Pode-se efetuar a comprovação das fórmulas em dB e dB(A), assim como da compensação entre estas duas unidades na tabela 4.16, tendo como referência ensaios realizados por Cem-FIL (1996), para uma camada de 9mm em GRC, visto na figura 4.11 (b), com 18Kg/m<sup>2</sup>. As frequências escolhidas para os cálculos são as de 125, 250, 500 e 1000Hz, visto que neste caso o isolamento é proporcional à lei das massas. O GRC apresenta a frequência de coincidência em 2000Hz o que diminui seu isolamento e neste ponto não é controlado pela lei da massa.

Tabela 4.16 – Comparação entre os isolamentos acústicos

Tipo de cálculo	125	250	500	1000	média
Figura 4.11(b), em dB	23,3	28,9	33,8	38	31
*Compensação em dB(A)	7,3	20,3	30,6	38	24
PT = [20log(m.f)] - 47, em dB	20	26	32	38	29
*Compensação em dB(A)	4	19,4	28,8	38	22,5
R = 16,6 log m + 2, em dBA	-	-	-	-	23

Nota: \* valores obtidos da tabela 4.15



Observa-se que os valores calculados pela perda de transmissão (PT) são 6% inferiores em comparação aos reais valores retirados diretamente da figura, que foram ensaiados em laboratório. Nota-se que o resultado de 23 dB(A) encontrado pela fórmula fornecida pela NBE-CA-88 é mais preciso, sendo inferior cerca de 4% do valor determinado pela conversão de dB em dB(A) para os valores reais. Acredita-se os resultados sejam satisfatórios para o isolamento pela lei da massa, pois as fórmulas são simplificadas e os reais valores são obtidos por meio de ensaios em laboratório.

Estas fórmulas serão posteriormente utilizadas para a determinação do isolamento acústico global das fachadas, bem como se estas vedações satisfazem ou não a norma espanhola e o projeto de norma brasileira.

#### 4.4.2 Isolamento acústico das vedações compostas

Conforme visto no item anterior, quanto maior for a massa da vedação, maior será o isolamento acústico. No entanto, em situações em que seja necessário um elevado isolamento, contar somente com a massa das paredes pode diminuir o espaço interno na edificação, aumentar os custos de implantação, além de nem sempre ser de interesse na construção o aumento da massa das vedações para alcançar o isolamento acústico desejado. Nestes casos, pode-se dividir a vedação em duas ou mais camadas separadas entre si por uma câmara de ar ou por camadas de materiais isolantes. A separação muitas vezes não é absoluta em função de aspectos construtivos, como as amarrações, onde a vibração de uma camada produzida pela onda acústica é transmitida em maior ou menor grau às demais camadas. O isolamento acústico de vedações compostas por várias camadas de materiais distintos é de difícil determinação analítica, devido às diferentes uniões, onde os valores são freqüentemente fornecidos pelos fabricantes a partir de ensaios em laboratórios.

Para uma estimativa dos isolamentos acústicos das vedações utilizou-se um programa computacional chamado *Sound Insulation Prediction*, onde existem vários tipos de vedações com seus respectivos isolamentos. O usuário entra com

os dados de espessura e densidade da parede, módulo de elasticidade, espessura da câmara de ar e o tipo de material isolante e espessura deste, se for utilizado na vedação.

É difícil de se conseguir uma separação completa entre as camadas de uma vedação dupla, pois sempre existem elementos de ligação entre estas que transmitem o som de uma camada à outra. Existem dois tipos de uniões entre as vedações duplas: elástica e rígida. A união elástica em uma vedação composta por duas camadas de massas homogêneas separadas entre si por uma câmara de ar ou um dispositivo elástico, se comporta como um conjunto mecânico formado por duas massas,  $m_1$  e  $m_2$ , ligadas por uma mola de rigidez (figura 4.12 (a)). Esta mola absorve uma parte da vibração da primeira camada, sendo que a energia transmitida à outra camada e conseqüentemente ao interior da edificação, será menor, (BARNES, 1980).

Para as freqüências abaixo da freqüência de ressonância, a transmissão sonora da vedação composta se comporta como uma vedação simples de massa igual a soma das massas  $m_1$  e  $m_2$ . No entanto, a parede dupla possui um isolamento mais elevado que as paredes simples com a mesma massa, para as freqüências acima da freqüência de ressonância. Para evitar freqüências inconvenientes, deve-se dimensionar as camadas de forma que a freqüência de ressonância do conjunto esteja abaixo do domínio de freqüências que se desejam isolar acusticamente.

As uniões rígidas são realizadas quando as camadas estão ligadas por meio de quadros, como no caso de painéis do tipo *stud frame*. A transmissão neste tipo de vedação é mais complexa que uma parede simples, pois o som é transmitido à segunda camada por via aérea e pelas ancoragens. O isolamento acústico destas paredes pode ser muito diferente, dependendo da área de contato entre as duas camadas, conforme mostrado na figura 4.12(b). As vedações com uniões por pontos produzem menor área de contato que paredes com uniões com perfis, conseqüentemente o isolamento acústico da primeira será mais elevado, (BARNES, 1980).

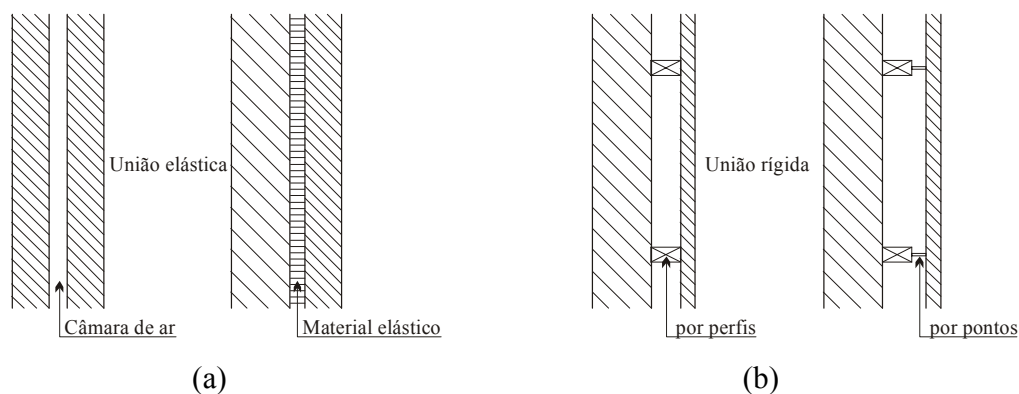


Figura 4.12 – Paredes duplas com (a) uniões elásticas e (b) uniões rígidas, (BARNES, 1980)

Segundo Morden Trade (1979), a espessura mínima para um isolamento acústico efetivo é de 100mm, com um máximo de 300mm. Valores abaixo de 100mm podem ser utilizados, porém a câmara com menos de 50mm, não apresenta um isolamento muito maior comparado com os vidros unidos sem câmara de ar.

#### 4.4.3 Isolamento acústico global das vedações

As edificações freqüentemente utilizam diversos componentes construtivos na composição dos subsistemas do edifício, sendo que as vedações costumam estar caracterizadas por componentes com isolamento acústico muito diferentes. O isolamento acústico global das vedações deve ser determinado, pois componentes que apresentam baixo isolamento acústico podem reduzir drasticamente este isolamento, o que pode ser indesejável em alguns casos. Os valores mais baixos de isolamento nas vedações dos edifícios são freqüentemente encontrados nas esquadrias e nos vidros, portanto, deve-se calcular o isolamento acústico contemplando as áreas e os isolamentos específicos de cada um de seus componentes. O isolamento acústico global ( $a_g$ ) de uma vedação mista pode ser calculado, segundo a NBE-CA-88, mediante a seguinte expressão:

$$a_g = 10 \log \frac{\sum Si}{\sum \frac{Si}{10^{a_i/10}}}$$

Onde:  $S_i$  é a área do elemento construtivo  $i$ , em  $m^2$   
 $a_i$  é o isolamento específico do elemento construtivo de área  $S_i$ , em dB

No caso de vedações com janelas, o isolamento acústico global da vedação mista pode ser simplificado para a seguinte expressão:

$$a_g = 10 \log \frac{S_o + S_v}{\frac{S_o}{10^{a_o/10}} + \frac{S_v}{10^{a_v/10}}}$$

Onde:  $S_o$  é a área do componente opaco da vedação, em  $m^2$ ;  
 $S_v$  é a área do componente envidraçado, em  $m^2$ ;  
 $a_o$  é o isolamento acústico do componente opaco de área  $S_o$ , em dB;  
 $a_v$  é o isolamento acústico do componente envidraçado de área  $S_v$ , em dB.

O projeto de norma brasileira de desempenho de edificações habitacionais de até 5 pavimentos fornece uma fórmula similar à norma espanhola para a determinação do isolamento acústico global da fachada, determinada pela seguinte expressão:

$$R_g = -10 \log \frac{\sum (S_i \cdot 10^{-R_i/10})}{\sum S_i}$$

Onde:  $R_g$  é o Índice de Redução Sonora Global, em dB  
 $S_i$  é a área do  $i$ -ésimo componente, em  $m^2$   
 $R_i$  é o índice de redução sonora do  $i$ -ésimo componente de área  $S_i$ , em dB

Para melhorar o isolamento acústico das paredes duplas com câmara de ar interna é aconselhável que as camadas internas e externas da vedação apresentem massas diferentes, seja variando o material ou a espessura da parede e do seu revestimento. Esta precaução evita que as camadas internas e externas apresentem as mesmas frequências de ressonância e de coincidência.

A câmara interna das paredes duplas pode receber uma camada de material absorvente acústico com objetivo de aumentar a energia dissipada internamente, e conseqüentemente incrementar o isolamento acústico da vedação. Este dispositivo faz com que o isolamento acústico da vedação não dependa unicamente da massa.

#### 4.4.4 Isolamento acústico das janelas

As aberturas nas vedações verticais, de forma análoga ao desempenho térmico, correspondem a zonas críticas com relação ao isolamento acústico. Em função da leveza necessária para facilitar sua movimentação, as esquadrias apresentam pouca massa e conseqüentemente reduzido isolamento acústico. As infiltrações acústicas originadas por frestas e imperfeições no fechamento, também são freqüentes, deixando-as sem estanqueidade à passagem do ar. Neste item serão analisadas somente as janelas, sendo que as áreas das portas nos estudos de caso são praticamente desprezíveis em relação às áreas de fachadas.

O isolamento de uma vedação se define pelo seu componente mais frágil. De Marco (1990) apresenta valores médios de isolamento acústico relacionando a porcentagem de aberturas em relação ao todo da vedação, conforme visto na tabela 4.17.

Tabela 4.17 – isolamentos em vedações com janelas, (DE MARCO, 1990)

Tipo de janela	Porcentagem de área: janela fechada / vedação(%)						
	100	75	50	33,5	25	10	desprezível
Simples (20dB)	20	21	23	25	26	30	40
Dupla (40 dB)	40	41	43	44	45	47	50

Pela tabela anterior pode-se notar que o isolamento acústico proporcionado pela parte opaca da vedação só começa a ser mais eficiente quando a parte destinada às aberturas simples é de 10%. Mesmo assim, o isolamento é da ordem de 50% entre as perdas de transmissão sonora da parte opaca e das aberturas. As aberturas duplas apresentam um isolamento mais eficiente, haja visto que a média das perdas de transmissão sonora está localizada quando a parte destinada às aberturas é de 25%. Isto indica que para a fachada possuir maior isolamento acústico, deve-se aumentar a perda de transmissão das janelas, ou diminuir sua área nas fachadas.

Na ausência de valores provenientes de ensaios laboratoriais, a norma espanhola NBE-CA-88 permite calcular o isolamento acústico das janelas em

função do tipo de esquadria e da espessura do vidro de fechamento. As esquadrias podem ser classificadas como A-1, A-2 e A-3 em função do grau de estanqueidade ao ar, estabelecido pela norma:

**Comuns**, sem classificação e com qualquer tipo de vidro, exemplo: algumas esquadrias em madeira  $R \leq 12$  dBA

**Classe A-1** e com qualquer tipo de vidro, exemplo: esquadrias em alumínio sem tratamento nas juntas  $R \leq 15$  dBA

**Classe A-2**, para vidro simples ou duplo com câmara de ar: exemplo: esquadrias em alumínio ou PVC com tratamento nas juntas em feltro.

$$R \leq 13,3 \log e + 14,5 \text{ (dBA)}$$

onde (e) é a espessura do vidro em milímetros ou a media das espessuras dos vidros e da câmara de ar menor que 15mm, quando utilizam-se vidros duplos, ou ainda a soma das espessuras quando a câmara de ar entre os vidros é superior a 15 mm;

**Classe A-2**, para vidros laminados com até 4 lâminas de vidro cuja espessura individual não supera 8mm, unidas por películas adesivas com espessura superior a 0,4 mm:

$$R \leq 13,3 \log e + 17,5 \text{ (dBA)}$$

sendo 'e' é a espessura total de vidros

**Classe A-3**, com vidro simples ou duplo com câmara de ar: exemplo: esquadrias em alumínio ou em PVC com tratamento nas juntas em borracha.

$$R \leq 13,3 \log e + 19,5 \text{ (dBA)}$$

onde (e) é a espessura do vidro em milímetros ou a media das espessuras dos vidros e da câmara de ar menor que 15mm, quando utilizam-se vidros duplos, ou ainda a soma das espessuras quando a câmara de ar entre os vidros é superior a 15 mm;

**Classe A-3**, para vidros laminados com até 4 lâminas de vidro cuja espessura individual não supera 8mm, unidas por películas adesivas com espessura superior a 0,4 mm:

$$R \leq 13,3 \log e + 22,5 \text{ (dBA)}$$

Os vidros laminados possuem maior isolamento que vidros simples com a mesma massa nas frequências de coincidência, no entanto, para as outras frequências o aumento do isolamento é muito pequeno.

#### 4.4.5 Desempenho acústico das juntas seladas

A norma ASTM C919 (2002) relata que as vedações leves utilizadas nas construções podem ter uma transmissão sonora indesejável se cuidados não forem tomados nos tratamentos das juntas e vazios, comuns para este tipo de construção. A referida norma apresenta o gráfico que relaciona a proporção de vazios com a classe de transmissão sonora (Sound Transmission Class – STC). O termo STC é um valor numérico da perda de transmissão utilizado para medir a efetividade ao isolamento sonoro de uma parede, porta ou janela, em dB. Este método é utilizado somente para o ruído aéreo e frequências acima de 125Hz.

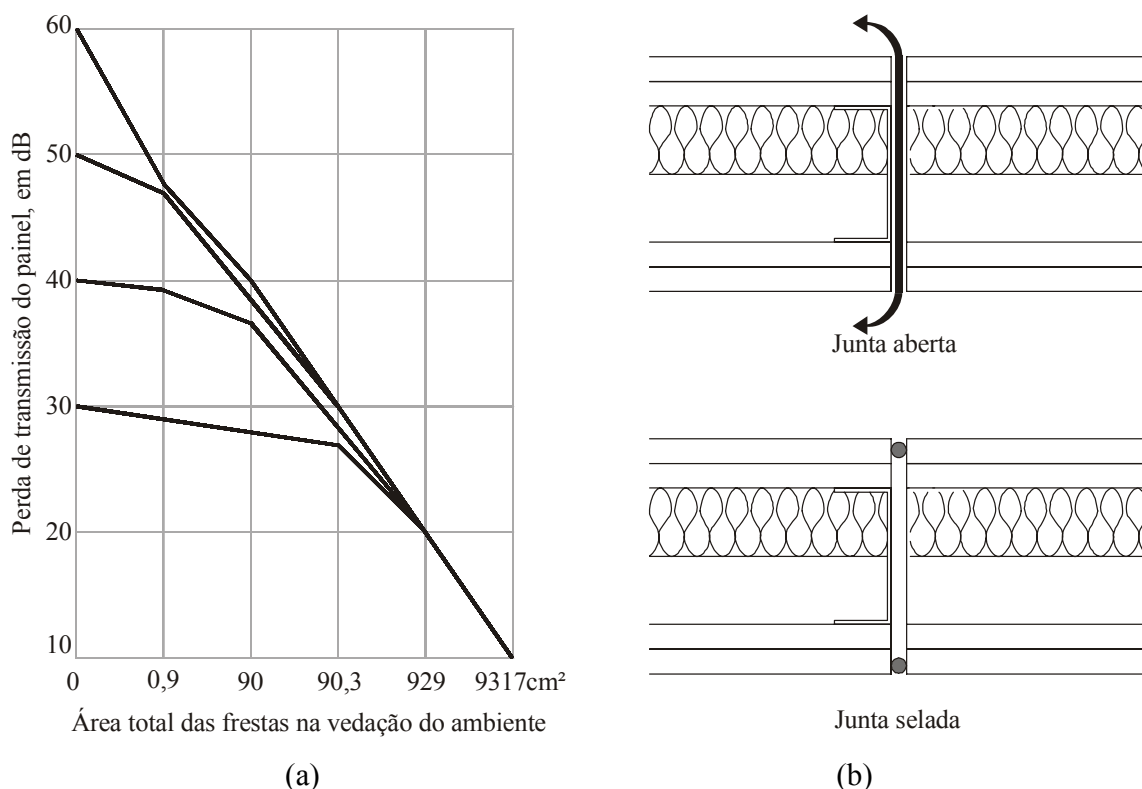


Figura 4.13 – (a) Efeito se juntas abertas na perda de transmissão em testes realizados com vedações com (3,80x2,40)m e (b) exemplo de como manter o isolamento acústico com o selamento das juntas. Adaptado da norma ASTM C919 (2002).

Pela figura 4.13 (a), nota-se que quanto maior for o isolamento acústico da vedação, maior será a perda de transmissão com o aumento das frestas na interface entre os painéis, ou entre os painéis e as esquadrias. A figura 4.13 (b) ilustra a função que o selante tem no isolamento acústico da vedação, impedindo que o ruído penetre no ambiente interno pelas frestas.

#### 4.5 COMPORTAMENTO AO FOGO

O GRC é um material incombustível, sendo que uma camada de 12mm de espessura deste compósito pode garantir uma resistência ao fogo de 15 minutos (PCI, 1987). Segundo a norma BS 476 (1972), deve-se satisfazer três requisitos de desempenho ao fogo: estabilidade, onde a estrutura não deve entrar em colapso; integridade, onde a estrutura ou vedação não deve permitir a passagem de chamas; e o isolamento, onde o lado protegido não deve ultrapassar a temperatura de 140°C acima da temperatura inicial. Estas exigências podem ser satisfeitas por meio da incorporação de um núcleo com isolamento térmico ou com a adição de um elemento construtivo na face interna da vedação, que garanta os requisitos e critérios de desempenho ao fogo exigidos para a mesma.

A proteção de todas as partes de uma edificação faz com que o combate ao fogo seja facilitado e adequado ao exigido pelas normas de proteção contra incêndio. Estas normas têm por objetivo proteger a vida dos usuários dos edifícios em caso de incêndio, reduzir a propagação do fogo, estabelecer tempos mínimos de resistência ao fogo (TRRF) tanto da estrutura, quanto das vedações dos edifícios, prever dispositivos auxiliares de sinalização e de extinção do fogo. Segundo a norma ASTM E 119 (2000), os ensaios laboratoriais para a determinação dos tempos requeridos de resistência ao fogo podem não ser representativos para todas as condições de incêndio nas edificações, pois algumas características como ventilação, compartimentação e também o tipo, distribuição e carga de fogo podem variar. No entanto, esta norma afirma que se pode dispor de tempos relativos do desempenho das vedações em condições específicas de exposição ao fogo.



Para a determinação dos TRRFs dos estudos de caso, utilizou-se o Código de Proteção contra Incêndio do CBCPA<sup>17</sup>, pois Canoas pertence à região metropolitana de Porto Alegre. Também foram utilizadas a Instrução do CBPMESP<sup>18</sup>, pelo fato do estado de São Paulo apresentar o maior volume de obras executadas com este tipo de tecnologia e a norma espanhola NBE-CPI-96, por possuir item específico para este tipo de fachada.

A classificação das edificações quanto à sua ocupação ou uso no código do CBCPA é idêntica à utilizada pelo Decreto<sup>19</sup> do Estado de São Paulo, como pode ser observado na tabela 4.5. O código de Porto Alegre e o decreto do Estado de São Paulo diferem nas outras classificações para se prever quais dispositivos serão necessários no combate ao incêndio em um edifício e também quanto aos tempos requeridos de resistência ao fogo. Na tabela 4.6 são apresentados os tempos requeridos de resistência ao fogo das fachadas dos edifícios estudados, de acordo com o Corpo de Bombeiros de Porto Alegre, São Paulo e a norma espanhola.

Tabela 4.5 - Classificação dos estudos de caso quanto à resistência ao fogo. (CBCPA)

Classificação das edificações quanto	Ginásio	Faculdade de odontologia	Edifício garagem
à sua ocupação / uso	**E-3	*E-1	***G-2
ao grau de risco	2 (pequeno)	2 (pequeno)	5 (médio)
às suas características construtivas	Y	Y	Y

Nota:

\* E1 – Escolas em geral – escolas de primeiro, segundo e terceiro graus, etc.

\*\* E3 – Espaço para cultura física – locais de ensino e/ou prática de esportes coletivos (tênis, futebol, etc).

\*\*\* G2 – Garagens com acesso de público e sem abastecimento – garagens comerciais, não-automáticas em geral, sem abastecimento (exceto para veículos de carga e coletivos)

Na tabela 4.6, o CBCPA informa que o valor do TRRF das fachadas deve estar entre (120 a 240) min, para edificações que possuam alta resistência ao fogo, classificadas com a letra (Z), ver tabela 8.2 do anexo. Os estudos de caso não satisfazem alguns dos requisitos desta norma, sendo classificados como medianamente resistente ao fogo (Y) e neste caso o Código de Proteção contra

<sup>17</sup> Corpo de Bombeiros da Cidade de Porto Alegre. Lei Complementar nº 420 /1998.

<sup>18</sup> Corpo de Bombeiros da Polícia Militar do Estado de São Paulo, Instrução Técnica nº08/2004.

<sup>19</sup> Decreto nº46.076, de 31 de agosto de 2001; que institui o Regulamento de Segurança contra Incêndio das edificações e áreas de risco.

incêndio não estabelece nenhum valor mínimo para o tempo requerido de resistência ao fogo.

Além dos dispositivos ativos, as construções podem contar com dispositivos passivos de proteção ao fogo, ou seja, as compartimentações horizontal e vertical. A compartimentação horizontal serve para impedir a propagação do incêndio para ambientes adjacentes em um mesmo pavimento. As três normas não exigem a compartimentação horizontal para os estudos de caso. No entanto, o Corpo de bombeiros do Estado de São Paulo, exige que seja realizada a compartimentação vertical para o edifício da faculdade de odontologia, que serve para impedir a propagação das chamas e gases de um pavimento para outro, conforme visto na tabela 8.3 do anexo.

A norma do corpo de bombeiros de Porto Alegre exige que edificações educacionais com mais de 1600m<sup>2</sup> e acima de 12m de altura devem prever ao menos uma escada enclausurada à prova de fumaça, conforme visto nas tabelas 8.4 e 8.5 do anexo. Esta caixa de escada deve apresentar resistência ao fogo de 240min. De outra parte, a norma espanhola NBE-CPI-96 estabelece que em edifícios com altura menor ou igual a 15m, a resistência ao fogo das vedações de uma caixa de escada enclausurada deve ser de 120 minutos e das fachadas deve ser de, no mínimo, 60 minutos.

Tabela 4.6 – Comparação entre as resistências ao fogo exigidas para as vedações dos estudos de caso

Edifício	Tempo Requerido de Resistência ao Fogo TRRF (minutos)					
	CBCPA		CBPMESP IT-08		Norma espanhola CPI-96	
	Fachada	Escada	Fachada	Escada	Fachada	Escada
Ginásio	*-	-	**60	-	60	-
Odontologia	-	240	60	120	60	120
Edifício Garagem	-	120	**60	120	60	120

Nota:

\* O símbolo (-) refere-se a impossibilidade de determinação do TRRF para edifícios classificados como (X ou Y)

\*\* O TRRF desta fachada poderia ser de 30 min, porém segundo o item 5.7.2, as fachadas devem ter no mínimo o mesmo TRRF da estrutura e nunca ser inferior a 60 minutos.

As características construtivas de um edifício servem para determinar a distância máxima a ser percorrida no pavimento para atingir um local seguro, porém o código de Porto Alegre não deixa isto claro no momento de sua apresentação. A letra (Y) designa que a distância máxima a ser percorrida em um

pavimento com duas saídas e sem chuveiros automáticos (*sprinklers*) é 30m. O código relata que qualquer edificação que apresente pelo menos um item destes é classificada como (Y):

- aberturas entre pavimentos, tais como escadas abertas, vazios, dutos desprotegidos, e assemelhados;
- prédios com paredes-cortina, “pele de vidro”;
- existência, em edificações de ocupação não-residencial, de compartimentos com área superior a 125m<sup>2</sup>, sem divisões ou utilizando divisórias não resistentes ao fogo.

O código de proteção contra incêndio de Porto Alegre deixa claro que, para edificações com alta resistência ao fogo, as paredes de uma edificação devem resistir a 2 horas, para uma vedação executada com tijolos rebocados em ambos os lados, com espessura final mínima de 13cm; e 4 horas para uma parede executada com tijolos rebocados em ambos os lados, com espessura final mínima de 23cm.

Segundo a Instrução Técnica nº08 do CBPMESP (2001), as juntas e fixações dos painéis pré-fabricados devem possuir o mesmo TRRF do painel e nunca ser menor que 60 minutos.

A norma CBCPA não faz menção às vedações com painéis pré-fabricados, apresentando somente o TRRF para vedações com tijolos cerâmicos. A Instrução Técnica do CBPMESP é a mais atualizada, pois contempla requisitos e critérios de resistência ao fogo para os painéis pré-fabricados e suas juntas.

# 5. ANÁLISES DOS ESTUDOS DE CASO

## 5.1 GINÁSIO



Figura 5.1 – Vista geral das fachadas do ginásio e de um dos blocos com salas de aula.

Projeto de obra de arquitetura: Arq. Magda Kindler

Consultoria de fachadas: Eng. Fernando Barth

Localização: Canoas, RS

Ano de execução: 2004

Empresa construtora: Verdicon

Área construída: 4817m<sup>2</sup>

Sistema de fachada: painéis sanduíche em GRC

Fabricante: NAVE Sistemas Construtivos

Área de fachadas em GRC: 846m<sup>2</sup>

### 5.1.1 Características do projeto

O ginásio esportivo está localizado no campus da Universidade Luterana do Brasil, (ULBRA), na cidade de Canoas, região metropolitana de Porto Alegre. A edificação está dividida em três blocos. No bloco A encontram-se salas de aula e os vestiários masculino e feminino, enquanto que o bloco B possui além de salas de aula, bar e lancheria. A circulação vertical de ambos os blocos é feita através de elevadores, uma escada interna e por duas escadas externas. Os blocos A e B estão divididos em três pavimentos, possuindo cada um uma área de 2520m<sup>2</sup>, totalizando 5040m<sup>2</sup>. O bloco C é o ginásio de esportes, visto na figura 5.1 e 5.2. Este edifício contém 5 quadras esportivas, com dimensões de (22,35X30)m cada uma e uma piscina semi-olímpica com arquibancada para 172 pessoas. A figura 5.3 mostra a planta do edifício. O ginásio possui uma área total de 4817m<sup>2</sup>, cuja iluminação natural é predominantemente lateral, feita através de esquadrias verticalmente posicionadas entre os painéis de GRC. O projeto possui três acessos. Um localizado entre os blocos A e C, outro inconcluso entre os blocos B e C, que ainda não foram executados e o último se faz pelo bloco C.



Figura 5.2 – Fachadas do ginásio esportivo com painéis pré-fabricados em GRC revestidos com plaquetas cerâmicas.

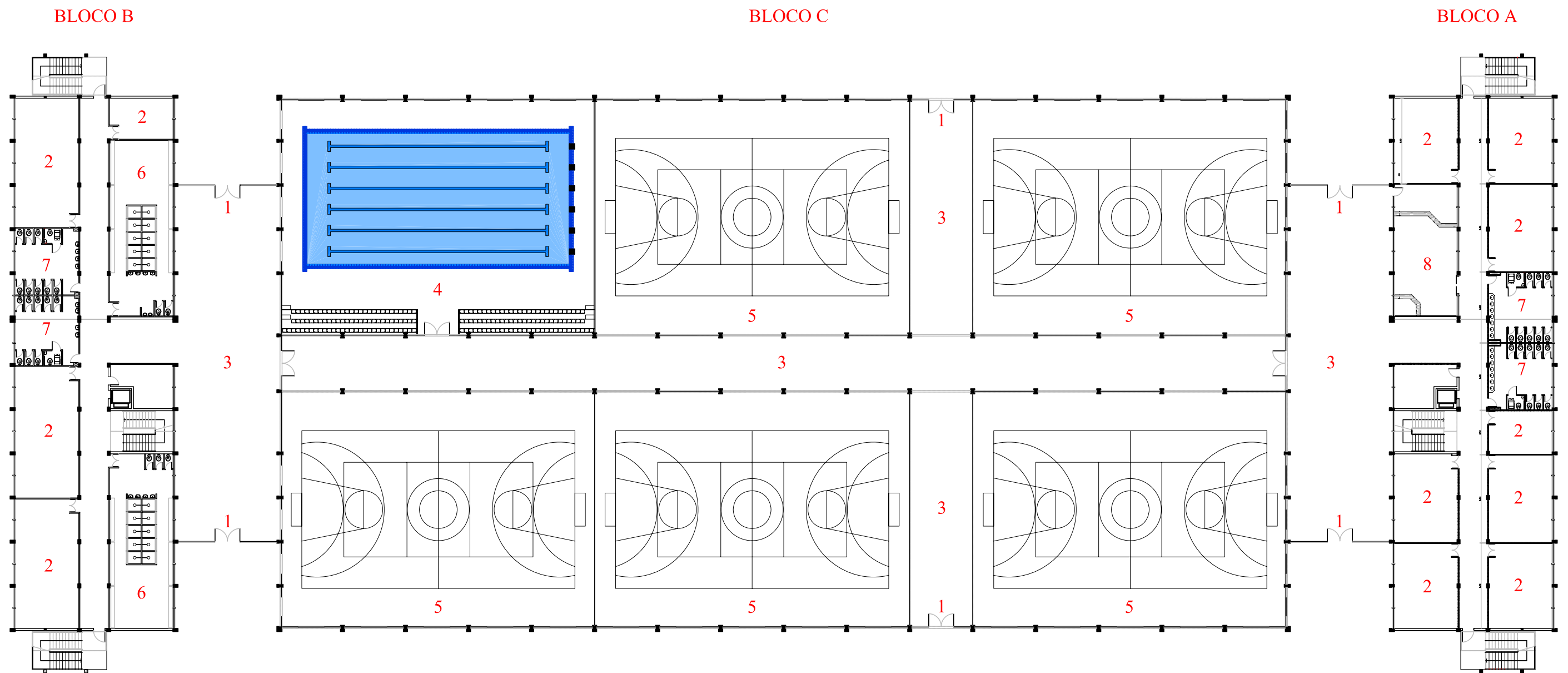
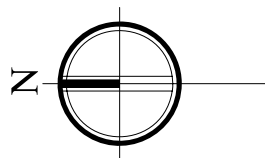


Figura 5.3 - Planta do ginásio. (KINDLER, 2004)  
Escala 1 / 400

LEGENDA:

- 1 - Entrada / 2 - Salas de aula
- 3 - Circulação / 4 - Piscina semi-olímpica
- 5 - Quadras poliesportivas
- 6 - Vestiários / 7 - Sanitários
- 8 - Bar e lancheria



### 5.1.2 Características das fachadas

Este edifício é o primeiro a ser tratado com fachadas pré-fabricadas em GRC no Sul do Brasil, em função da necessidade de terminar a obra nos poucos meses que antecederiam o início do período letivo. No entanto, este edifício inicialmente não foi projetado para receber painéis pré-fabricados. A pedido do cliente, o novo empreendimento deveria manter a mesma linguagem arquitetônica das edificações existentes, ou seja, manter o aspecto da construção tradicional com tijolos aparentes. Para tanto os painéis pré-fabricados receberam um revestimento externo com plaquetas cerâmicas, nos mesmos formatos de um bloco cerâmico comum, conforme pode ser visto nas figuras 5.4 e 5.5. Para a base deste revestimento adotou-se então a solução com painéis GRC tipo sanduíche fabricados pelo método de pré-mistura. Este método foi utilizado porque o fabricante não possuía equipamentos de projeção do GRC.

### 5.1.3 Paginação

A modulação básica do projeto nas fachadas é de 6m entre os eixos dos pilares pré-fabricados de concreto. Os painéis sanduíche que foram utilizados nas fachadas longitudinais têm dimensões de (2,56 X 3,77)m e nas fachadas laterais, os painéis utilizados têm dimensões de (1,96 X 3,77)m. O conjunto de painéis é composto por apenas uma família de painéis, denominada de família A.

Família A: caracterizada por painéis sanduíche em GRC, revestidos com plaquetas cerâmicas.

A única família constitui 100 painéis distribuídos em 2 tipos distintos, cujo índice de repetição global (IRG) = 50 painéis. Barth (1997) realizou um comparativo entre os IRGs de sete edifícios em Barcelona que utilizam painéis em GRC nas suas fachadas, sendo que na média o Índice Global de Repetição atingiu 12,95 painéis e que o maior IRG atingido foi do edifício Viv Montigalá, com IRG de 30,7 unidades. Portanto, observa-se que o índice de repetição dos painéis do ginásio é considerado elevado. A área total de fachada é de aproximadamente 975m<sup>2</sup>. Os painéis A1 possuem um número de repetições de 62 unidades.

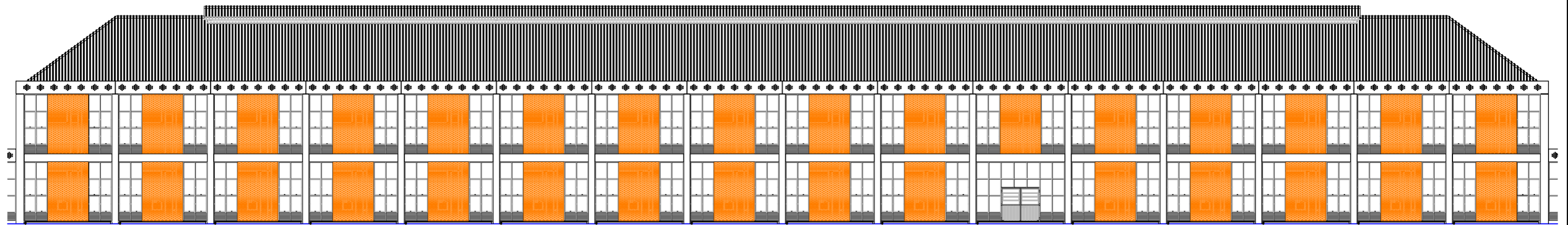


Figura 5.4 - Fachadas Leste e Oeste (KINDLER, 2004)  
Escala 1 / 250

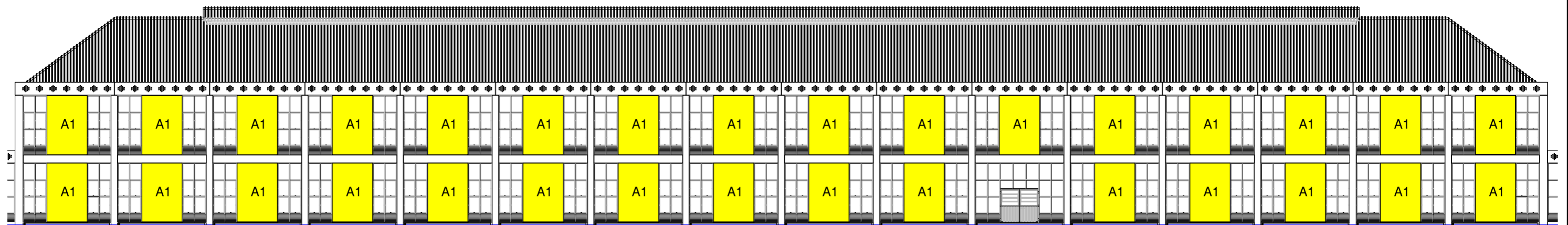


Figura 5.5 - Paginação das fachadas Leste e Oeste (KINDLER, 2004)  
Escala 1 / 250



Esses painéis possuem uma área de  $9,70\text{m}^2$  e correspondem aos painéis das fachadas longitudinais. O outro tipo de painel possui um índice de repetição  $IR=38$  painéis, cuja superfície possui  $7,31\text{m}^2$  e estão localizados nas fachadas menores. Esses dois tipos são revestidos com plaquetas cerâmicas.

#### 5.1.4 Características dos painéis

Os painéis sanduíche em GRC foram fabricados com cimento Portland de alta resistência inicial e areia fina de quartzo, compostos por duas camadas de GRC com 12mm de espessura cada e um núcleo central de poliestireno expandido com 100mm de espessura. O revestimento com plaquetas cerâmicas possui espessura de 13mm e dimensões de (22 X 5,5)cm. Esses painéis foram fabricados através do método pré-mistura, com uma camada única de 12mm e após a colocação do material inerte é inserida mais uma camada de 12mm de GRC. Os painéis apresentam estruturas de enrijecimento verticais a cada 42,5cm de eixo a eixo. Internamente, os painéis receberam uma camada de pintura com tinta acrílica texturizada, conforme mostrado na figura 5.6.



Figura 5.6 – (a) Vista interna do ginásio e (a) vista interna dos painéis sanduíche em GRC

### 5.1.5 Fixações

Os painéis sanduíche estão apoiados, transmitindo as cargas diretamente para as vigas. As quatro fixações apresentam rebaixos que posteriormente são fechados com placas de GRC, recebendo o mesmo tipo de pintura acrílica texturizada. As movimentações dos painéis em função das variações de temperatura e umidade são permitidas por meio de cantoneiras galvanizadas e ligações parafusadas com furos oblongos, possibilitando também absorver as tolerâncias de montagem dos painéis, como visto na figura 5.7.

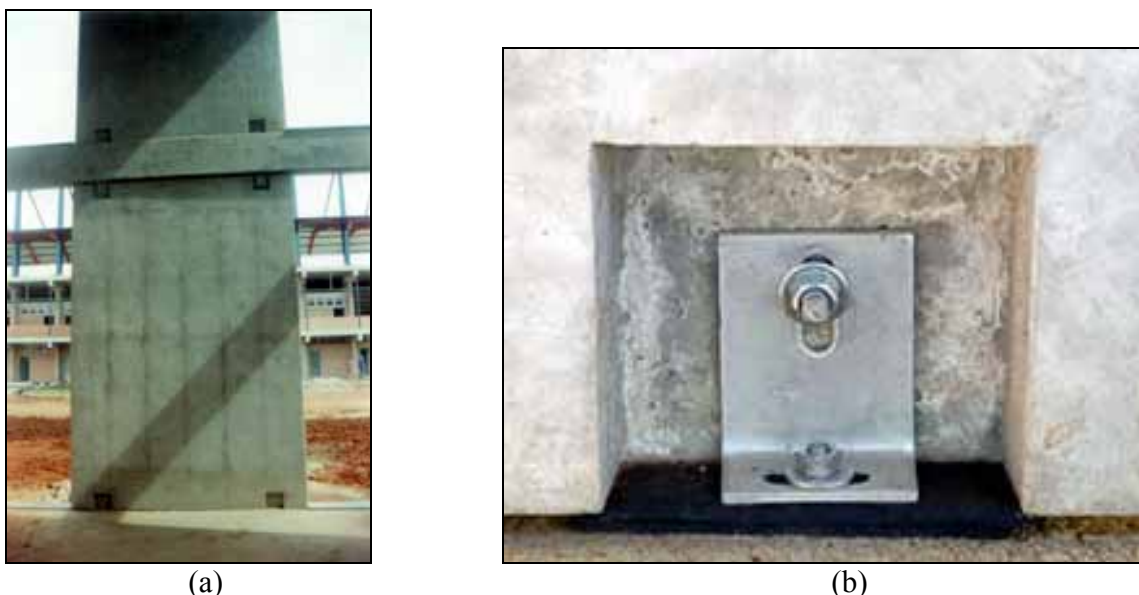


Figura 5.7 – (a) vista posterior do painel sanduíche com as quatro fixações do painel nas vigas e (b) rebaixo no painel para a fixação com a estrutura.

Fonte: Verdicon

### 5.1.6 Juntas e selantes

As juntas entre as plaquetas cerâmicas são preenchidas com a argamassa adesiva que faz a interface entre as mesmas e a camada de GRC. As plaquetas são posicionadas nos moldes metálicos, recobertos por uma camada de 5mm da argamassa adesiva sobre o seu tardóz e posteriormente recebe ainda em estado fresco a primeira camada de GRC do painel sanduíche. As juntas horizontais e verticais entre os painéis são tratadas com selantes a base de silicone. As juntas entre as plaquetas são na cor cinza, com 10mm de espessura e as juntas entre os

painéis são com silicone na pigmentação cinza, também são com 10mm. Pela figura 5.8 observa-se a junta selada na cor cinza. O tipo de selante utilizado tem como característica um MAF (*Movement Accommodation Factor*) igual a 25%.



Figuras 5.8 – (a) A figura da esquerda mostra uma junta selada e (b) ilustra o canto selado para posterior colocação das esquadrias na interface com os painéis (BARTH, 2003)

#### 5.1.7 Características da montagem dos painéis

O içamento dos painéis foi feito por caminhões com lança telescópica, possibilitando a montagem pela parte interna do edifício, não necessitando da instalação de andaimes e deixando o canteiro de obras livre de obstáculos, andaimes e balancins. A integridade física dos painéis fica menos afetada, na medida que não precisam competir com outras estruturas de suporte.

#### 5.1.8 Isolamento higrotérmico

O isolamento térmico dos painéis é elevado, com uma transmitância térmica de apenas 0,37 ( $W/m^2K$ ). Este valor deve-se principalmente aos 100mm de poliestireno expandido encontrado no núcleo do painel, conforme visto na tabela 5.1. No entanto, nota-se que todo esse isolamento não tem muita eficiência no valor global da edificação, pois metade das fachadas esta formada por esquadrias de alumínio com vidro incolor, que apresenta uma transmitância de 5,80  $W/m^2K$ .

Tabela 5.1 – Resistências térmicas e à passagem de vapor de água das camadas do painel sanduíche

Camada	Espessura (m)	Resistência térmica (m <sup>2</sup> .K/W)	Δt da camada (°C)	Resistência ao vapor (MNs/g)	Conteúdo de umidade (g/Kg)	Δt da camada (°C)
Rsi	-	0,13	0,2	-	-	-
Reboco	0,02	0,017	0,03	0,60	0,01	0,025
GRC	0,012	0,013	0,02	0,60	0,01	0,025
Poliestireno	0,10	2,50	3,95	18,5	0,32	0,60
GRC	0,012	0,013	0,02	0,60	0,01	0,02
Arg col	0,005	0,004	0,01	0,15	desprezível	desprezível
Plaqueta	0,013	0,014	0,04	0,72	0,01	0,02
Rse	-	0,04	0,02	-	-	-
<b>Total</b>	<b>0,162</b>	<b>2,718</b>	<b>4,3</b>	<b>21,17</b>	<b>0,36</b>	<b>0,69</b>

Observa-se que o poliestireno corresponde a 93% da resistência térmica total da vedação e a 91% da resistência total à passagem de vapor de água da vedação. No entanto, nota-se que uma característica não é consequência da outra, pois no caso do alumínio que, ao contrário do poliestireno, possui alta resistividade térmica e apresenta elevada resistência à passagem do vapor de água.

Pelos cálculos realizados, a transmitância térmica global desta edificação é de 1,73 (W/m<sup>2</sup>K), conforme visto nas tabelas 5.2 e 5.3, valor que satisfaz a norma espanhola.

Tabela 5.2 – Somatório das áreas do edifício da Faculdade de Odontologia.

Tipo de fechamento	Área de fachada (m <sup>2</sup> )				Total (m <sup>2</sup> )
	Norte	Sul	Leste	Oeste	
Painel sanduíche	130	130	293	293	846
Esquadrias de alumínio + vidro comum de 3mm	155	155	374	374	1058
Estrutura concreto	57	57	96	96	306
Cobertura	4852				4852
Piso	4776				4776

Tabela 5.3 – Justificativa de cálculo da transmitância global U<sub>G</sub> do ginásio. Tabela adaptada da NBE-CT-79.

Elemento construtivo	Área (m <sup>2</sup> )	Coef. U (W/m <sup>2</sup> K)	A x U (W/m <sup>2</sup> K)	Coef. correção n	n . ΣA . U (W/m <sup>2</sup> K)	
Fechamentos em contato com o exterior	Painéis sanduíche	846	0,41	347	1	648
	Estrutura concreto	306	3,50	535		935
	Esquadrias	1058	5,80*	6136		7963
Fechamento de cobertura	Cobertura	4852	1,04**	5046	0,8	4037
Fechamento com o terreno	Contrapiso	4776	3,38**	13824	0,5	6912
Σ Total	11838				20495	

Nota:

\*O valor da transmitância térmica de esquadrias foi retirado da tabela 2.12 do anexo 2 da norma espanhola.

\*\* Valor calculado conforme camadas e espessuras dos materiais constituintes da cobertura e do contrapiso estabelecidos no projeto.

### 5.1.9 Isolamento acústico

Nesta edificação, o isolamento acústico tem a finalidade de impedir que o ruído gerado dentro do ginásio chegue até as salas de aula nos blocos adjacentes. Através das fórmulas apresentadas no item 4.4, nota-se que o isolamento acústico dos painéis do tipo sanduíche em GRC com revestimento com plaquetas cerâmicas é de 34 dBA, sendo que o isolamento acústico das janelas é de 25 dBA. A tabela 5.4 apresenta a comparação entre o isolamento projetado e o requerido para fachadas, pela norma espanhola.

Tabela 5.4 – Justificativa de cálculo do isolamento acústico do ginásio. Adaptado da NBE-CT-88.

Tipos de vedação	Parte opaca			Esquadrias			Isolamento acústico global a ruído aéreo $a_w$ , em dBA	
	$S_o$ (m <sup>2</sup> )	$M_o$ (Kg/m <sup>2</sup> )	$a_o$ (dBA)	$S_e$ (m <sup>2</sup> )	$e$ (mm)	$A_e$ (dBA)	Projetado	Exigido
Painéis sanduíche	846	80	34	-	-	-	27	≥ 30
Esquadrias	-	-	-	1058	4	25		

Por esta tabela pode-se perceber claramente que o isolamento acústico proporcionado pela vedação não satisfaz a norma.

### 5.1.10 Resistência ao fogo

A norma do CBCPA estabelece tempos requeridos de resistência ao fogo somente para edificações classificadas como (Z). O ginásio é classificado como (Y), e neste caso a norma não estabelece TRRF mínimo para este tipo de edificação. Segundo o CBPMESP, o ginásio pode ter 30 min de redução no TRRF, por possuir “área total menor ou igual a 5.000 m<sup>2</sup>, com pelo menos duas fachadas para acesso e estacionamento operacional de viaturas, que preencham no mínimo 50% do perímetro da edificação”. De outra parte, segundo o item 5.7.2 da Instrução Técnica n° 08, as fachadas devem ter no mínimo o mesmo TRRF da estrutura e nunca ser inferior a 60 minutos.

O GRC é um material incombustível, porém o poliestireno utilizado como material isolante nos painéis e os selantes a base de silicone são inflamáveis, podendo produzir chamas e gases tóxicos. As fixações dos painéis deste edifício estão protegidas por uma camada obtendo a necessária resistência ao fogo.

## 5.2 EDIFÍCIO FACULDADE DE ODONTOLOGIA



Figura 5.9 – Vista da fachada sul

Projeto de obra de arquitetura: Arq. Magda Kindler;

Projeto de fachada: Eng. Fernando Barth;

Consultoria de fabricação: Arq. Helio Greven;

Localização: Canoas, RS;

Ano de execução: 2004;

Empresa construtora: Verdicon;

Área construída: 12300m<sup>2</sup>;

Sistema de fachada: painéis em GRC;

Fabricante: NAVE Sistemas Construtivos;

Área de fachadas em GRC: 1754m<sup>2</sup>.

### 5.2.1 Características do projeto

A edificação possui aproximadamente 91,00m de comprimento por 45,00m de largura e apresenta três pavimentos, cujo pé-direito é de 4,5m. O pavimento térreo é formado por um hall de entrada possui uma sala de espera e por quatro clínicas, cada uma com capacidade para atender 50 pessoas. No segundo pavimento estão localizados uma sala de espera com 137 lugares, uma clínica, e laboratórios. No terceiro pavimento estão localizados o auditório com capacidade para 200 pessoas, a administração dos cursos de graduação e pós-graduação e as salas de aula. A circulação vertical se faz por meio de escadas, sendo uma central e uma escada enclausurada na lateral de uma fachada. Vazios internos garantem iluminação e ventilação para os andares inferiores. A estrutura do edifício é de concreto pré-fabricado, cuja modulação é variável nas duas fachadas. Nas fachadas longitudinais, a modulação varia entre 6,50m até 8,10m. Nas fachadas transversais, os módulos variam de 7,00m até 7,85m entre os eixos dos pilares. As lajes são treliçadas pré-moldadas com poliestireno expandido que possui 25cm de espessura. O projeto pode ser visto nas figuras 5.11 a 5.15.



Figura 5.10 – Fachada Oeste

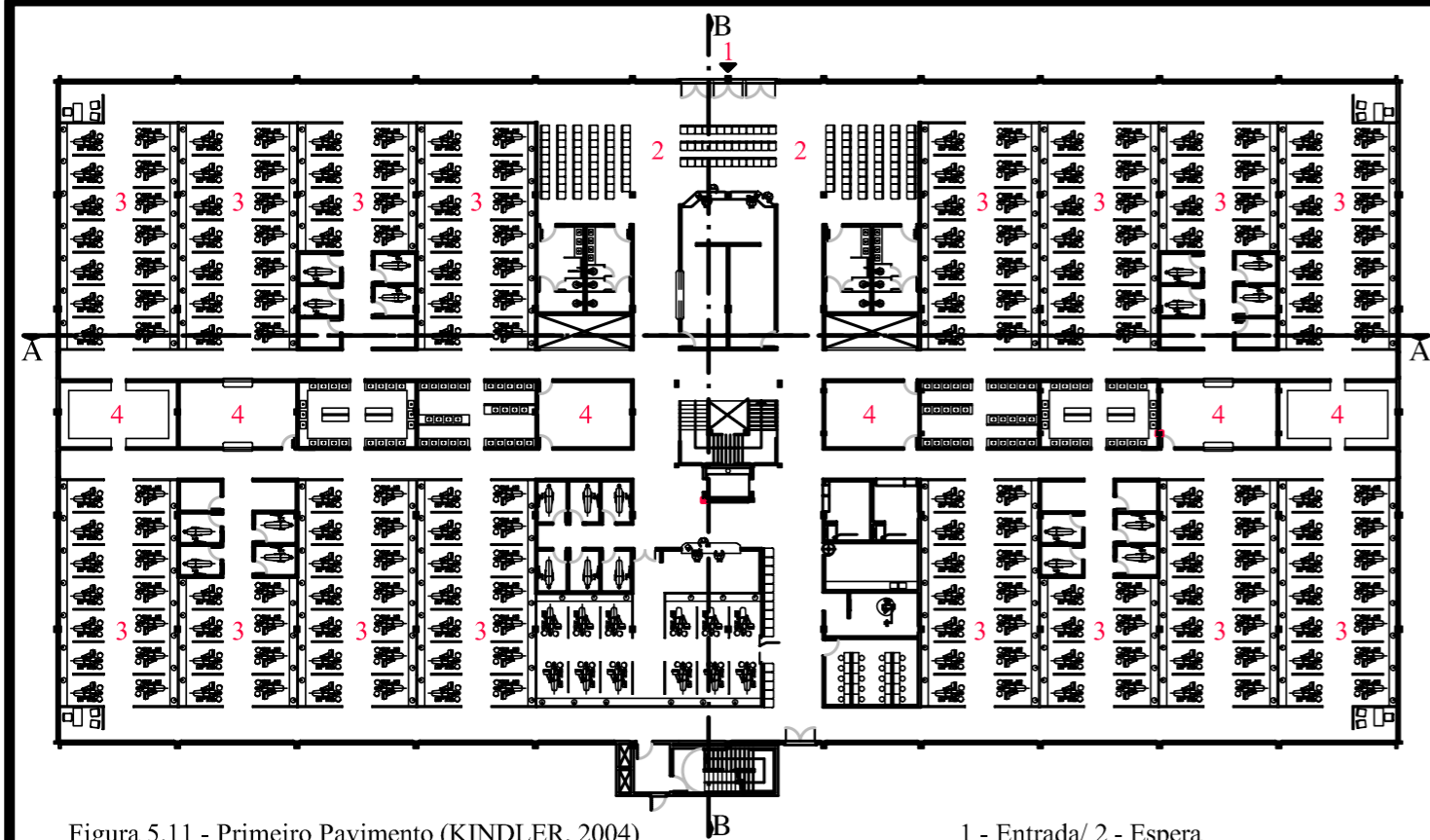


Figura 5.11 - Primeiro Pavimento (KINDLER, 2004)  
Escala 1 / 500

1 - Entrada/ 2 - Espera  
3 - Clínica/ 4 - Serviço ou Apoio

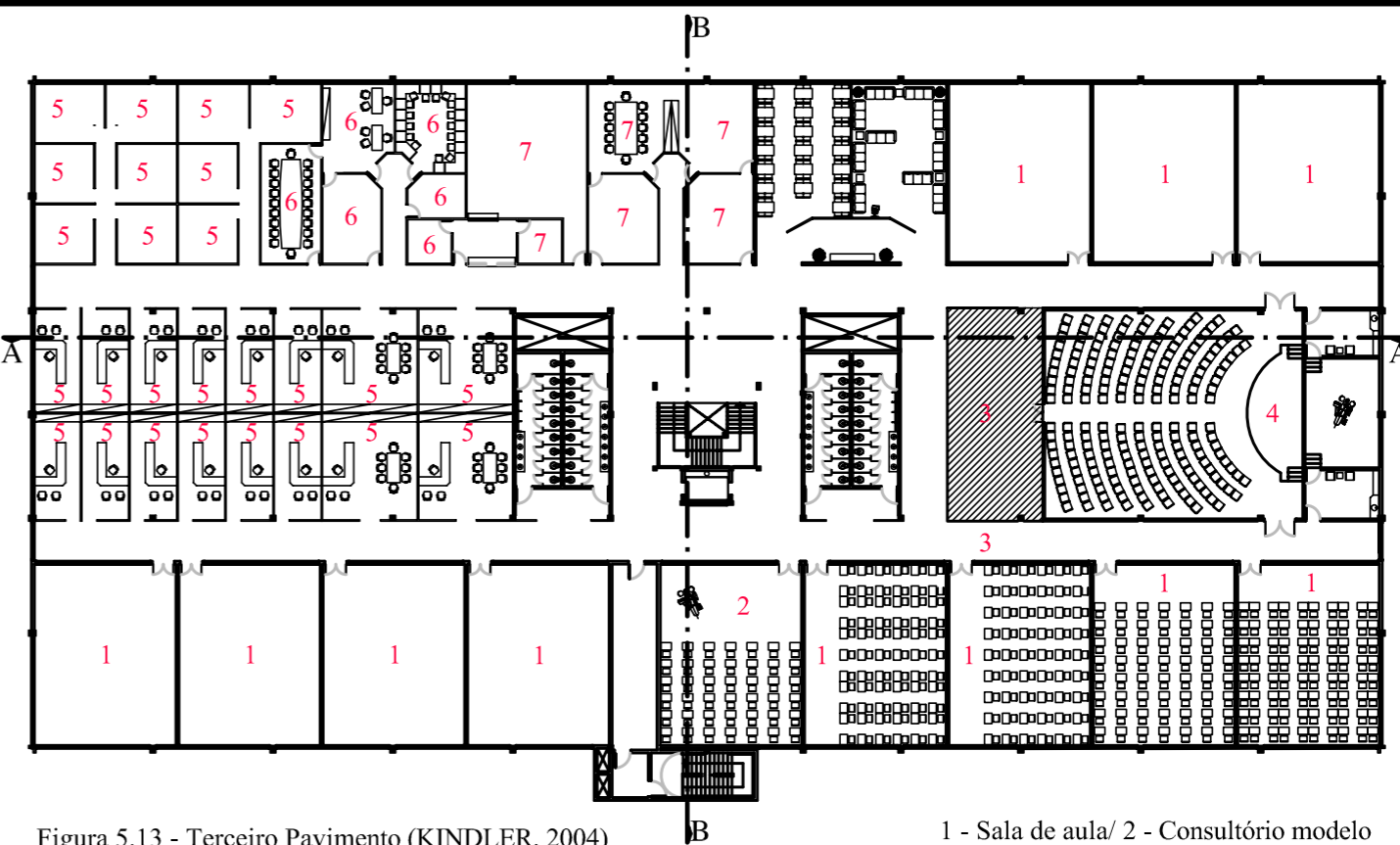
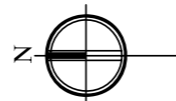


Figura 5.13 - Terceiro Pavimento (KINDLER, 2004)  
Escala 1 / 500

1 - Sala de aula/ 2 - Consultório modelo  
3 - Exposições/ 4 - Auditório  
5 - Especialidades/ 6 - Coordenadoria Pós  
7 - Coordenadoria Graduação

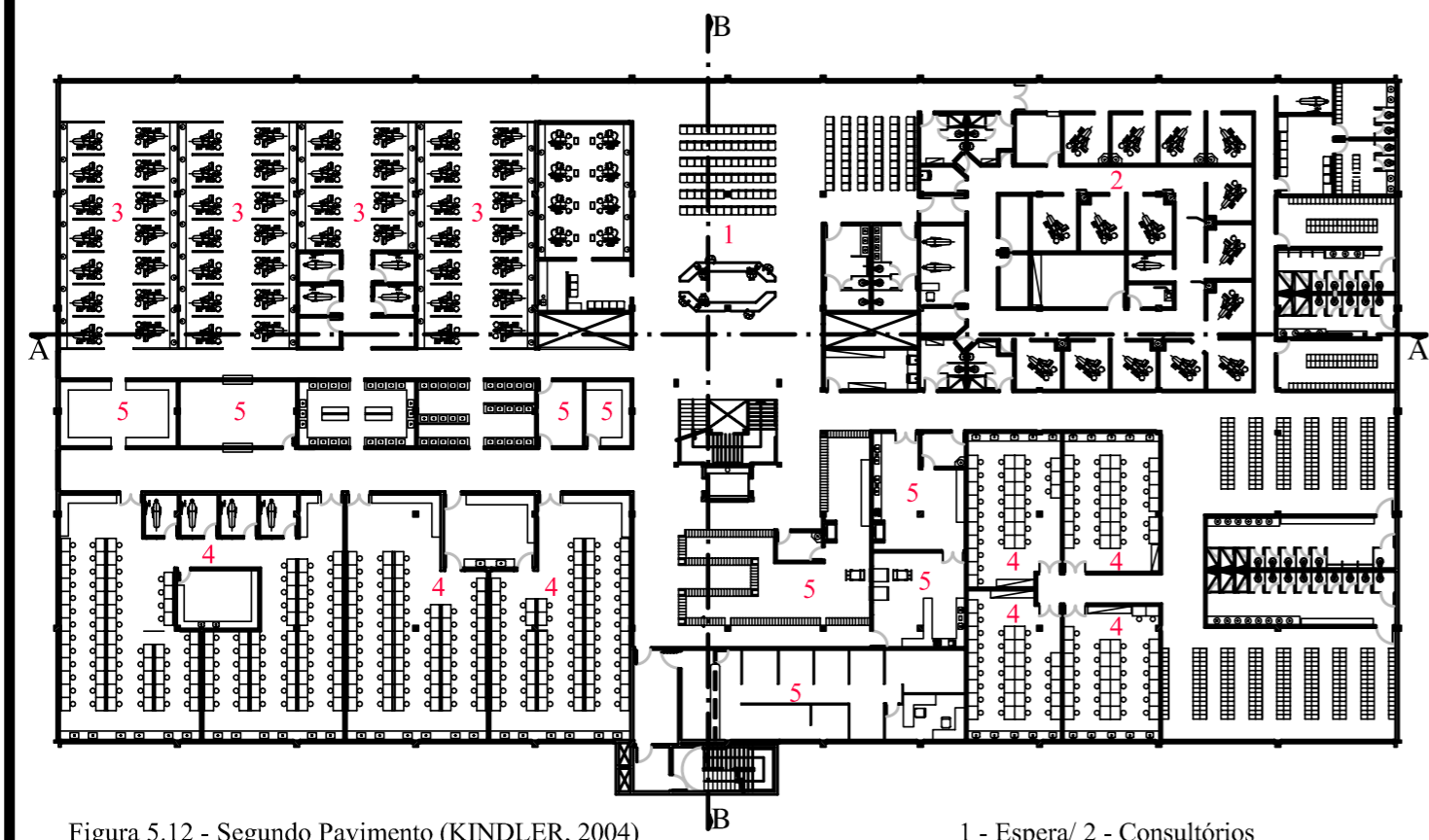


Figura 5.12 - Segundo Pavimento (KINDLER, 2004)  
Escala 1 / 500

1 - Espera/ 2 - Consultórios  
3 - Clínica/ 4 - Laboratório  
5 - Serviço e apoio

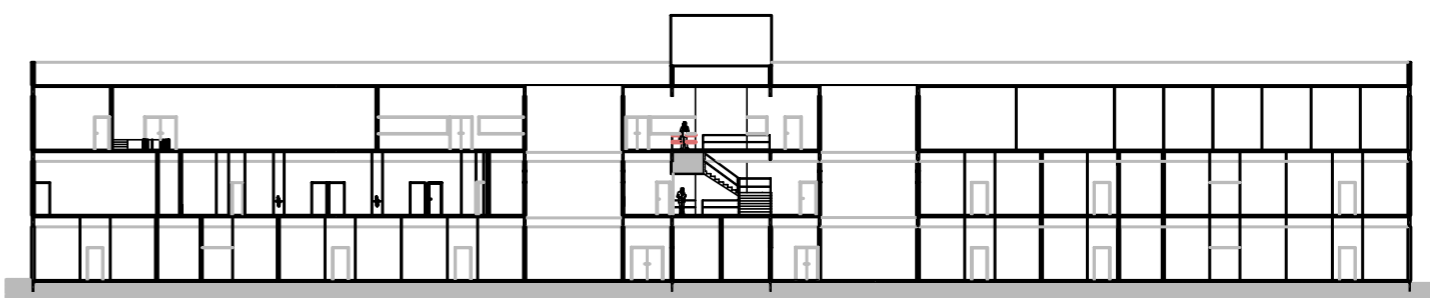


Figura 5.14 - Corte AA (KINDLER, 2004)  
Escala 1 / 500

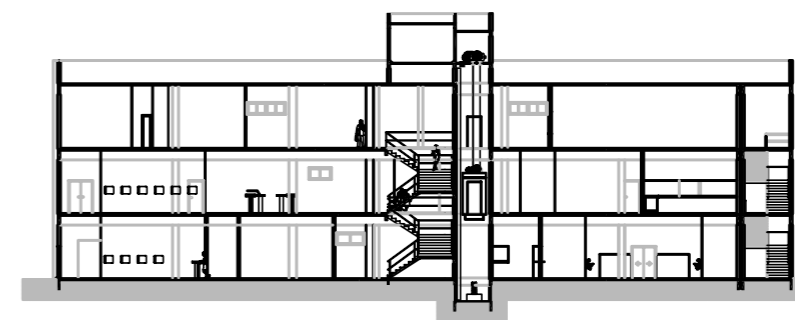


Figura 5.15 - Corte BB (KINDLER, 2004)  
Escala 1 / 500



## 5.2.2 Características das fachadas

O edifício apresenta as quatro fachadas realizadas com painéis pré-fabricados em GRC. Para seguir o padrão das demais construções realizadas com alvenaria aparente, os painéis pré-fabricados em GRC foram revestidos com plaquetas cerâmicas. A fachada oeste é dividida em duas partes. Conforme ilustra a figura 5.10, a parte central da fachada principal é de pele de vidro e o restante é realizado com vedações opacas e esquadrias de alumínio com vidros lisos. A fachada leste possui vedações opacas na caixa de escada enclausurada (figura 5.16). Nas fachadas norte e sul existe o predomínio de vedações opacas, no entanto observa-se que as porções centrais destas fachadas são esquadrias de alumínio com vidros lisos. As paredes dos reservatórios também são revestidas com painéis em GRC com plaquetas cerâmicas.



Figura 5.16 – Fachada leste com a escada enclausurada em destaque.

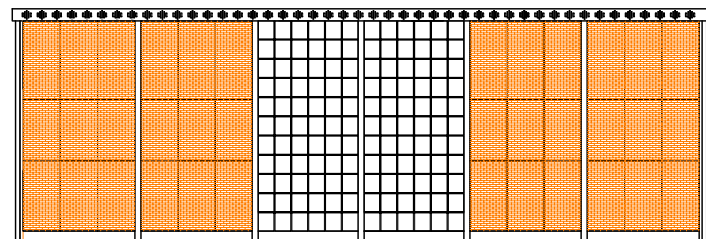


Figura 5.17 - Fachadas Norte e Sul  
Escala 1 / 500

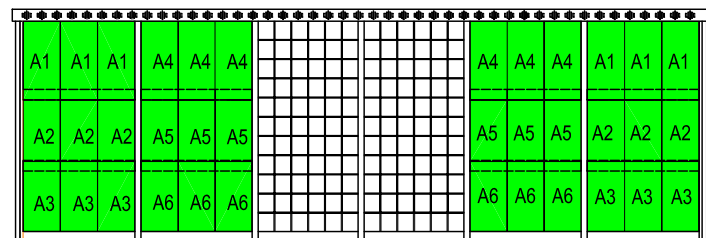


Figura 5.18 - Paginação Fachadas Norte e Sul  
Escala 1 / 500

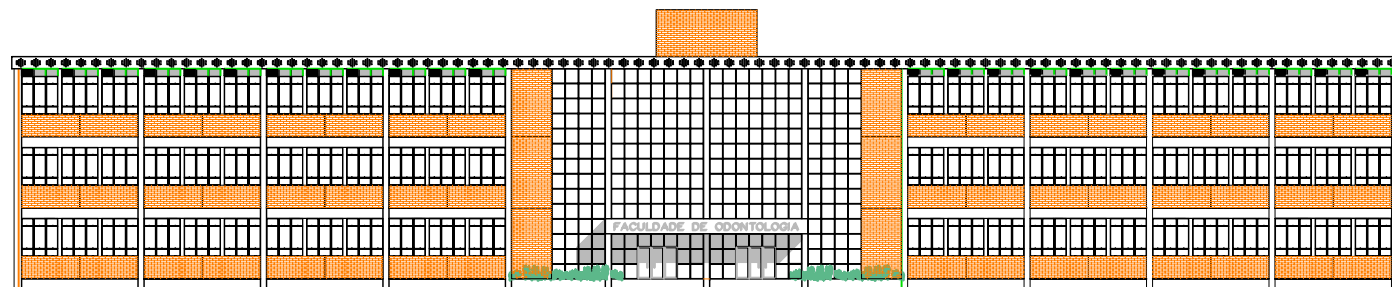


Figura 5.19 - Fachada principal (Oeste)  
Escala 1 / 500

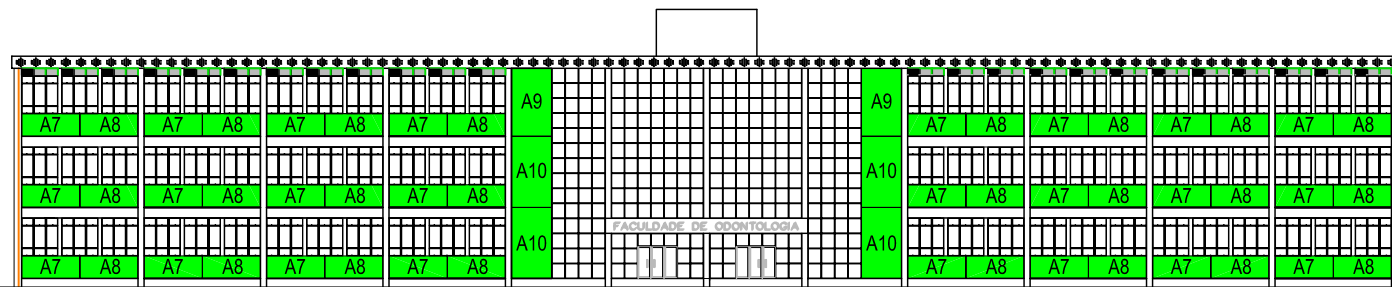


Figura 5.20 - Paginação da fachada principal (Oeste)  
Escala 1 / 500

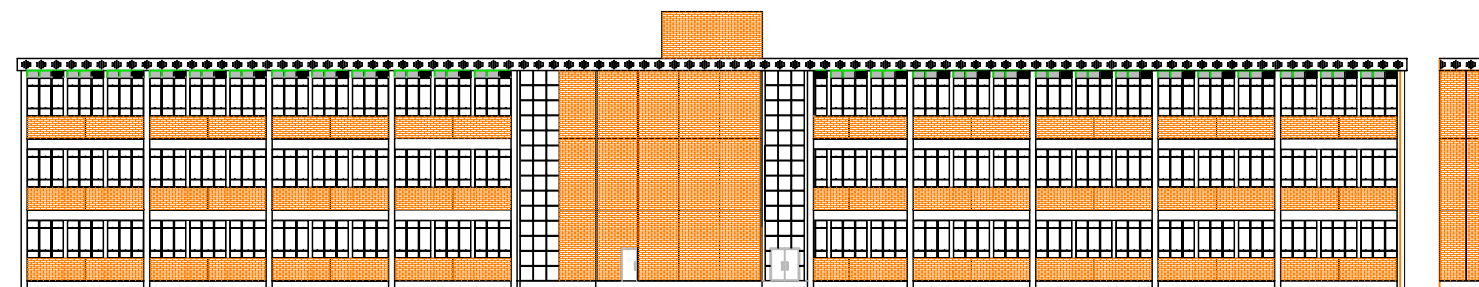


Figura 5.21 - Fachada Leste  
Escala 1 / 500

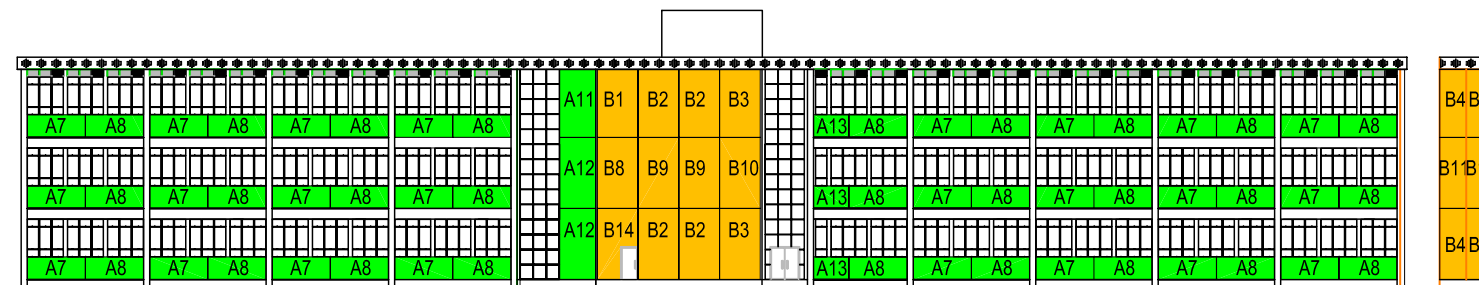


Figura 5.22 - Paginação fachada Leste  
Escala 1 / 500

### 5.2.3 Paginação

A modulação básica do projeto nas fachadas leste e oeste é de 8,10m entre os eixos dos pilares pré-fabricados de concreto. Nas fachadas norte e sul, os pilares estão dispostos em uma modulação que varia entre 6,00m e 7,85m. Nas fachadas leste e oeste, a maior dimensão dos painéis está disposta na horizontal, com exceção dos painéis da escada na fachada leste e das laterais do núcleo central de vidro na fachada oeste. Os painéis das fachadas norte e sul possuem um terço da modulação da estrutura, com a maior dimensão na vertical. O edifício pode ser composto em 2 famílias de painéis revestidos com plaquetas cerâmicas, cujas repetições estão na tabela 5.5:

Tabela 5.5 – Tipos e repetições dos painéis do edifício da faculdade de odontologia

Família	Tipo																Total
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	
A	12	12	12	12	12	12	48	51	3	6	-	-	-	-	-	-	180
B	1	4	2	3	1	1	1	1	2	1	2	1	1	1	1	1	24

Família A: caracterizada por painéis tipo sanduíche em GRC, revestidos com plaquetas cerâmicas. São representados pela cor verde. O índice de repetição global desta família é de IR = 18 painéis.

Família B: caracterizada por painéis do tipo *Stud frame* em GRC, revestidos com plaquetas cerâmicas, que se encontram na fachada leste, cujo índice de repetição global desta família é de IR = 1,5 unidades.

As duas famílias constituem 204 painéis distribuídos em 26 tipos distintos, cujo índice de repetição global é de 7,84 painéis. A área total de fachada é de aproximadamente 3890m<sup>2</sup>, sendo a superfície construída em GRC é de 1713m<sup>2</sup>. Pelo gráfico 5.1, pode-se observar que os painéis A7 e A8 possuem o maior número de repetições, respectivamente 48 e 51 repetições.

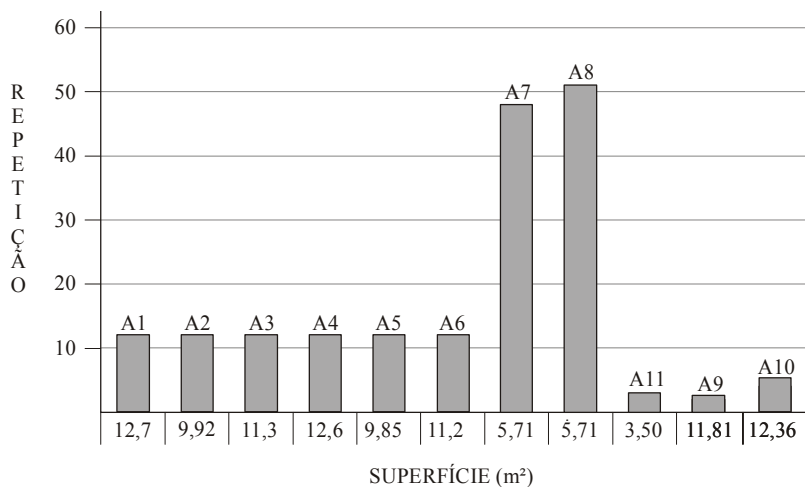


Gráfico 5.1 – Índice de repetição dos painéis tipo sanduíche e suas superfícies

Esses painéis possuem uma área de 5,71m<sup>2</sup> e correspondem aos painéis das salas de aula das fachadas leste e oeste. Outros dois tipos de painéis que possuem um bom índice de repetição são A1 até A6. Esses painéis têm um IR=12 unidades. Esses elementos são revestidos com plaquetas cerâmicas e estão localizados nas fachadas norte e sul. Os painéis tipo *stud frame* possuem baixo índice de repetição, como pode ser observado no gráfico 5.2, sendo que o painel B2 possui o maior IR = 4 painéis.

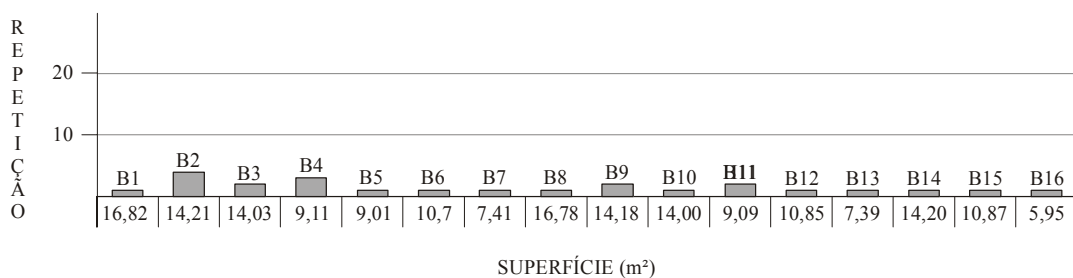


Gráfico 5.2 – Índice de repetição dos painéis tipo *stud frame* e suas superfícies

#### 5.2.4 Características dos painéis

Os painéis sanduíche possuem dimensões médias de aproximadamente (3,85 x 1,50)m, com núcleo interno com 80mm de poliestireno expandido e duas camadas de GRC com 12 mm de espessura cada e as nervuras de reforço em GRC são dispostas horizontalmente a cada 40cm, conforme mostrado na figura 5.23.

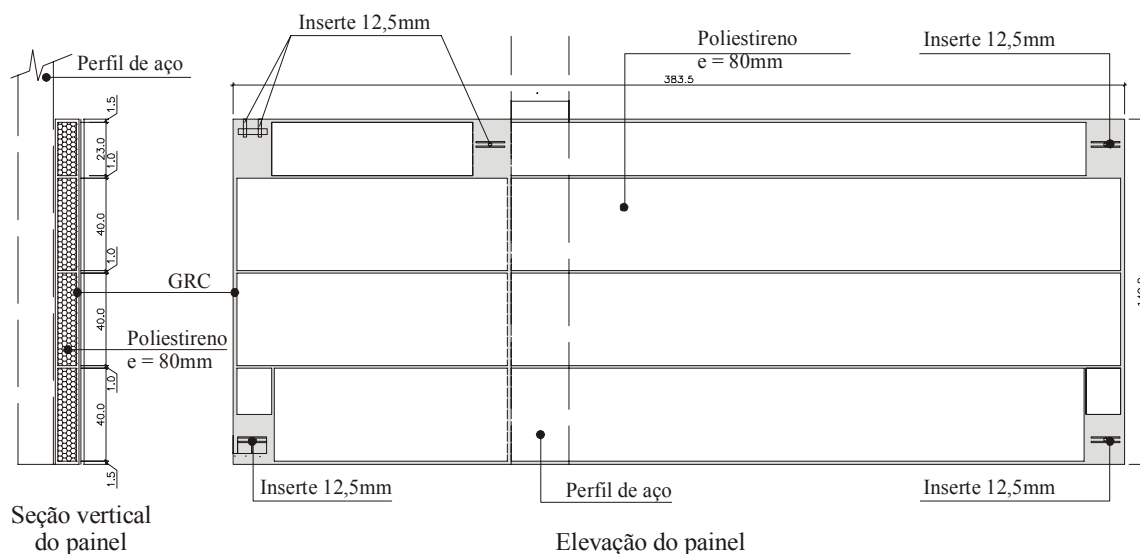


Figura 5.23 – Detalhamento do painel tipo sanduíche A7

A fabricação destes painéis foi realizada através do método de projeção direta, por ser uma alternativa tecnológica de maior produtividade, em comparação com o método de pré-mistura utilizado anteriormente na fabricação dos painéis do ginásio. Para as paredes da escada de incêndio externa, foram utilizados painéis stud frame, por se tratar de superfícies com grandes dimensões, sendo que o detalhe do painel B1 pode ser visto na figura 5.24. A área média dos painéis é de aproximadamente 12m<sup>2</sup>, sendo que os maiores alcançam 16,80m<sup>2</sup>.

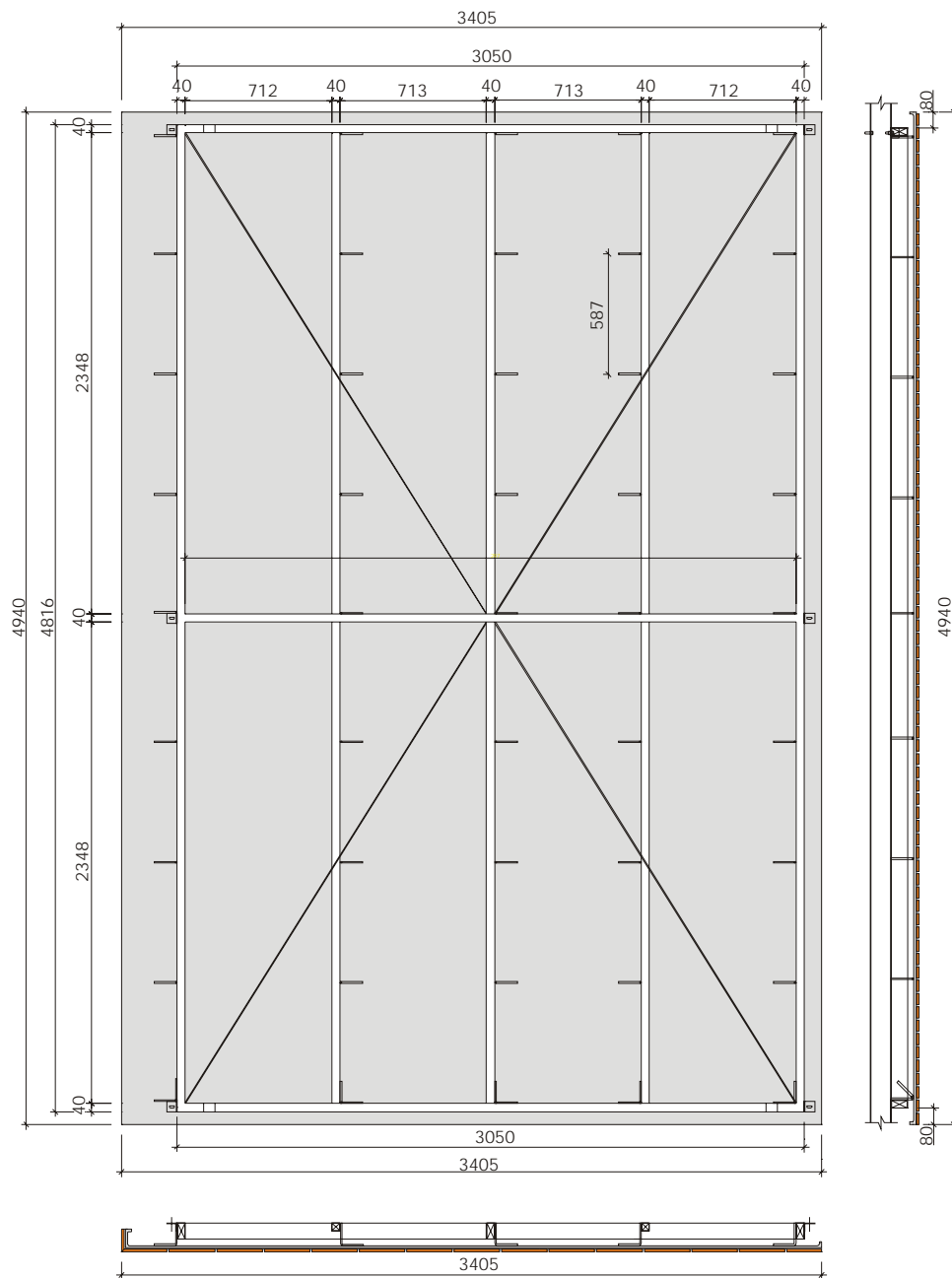


Figura 5.24 – Vista posterior e corte transversal do painel B1 tipo *stud frame*

Pela figura 5.25 pode-se observar o detalhe de canto dos painéis do tipo *stud frame* fixados nos blocos de concreto. Nota-se também a câmara de ar interna formada entre a estrutura e os painéis de fachada e a estrutura metálica de sustentação dos painéis.

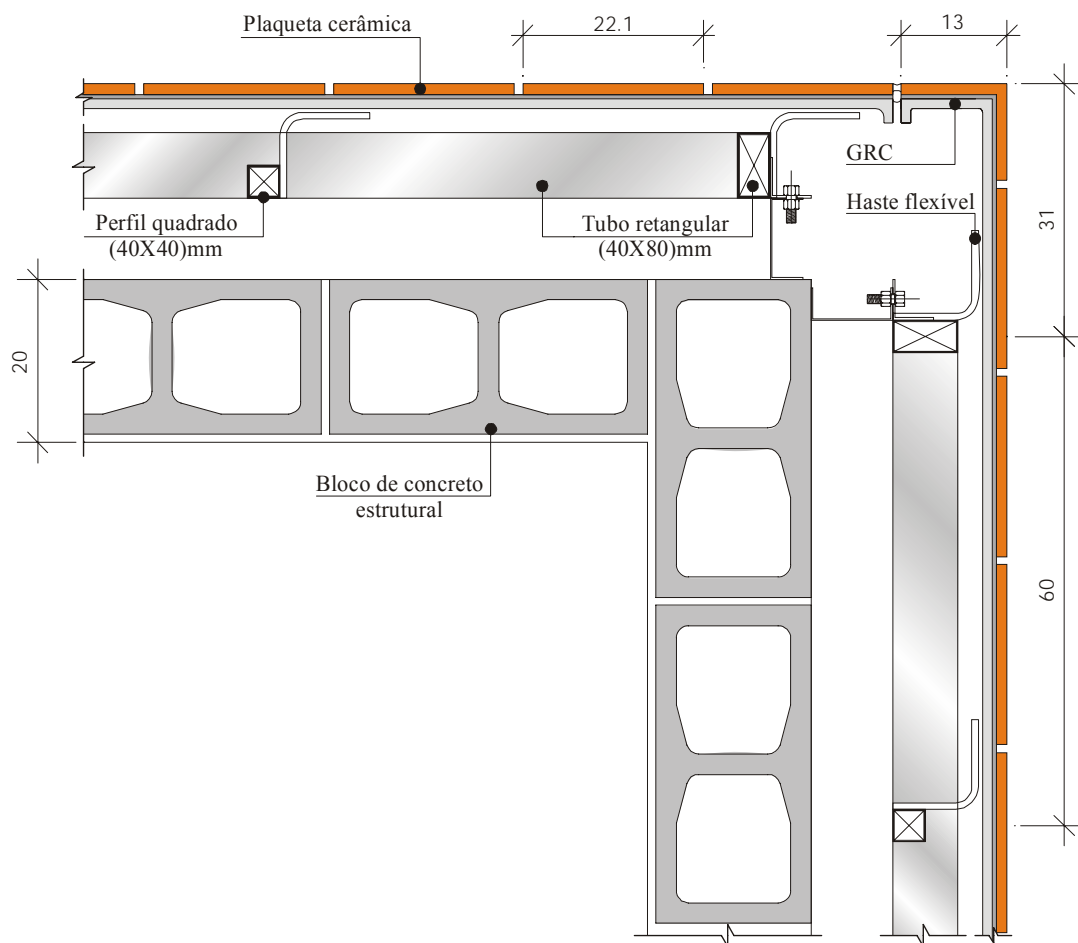


Figura 5.25 – Seção horizontal da esquina da caixa de escada, mostrando o encontro dos painéis em GRC

### 5.2.5 Fixações

Nos painéis sanduíche existem 5 pontos de fixação. Dois que se ligam aos pilares de concreto, um que faz a ligação com a laje, um ponto que é fixado ao pilar metálico e outro que faz a ligação entre as extremidades dos painéis. Para a fixação dos painéis à estrutura, utilizam-se parafusos auto-atarraxante.

As ancoragens dos painéis stud frame, estão distribuídas em 6 pontos, sendo duas na parte superior, duas no centro da peça e outras duas na porção inferior. Todas estas fixações estão parafusadas em perfis metálicos tipo “U”, que por sua vez são ancorados nos blocos de alvenaria estrutural do concreto. A figura 5.26 ilustra as fixações do painel stud frame à estrutura e a figura 5.27 mostra detalhes dos componentes do painel.

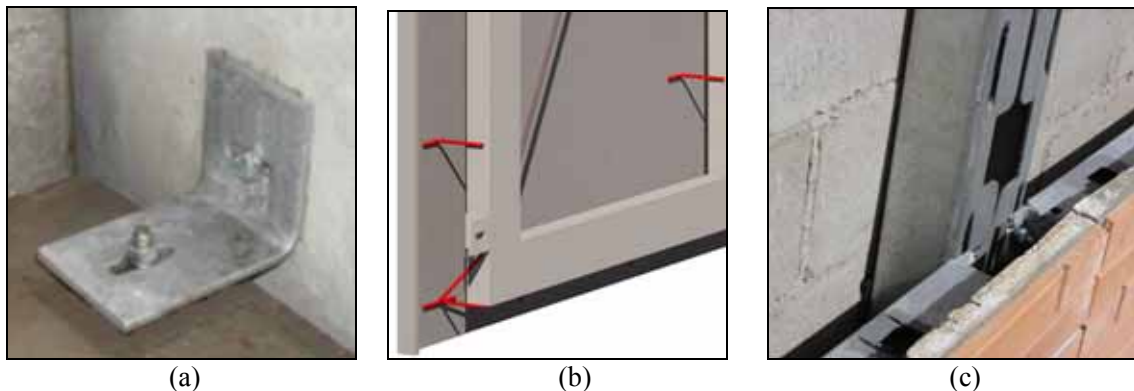


Figura 5.26 – (a) Fixação painel sanduíche; (b) lado posterior do painel stud frame, mostrando em vermelho, as hastes flexíveis; e (c) fixação do painel *stud frame*

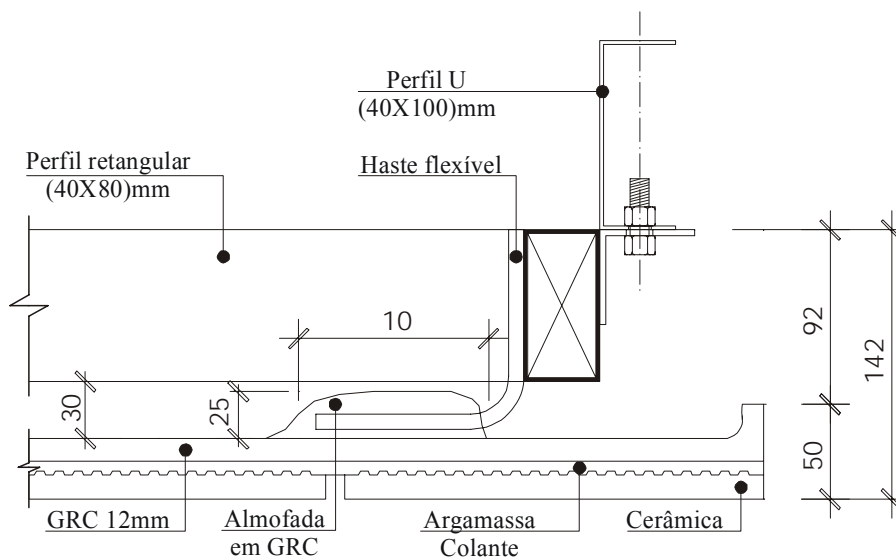


Figura 5.27 – detalhe dos componentes do painel tipo *stud frame*

### 5.2.6 Juntas e selantes

As juntas entre as plaquetas são realizadas com argamassa adesiva na cor cinza, com 10mm de espessura e as juntas entre os painéis também apresentam 10mm de espessura e são preenchidas com silicone na mesma cor. O selante utilizado apresenta uma capacidade elástica de movimentação MAF (*Movement Accommodation Factor*) igual a 25%.



## 5.2.7 Características da montagem dos painéis

O içamento dos painéis sanduíche foi realizado por caminhões com lança telescópicas. Os operários realizaram a montagem pela parte interna do edifício, não necessitando a instalação de andaimes. No entanto, a montagem dos painéis tipo stud frame na alvenaria estrutural foi realizada externamente, exigindo a utilização de andaimes. A figura 3.4 (A) no item 3.3.2 mostra a montagem de um painel sanduíche.

## 5.2.8 Isolamento higrotérmico

O isolamento térmico dos painéis sanduíche é elevado, com uma transmitância térmica de apenas 0,41 (W/m<sup>2</sup>K). Este valor deve-se principalmente aos 80mm de poliestireno expandido encontrado no núcleo do painel, conforme visto na tabela 5.6. A vedação da caixa de escada com painéis tipo *stud frame* possui transmitância térmica de 1,75(W/m<sup>2</sup>K), sendo que as câmaras de ar são as que geram maior contribuição à vedação, conforme mostrado na tabela 5.7. O valor da transmitância térmica global do edifício UG = 2,18(W/m<sup>2</sup>K).

Tabela 5.6 - Resistências térmicas e à passagem de vapor de água das camadas do painel sanduíche

Camada	Espessura (m)	Resistência térmica (m <sup>2</sup> .K/W)	Δt da camada (°C)	Resistência ao vapor (MNs/g)	Conteúdo de umidade (g/Kg)	Δt da camada (°C)
Rsi	-	0,13	0,38	-	-	-
Gesso	0,0125	0,069	0,20	0,62	0,07	0,10
Ar	0,048	0,17	0,51	0,24	0,03	0,04
GRC	0,012	0,013	0,04	0,60	0,07	0,11
Poliestireno	0,08	2,00	5,96	14,8	1,74	3,02
GRC	0,012	0,013	0,04	0,60	0,07	0,13
Arg col	0,005	0,004	0,01	0,15	0,02	0,02
Plaqueta	0,013	0,014	0,04	0,72	0,08	0,17
Rse	-	0,04	0,12	-	-	-
<b>Total</b>	<b>0,18</b>	<b>2,453</b>	<b>7,30</b>	<b>17,73</b>	<b>2,08</b>	<b>3,59</b>

Tabela 5.7 - Resistências térmicas e à passagem de vapor de água das camadas do painel *stud frame*

Camada	Espessura (m)	Resistência térmica (m <sup>2</sup> .K/W)	Δt da camada (°C)	Resistividade ao vapor (MN/g)	Conteúdo de umidade (g/Kg)	Δt da camada (°C)
Rsi	-	0,13	1,62	-	-	-
Reboco	0,02	0,018	0,22	0,60	0,16	0,25
Concreto	0,025	0,014	0,18	2,00	0,54	0,87
Ar	0,14	0,17	2,11	0,70	0,19	0,32
Concreto	0,025	0,014	0,18	2,00	0,54	0,94
Ar	0,195	0,17	2,11	0,97	0,26	0,47
GRC	0,012	0,01	0,13	0,60	0,16	0,30
Arg col	0,005	0,004	0,05	0,15	0,04	0,07
Plaqueta	0,013	0,014	0,2	0,72	0,19	0,37
Rse	-	0,04	0,5	-	-	-
<b>Total</b>	<b>0,437</b>	<b>0,584</b>	<b>7,3</b>	<b>7,67</b>	<b>2,08</b>	<b>3,59</b>

### 5.2.9 Isolamento acústico

Os cálculos realizados pelas fórmulas da norma espanhola NBE-CA-88 e pelo programa computacional indicam que os painéis sanduíche em GRC possuem isolamento acústico de 38 dBA enquanto que os painéis tipo *stud frame* possibilitam 56 dBA de isolamento. No entanto, observa-se que no cálculo do desempenho acústico global, as vedações não satisfazem a norma espanhola e o projeto de norma brasileira, conforme visto nas tabelas 5.8 e 5.9.

Tabela 5.8 – Justificativa de cálculo do isolamento acústico do edifício da faculdade de odontologia. Esta tabela foi adaptada da Norma espanhola NBE-CT-88.

Tipos de vedação	Parte opaca			Esquadrias			Isolamento acústico global a ruído aéreo a <sub>g</sub> , em dBA	
	S <sub>o</sub> (m <sup>2</sup> )	M <sub>o</sub> (Kg/m <sup>2</sup> )	a <sub>o</sub> (dBA)	S <sub>e</sub> (m <sup>2</sup> )	e (mm)	A <sub>e</sub> (dBA)	Projetado	Exigido
Painéis sanduíche	1751	92	38	-	-	-	28,5	≥ 30
*Painéis <i>stud frame</i>	147	275	56	-	-	-		
Esquadrias	-	-	-	1373	4	25		

Tabela 5.9 – Justificativa de cálculo do isolamento acústico em dB do edifício da faculdade de odontologia. Esta tabela foi adaptada da Norma espanhola NBE-CT-88.

Tipos de vedação	Parte opaca			Esquadrias			Isolamento acústico global a ruído aéreo R <sub>g</sub> , em dB	
	S <sub>o</sub> (m <sup>2</sup> )	M <sub>o</sub> (Kg/m <sup>2</sup> )	a <sub>o</sub> (dB)	S <sub>e</sub> (m <sup>2</sup> )	e (mm)	A <sub>e</sub> (dB)	Projetado	Exigido
Painéis sanduíche	1751	92	41	-	-	-	28	≥ 35
*Painéis <i>stud frame</i>	147	275	59	-	-	-		
Esquadrias	-	-	-	1373	4	24		

### 5.2.10 Resistência ao fogo

Segundo a norma do CBCPA, o edifício da faculdade de odontologia é classificado como (Y), por apresentar escadas abertas e vazios; “pele de vidro” sem proteção interna; existência de compartimentos com área superior a 125m<sup>2</sup>, sem divisões ou utilizando divisórias não resistentes ao fogo. Neste caso, a norma não estabelece TRRF mínimo para este tipo de edificação.

No entanto, a lei de Proteção contra incêndio do Estado de São Paulo exige a compartimentação vertical de edificações classificadas como E1 (escolas em geral), que apresentem área superior a 750m<sup>2</sup> ou altura superior a 12m. Nota-se que o edifício da faculdade de odontologia preenche estes requisitos, portanto deve dispor de compartimentação vertical. Assim sendo, para esta edificação, todos os painéis em GRC devem ter no mínimo 1,20m de altura entre as vergas e contra-vergas das esquadrias entre andares consecutivos. Parte da fachada executada em pele de vidro deve possuir os mesmos elementos de separação entre os pavimentos, que devem estar dispostos atrás da fachada de vidro e com altura mínima de 1,20m.

A Instrução Técnica do Corpo de Bombeiros deste Estado também exige que, para fachadas pré-fabricadas, as fixações dos painéis sejam protegidas e que as juntas possuam o mesmo TRRF do painel. As fixações e juntas não possuem nenhum tratamento para proteção contra o fogo, portanto, em uma situação de incêndio chamas e gases podem passar de um andar para outro, aumentando as proporções do incêndio.

Nota-se que os painéis do tipo sanduíche estão protegidos por uma chapa de gesso acartonado, porém segundo Gypsum Construction Handbook (2000), uma chapa de gesso resiste a somente 15 minutos em situação de incêndio. Os painéis do tipo *stud frame* revestem as paredes das caixas de escadas executadas em alvenaria estrutural. Os blocos garantem elevada resistência ao fogo, protegendo inclusive as juntas e fixações. Segundo o anexo B do CBPMESP (2001), um bloco de concreto com dimensões de (19x19x39) cm sem revestimento possibilita 120 minutos de resistência ao fogo e 185 minutos de resistência com revestimento em ambas as faces do bloco.

### 5.3 EDIFÍCIO GARAGEM



Figura 5.28 – Volumetria da fachada oeste mostrando os painéis em concreto armado revestidos com plaquetas cerâmicas e os painéis sinuosos em GRC na cor branca

Projeto de obra de arquitetura: Arq. Magda Kindler

Projeto de fachada: Eng. Fernando Barth

Consultoria de fabricação: Arq. Helio Greven

Localização: Canoas, RS

Ano de execução: 2004

Empresa construtora: Verdicon

Área construída: 21192m<sup>2</sup>

Sistema de fachada: painéis em GRC e em concreto armado

Fabricante: NAVE Sistemas Construtivos

Área de fachadas: 1570m<sup>2</sup>

### 5.3.1 Características do projeto

O edifício garagem possui aproximadamente 176m de comprimento por 66,50m de largura, comportando 1374 vagas para veículos que estão distribuídas em três pavimentos. O pavimento térreo possui 450 vagas, além de 5 sanitários sendo 1 para cadeirantes. O segundo e terceiro pavimentos têm 462 vagas cada um, sendo que este último pavimento não possui cobertura. As quatro escadas de incêndio estão posicionadas junto às fachadas leste e oeste, como mostrado nas figuras 5.28 e 5.29. O acesso dos veículos a cada pavimento é realizado de modo independente com quatro rampas, duas rampas na fachada norte e duas na fachada sul. Como o edifício possui grandes vazios nas fachadas, grelhas para a drenagem das águas pluviais e de serviço foram instaladas nas faces internas das fachadas. Os quatro reservatórios que abastecem os sanitários e garantem a reserva técnica de incêndio estão localizados sobre as quatro escadas. A estrutura do edifício é de concreto pré-fabricado, cuja malha estrutural é de (7,6 x 7,7)m entre os eixos dos pilares. As lajes são treliçadas pré-moldadas com 25cm de espessura. O projeto pode ser visto nas figuras 5.30 a 5.33.



Figura 5.29 – Fachadas da caixa de escadas construída com painéis em concreto armado.

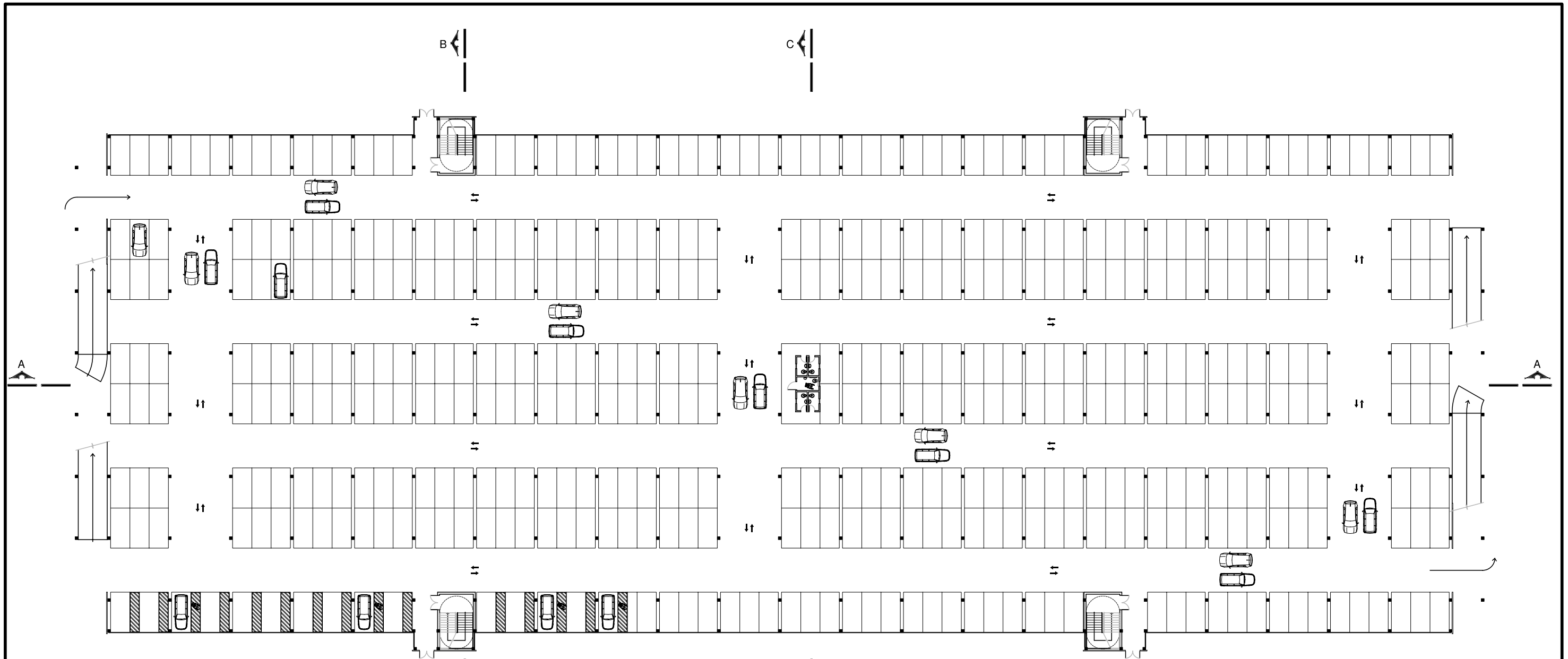


Figura 5.30 - Primeiro Pavimento, (KINDLER, 2004)  
Escala 1 / 500

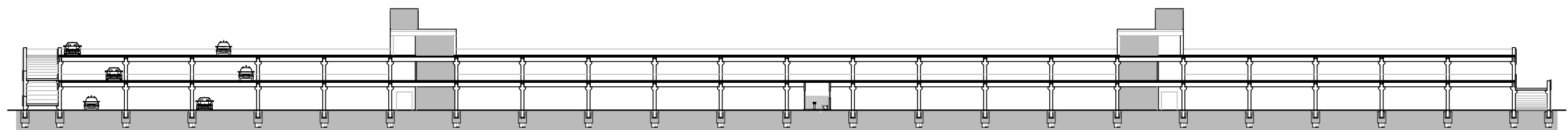


Figura 5.31 - Corte AA (KINDLER, 2004)  
Escala 1 / 500

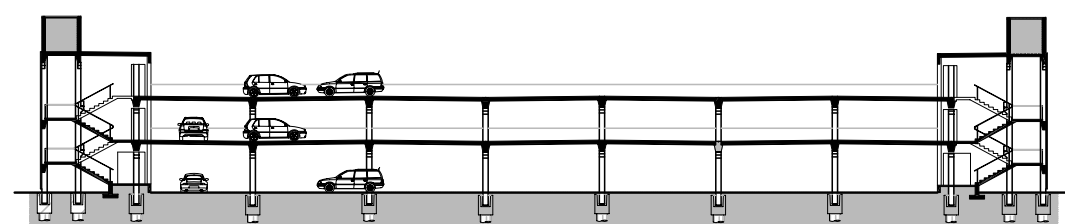


Figura 5.32 - Corte BB (KINDLER, 2004)  
Escala 1 / 500

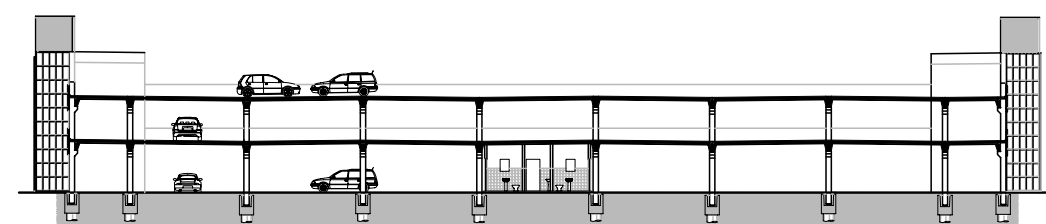


Figura 5.33 - Corte CC (KINDLER, 2004)  
Escala 1 / 500

### 5.3.2 Características das fachadas

O edifício apresenta as quatro fachadas executadas com painéis pré-fabricados em GRC e também com painéis em concreto armado nas caixas de escadas. As fachadas norte e sul são caracterizadas por rampas de acesso e por um grande pórtico com painéis revestidos com plaquetas cerâmicas, conforme pode ser observado na figura 5.34 (A). As vigas invertidas das rampas possibilitam a função de proteção aos automóveis. As fachadas leste e oeste por sua vez, são caracterizadas pelos núcleos das escadas que estão destacados das fachadas, também com o uso plaquetas cerâmicas. As laterais das caixas de escadas são envidraçadas, possibilitando a entrada de luz natural nos ambientes. O destaque nessas fachadas fica por conta de painéis sinuosos, que simulam ondas. São painéis planos que possuem partes com textura ranhurada e partes totalmente lisas, como mostra a figura 5.34 (B). Esta diferenciação nas superfícies dos painéis produz um efeito ótico, que em perspectiva gera uma imagem tridimensional dos mesmos.

Pode-se observar Os painéis em GRC revestidos com plaquetas cerâmicas nos pórticos e os painéis em GRC branco nos fechamentos laterais das fachadas. Percebe-se o ritmo compositivo proporcionado pelos painéis sinuosos nas fachadas leste e oeste com a diferença das superfícies lisas e ranhuradas dos painéis.



Figura 5.34 – Vista da (a) rampa de acesso da fachada Norte e (b) dos painéis sinuosos na fachada Oeste.

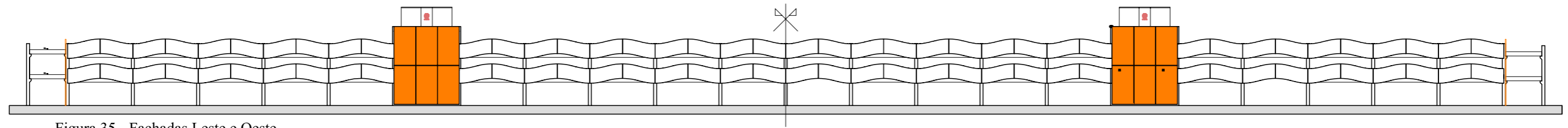


Figura 35 - Fachadas Leste e Oeste  
Escala 1 / 500

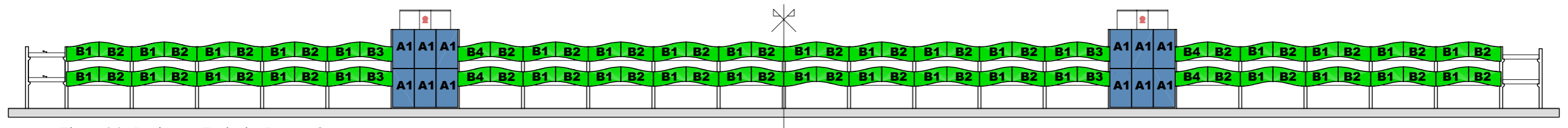


Figura 36 - Paginação Fachadas Leste e Oeste  
Escala 1 / 500

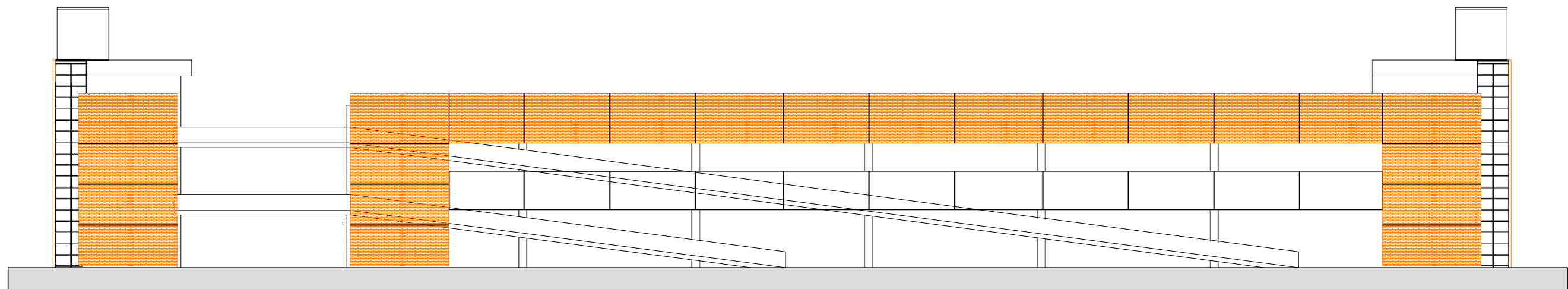


Figura 37 - Fachadas Norte e Sul  
Escala 1 / 200

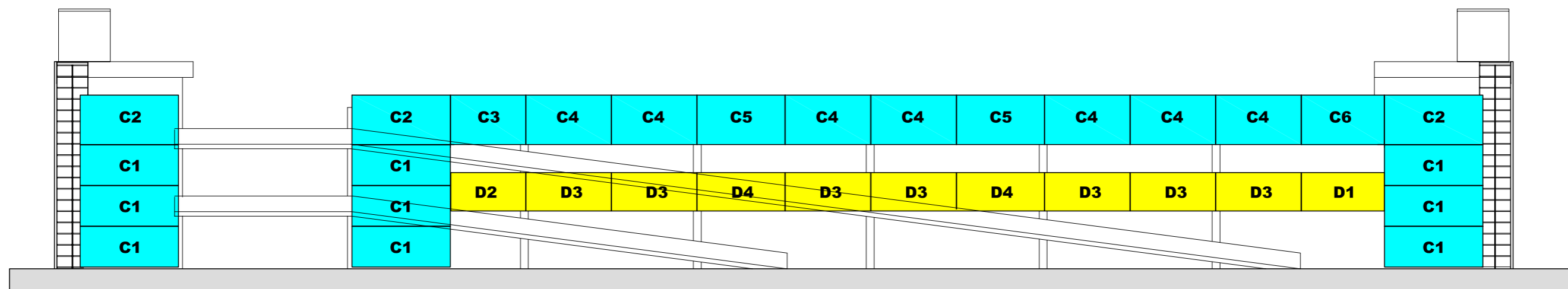


Figura 38 - Paginação Fachadas Norte e Sul  
Escala 1 / 200



### 5.3.3 Paginação

A modulação básica do projeto é de 7,6m x 7,7m entre os eixos dos pilares pré-fabricados de concreto. Os painéis sinuosos das fachadas leste e oeste seguiram a metade da modulação da estrutura, ou seja, 3,8m. Nos cantos do edifício e nas caixas de escadas a modulação da estrutura foi diferente, variando entre 2,3m e 4,4m. Devido a essas mudanças, os painéis dos pórticos das fachadas norte e sul obtiveram medidas variadas. Os painéis localizados nas escadas não seguiram a modulação proposta pelos pilares da estrutura, pois os mesmos puderam ser fixados nas vigas de borda de cada pavimento. O edifício pode ser composto em 4 famílias de painéis, como pode se visto na tabela 5.10:

Família A: caracterizada por painéis em concreto armado, revestidos com plaquetas cerâmicas, localizados nas caixas de escadas. São representados pela cor azul escuro. O índice de repetição global desta família é de IR = 24 unidades;

Família B: são painéis em GRC tipo sanduíche, sinuosos, produzidos com cimento branco e localizados ao longo das fachadas leste e oeste. Sua representação na paginação da fachada é verde. Esta família é a mais representativa, pois possui IR = 40 painéis;

Família C: na cor azul claro - painéis na cor azul claro - é formada por painéis em GRC, revestidos com plaquetas cerâmicas, que se encontram nas fachadas norte e sul. Possui um IR = 7,67 unidades;

Família D: na cor amarela - são painéis em GRC tipo sanduíches com formato retangular, produzidos com cimento branco e localizados ao longo das fachadas norte e sul. Possuem um índice de repetição de 5,5 painéis.

Tabela 5.10 – Tipos e repetições dos painéis do edifício garagem

Família	Tipo						Total
	1	2	3	4	5	6	
A	24	-	-	-	-	-	24
B	72	72	8	8	-	-	160
C	18	6	2	14	4	2	46
D	2	2	14	4	-	-	22

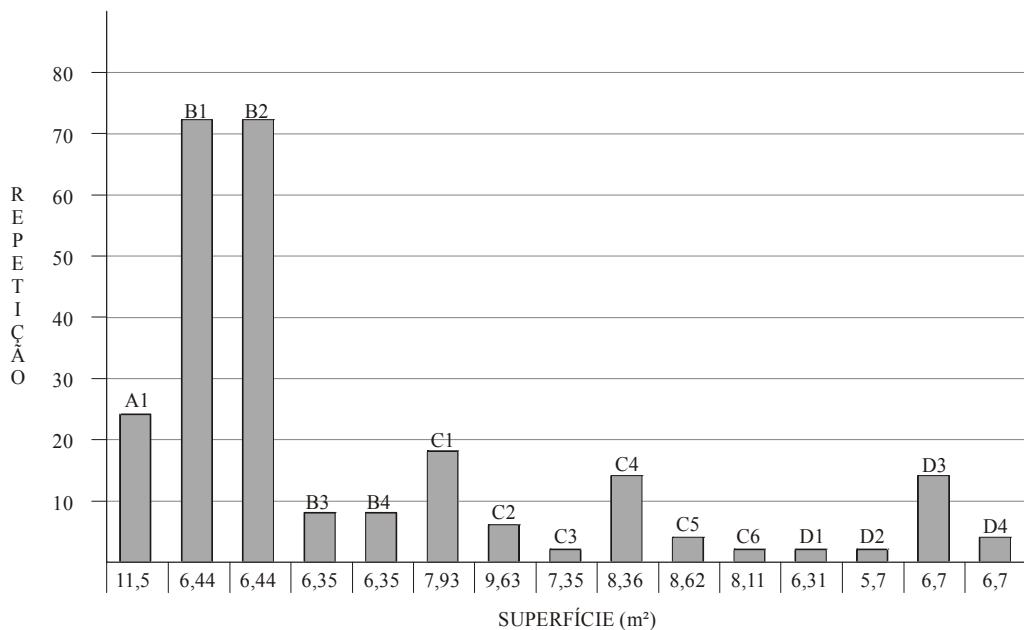


Gráfico 5-3 – índice de repetição dos painéis sanduíche em GRC

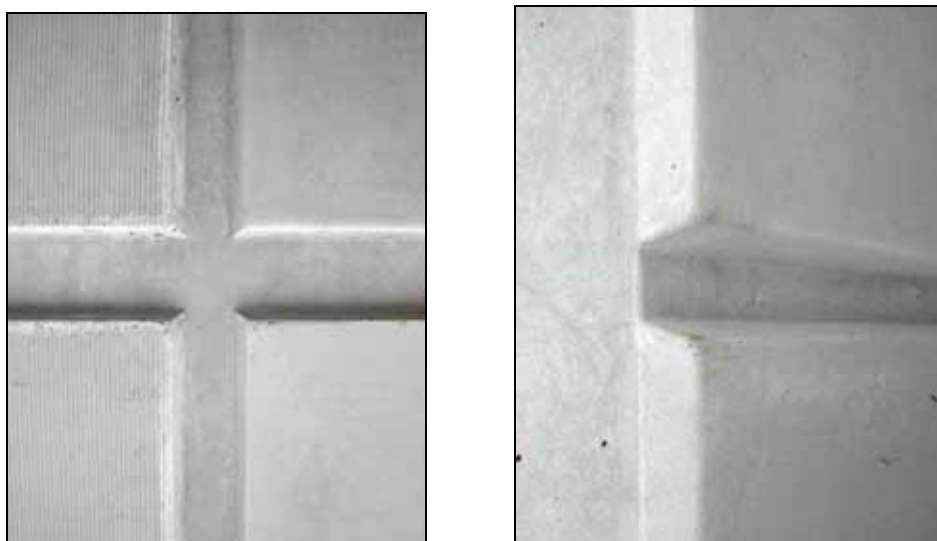
As quatro famílias constituem 252 painéis distribuídos em 15 tipos distintos, cujo índice de repetição global IRG = 16,8 painéis. A área total de fachada é de aproximadamente 1570 m<sup>2</sup>. Pelo gráfico 5.3 observa-se que os painéis B1 e B2 possuem o maior número de repetições. Estes possuem uma área de 6,44m<sup>2</sup> e correspondem aos painéis sinuosos das fachadas Leste e Oeste. Outros dois tipos de painel que possuem um bom índice de repetição são o A1 o C1, cuja superfícies apresentam 11,5m<sup>2</sup> e 7,93m<sup>2</sup> respectivamente, no qual o IR é de 24 unidades para o A1 e de 18 painéis para o C1. Esses elementos são revestidos com plaquetas cerâmicas.

#### 5.3.4 Características dos painéis

A edificação conta com dois sistemas construtivos para as vedações pré-fabricadas. Os painéis em concreto armado e os painéis sanduíche fabricados em GRC. Os painéis de concreto armado foram executados com cimento Portland de alta resistência inicial. A face externa recebeu um revestimento com plaquetas cerâmicas na fase de fabricação do painel. Os painéis de canto possuem ângulo de 90°. Contam com plaquetas especiais, em forma de L, para fazer o arremate

das peças. Ao contrário dos painéis em GRC, não foi utilizada argamassa colante na interface entre plaqueta cerâmica e concreto.

Os painéis sanduíche em GRC foram fabricados com cimento branco e areia fina de quartzo, pelo método de projeção direta, com camadas sucessivas com 3mm de espessura, compactadas uma a uma com rolos metálicos até atingirem a espessura de 12mm, com nervuras de reforço e acabamentos superficiais diferenciados, conforme pode ser visto na figura 5.39.



Figuras 5.39 – vistas das ranhuras dos painéis sinusosos sanduíche em GRC. As figuras mostram a diferença entre as superfícies de um mesmo painel, a lisa e a ranhurada.

### 5.3.5 Fixações

Os painéis sinusosos possuem quatro pontos de fixação que utilizam cantoneiras parafusadas nos pilares e nas lajes, conforme mostrado na figura 5.40 (A) e (B). As cantoneiras parafusadas nos pilares possuem furos oblongos de modo a absorver as tolerâncias de fabricação e de montagem, assim como as movimentações por variações de temperatura e umidade. Todas as fixações são galvanizadas. Como estes painéis apresentam a metade da modulação de estrutura, optou-se por fazer a ligação de topo entre eles, de modo a reduzir as deformações provocadas por cargas horizontais, como ilustrado na figura 5.40 (C).

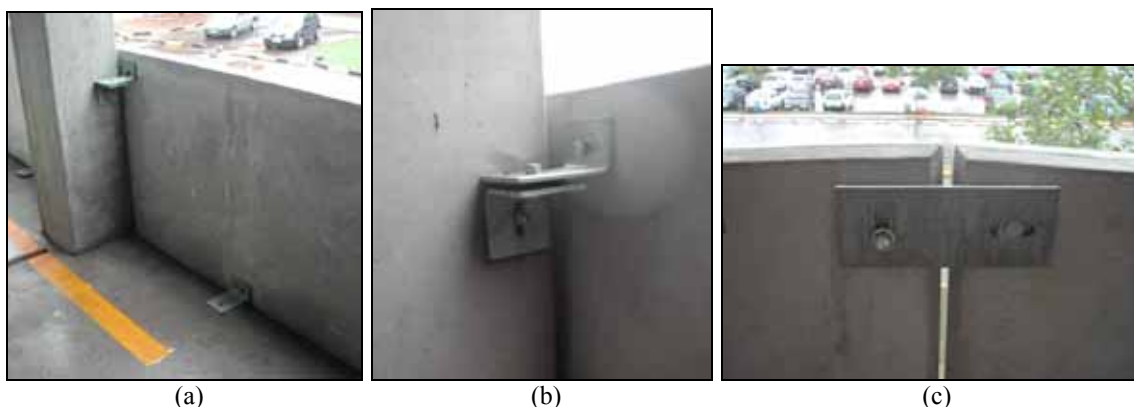
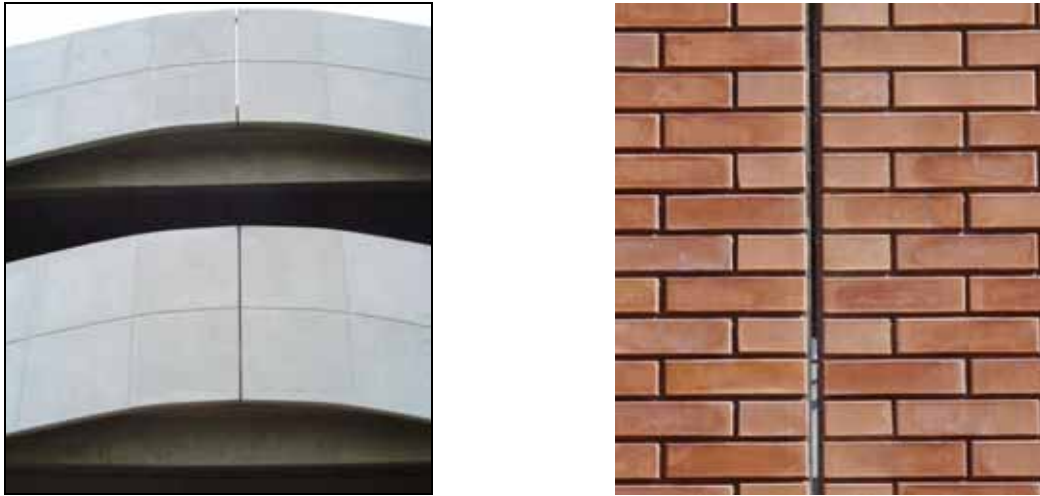


Figura 5.40 – (a)– vista geral das fixações do painel no pilar e na laje; (b) detalhe da fixação do painel na estrutura de concreto e (c) fixação entre painéis

### 5.3.6 Juntas e selantes

Por tratar-se de um edifício garagem, o projeto possui grandes aberturas ao longo das fachadas, em função das características desse tipo de edificação e para liberar facilmente os gases tóxicos produzidos pelas descargas dos veículos. As juntas não precisam ser seladas, já que os selantes têm as funções de estanqueidade e isolamento acústico. A figura 5.41 mostra as juntas abertas, cuja espessura nominal é de 10mm.

As juntas horizontais das caixas de escadas possuem a mesma espessura das juntas entre as plaquetas cerâmicas. As juntas entre as plaquetas são na cor cinza, com 10mm de espessura e as juntas entre os painéis são com silicone na pigmentação cinza, também são com 10mm. Pela figura 5.42 observa-se a junta selada. O tipo de selante utilizado tem como característica um MAF (*Movement Accommodation Factor*) igual a 25%.



Figuras 5.41 – A figura à esquerda mostra uma junta aberta localizada nos painéis sinuosos e à direita uma junta aberta no pórtico da fachadas Norte.

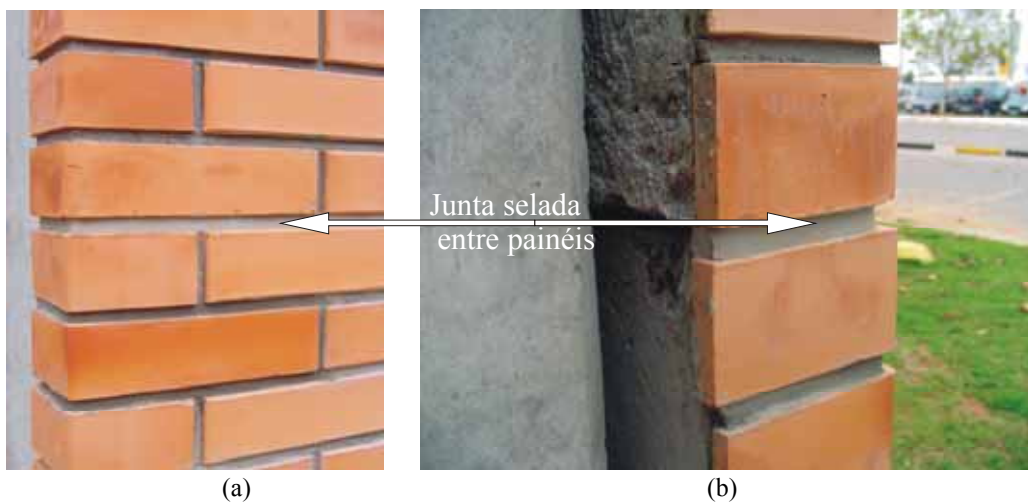


Figura 5.42 - (a) vista anterior e (b) vista posterior do painel de concreto mostrando as juntas de movimentação seladas entre os painéis e as juntas de argamassa entre as plaquetas cerâmicas.

### 5.3.7 Características da montagem dos painéis

O içamento dos painéis foi realizado por caminhões com lança telescópica. Os operários realizaram a montagem pela parte interna do edifício, não necessitando a instalação de andaimes. O índice de produção do selamento das juntas entre os painéis de concreto foi de 4 painéis por dia, segundo o fabricante. Os caimentos da face superior dos painéis de fachada são para a parte interna do

edifício. Assim, podem evitar que sujidades e fungos penetrem na parte externa, impedindo manchamentos.

### 5.3.8 Isolamento higrotérmico e acústico

Por tratar-se de um edifício de estacionamentos, que possui todas as fachadas abertas, não há a necessidade de se fazer análises de isolamento higrotérmico e acústico, com exceção dos painéis das caixas de escadas, conforme cálculos vistos na tabela 5.11.

Tabela 5.11 - Resistências térmicas e à passagem de vapor de água das camadas do painel de concreto

Camada	Espessura (m)	Resistência térmica (m <sup>2</sup> .K/W)	Δt da camada (°C)	Resistência ao vapor (MNs/g)	Conteúdo de umidade (g/Kg)	Δt da camada (°C)
Rsi	-	0,13	3,68	-	-	-
Reboco	0,02	0,017	0,48	0,60	0,59	0,94
Concreto	0,10	0,057	1,61	0,80	0,79	1,35
Plaqueta	0,013	0,014	0,40	0,72	0,70	1,30
Rse	-	0,04	1,13	-	-	-
<b>Total</b>	<b>0,113</b>	<b>0,258</b>	<b>7,3</b>	<b>2,12</b>	<b>2,08</b>	<b>3,59</b>

O isolamento acústico dos painéis de concreto é da ordem de 47 dBA.

### 5.3.9 Resistência ao fogo

Segundo a Norma Espanhola NBE-CI-96 e a Instrução Técnica nº08/2004 do Corpo de Bombeiros do Estado de São Paulo, as fachadas devem ter o mesmo TRRF da estrutura principal do edifício. Dessa forma, para este tipo de edificação, os painéis, as fixações e os selantes devem possuir um TRRF de 60 minutos. Observa-se que os painéis não são adequados para esse fim, pois o poliestireno utilizado é inflamável. Notou-se também que as fixações não possuem um tratamento superficial que permita um TRRF de 60 minutos. Nas caixas de escadas não foi constatado nenhum tratamento com selantes com boa resistência ao fogo. No restante do prédio a ausência de selante nas juntas pode provocar a passagem de gases e chamas para os pavimentos superiores, aumentando as proporções do incêndio.

# 6. ANÁLISE DOS RESULTADOS

## 6.1 QUADRO COMPARATIVO DO DESEMPENHO TÉRMICO DAS VEDAÇÕES

Este item apresenta os resultados das análises realizadas tanto para o desempenho térmico, quanto para a resistência à passagem do vapor de água das edificações deste trabalho. Nos presentes estudos de caso, a maioria das vedações utilizada é leve, conforme pode ser observado nas figura 6.1. Os painéis com bastidor metálico utilizados na caixa de escada do edifício da faculdade de odontologia são classificados como vedações pesadas, pois estão associados com os blocos de concreto, assim como os painéis em concreto armado, vistos na figura 6.2. Na tabela 6.1 são apresentados os valores de transmitância térmica calculados de acordo com as normas referidas anteriormente.

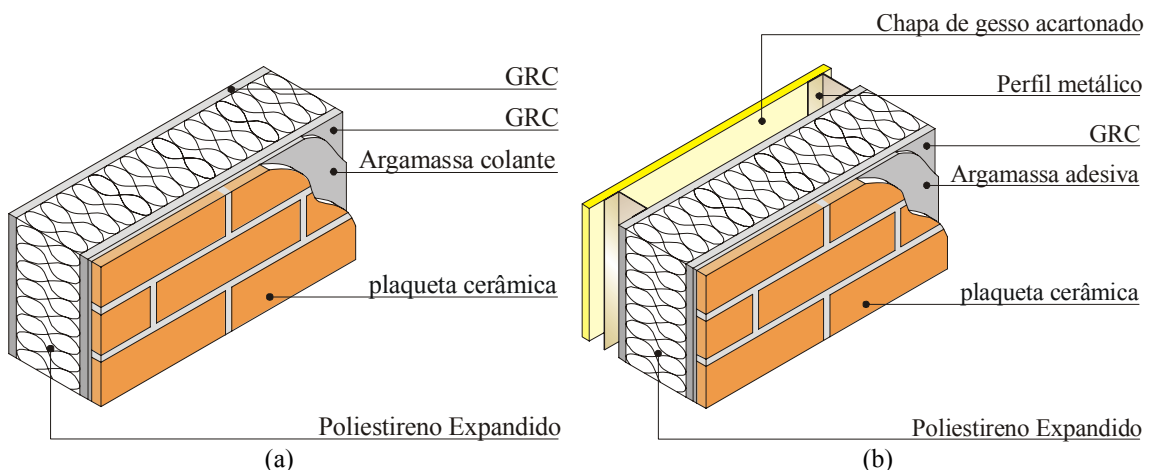


Figura 6.1 – Painel (a) sanduíche com plaquetas cerâmicas utilizado no ginásio e (b) sanduíche com plaquetas cerâmicas e gesso acartonado utilizado no edifício da faculdade de odontologia.

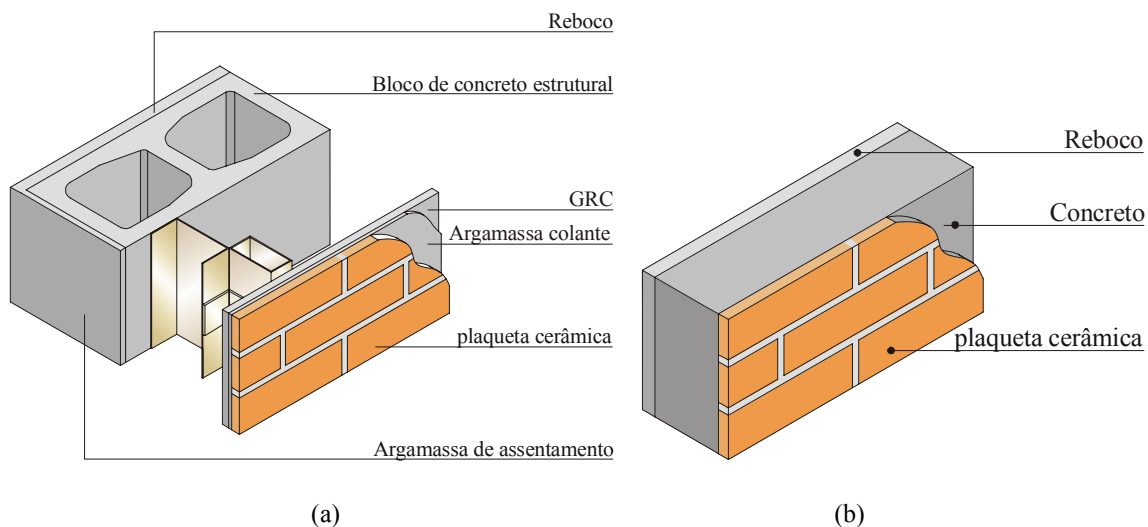


Figura 6.2 – Painel (a) tipo *stud frame* em GRC com plaquetas cerâmicas utilizado na caixa de escada do edifício da faculdade de odontologia e (b) em concreto armado utilizado no edifício garagem.

Tabela 6.1 – Comparação entre as transmitâncias térmicas das vedações dos estudos de caso.

Edifício	Tipo de parede	Massa (Kg/m <sup>2</sup> )	Transmitância térmica (W/m <sup>2</sup> .K)			
			U	Norma		
				Brasileira U ≤ 3,00	Leve U ≤ 1,20	Pesada U ≤ 1,80
Ginásio	<b>A</b> – GRC sanduíche com plaqueta cerâmica	80	0,37	satisfaz	satisfaz	-
Faculdade odontologia	<b>B</b> – GRC sanduíche com plaqueta cerâmica e gesso	92	0,41	Satisfaz	Satisfaz	-
	<b>C</b> – GRC <i>stud frame</i> com plaqueta cerâmica	255	1,75	Satisfaz	-	Satisfaz
Edifício garagem	<b>D</b> - Concreto com plaqueta cerâmica	265	3,87	Não satisfaz	-	Não satisfaz
Referência	<b>E</b> - Blocos cerâmicos*	160	2,72	satisfaz	Não satisfaz	-
	<b>F</b> - Tijolos aparentes**	170	3,70	Não satisfaz	Não satisfaz	-

Nota:

\* Blocos com dois furos (12,5x6,3x22,5)cm, assentados com espessura de 12.5cm. Valores retirados da tabela C3 do anexo C da norma brasileira NBR 15220 (2005).

\*\* Tijolos com (10x6x22)cm assentados com espessura de 10cm. Valores retirados da tabela C3 do anexo C da norma brasileira NBR 15220 (2005).

Através da tabela pode-se observar que em relação ao conforto térmico, as vedações em GRC satisfazem a norma NBR 15220. Nota-se que as vedações **A** e **B**, que utilizam poliestireno expandido na sua composição possuem transmitâncias térmicas muito baixas. Estas paredes satisfazem ambas as normas de desempenho térmico. O fechamento **C**, também satisfaz as duas normas,



porém pela norma espanhola, esta vedação está próxima do valor máximo admitido de transmitância. As paredes executadas com concreto (**D**) obtiveram o maior valor dentre as analisadas. A transmitância calculada de 4,10 (W/m<sup>2</sup>.K), é superior ao valor exigido pela norma brasileira e muito acima do valor estabelecido pela norma espanhola. Observa-se que esta vedação foi utilizada no edifício garagem, tendo este aberturas ao longo de todas as fachadas. Caso esse fechamento fosse utilizado em edifícios fechados, o desempenho térmico do mesmo seria seriamente afetado, pois permitiria a passagem de grande fluxo de calor para o interior do edifício.

A associação do GRC com blocos de concreto estrutural, reboco, argamassa adesiva e plaquetas cerâmicas faz com que a vedação **C** seja classificada como fechamento pesado, superior a 200Kg/m<sup>2</sup>. Segundo a norma espanhola, para este caso a transmitância térmica deve ser inferior a 1,80 W/(m<sup>2</sup>K). Desta forma verifica-se que a transmitância desta parede também satisfaz os critérios norma espanhola. No entanto, apesar da vedação **C** possuir duas câmaras de ar, sua transmitância térmica é significativamente mais elevada que as vedações **A** e **B**, cujas camadas de poliestireno expandido respondem por mais de 90% do isolamento térmico, tendo estas vedações menos da metade da espessura, do fechamento **C**.

Pode-se ter uma idéia comparativa do desempenho entre este sistema construtivo heterogêneo e uma alvenaria convencional com tijolos e blocos cerâmicos aparentes. O valor da transmitância térmica da vedação com tijolos cerâmicos sem revestimento não satisfaz ambas as normas, principalmente a norma espanhola, pois é três vezes superior ao valor estabelecido por esta última. A vedação com blocos cerâmicos sem revestimento apresenta valor mais baixo que o tijolo, por possuir câmaras de ar internas, fazendo com que satisfaça a NBR 15220, porém fica acima do estabelecido pela NBE-CT-79. É importante salientar que os valores de transmitância térmica apresentados são para vedações que não possuem água em seu interior. Conforme afirmam Barros et al (1997), o teor de umidade influencia na transmitância térmica.

Outro aspecto que merece destaque é a resistência térmica global de dois edifícios dos estudos de caso. O edifício da faculdade de odontologia satisfaz o valor exigido pela NBE-CT-79. No entanto, o ginásio não satisfaz esta norma, devido à elevada área envidraçada e ao alto valor de transmitância térmica desta.

## 6.2 QUADRO COMPARATIVO DA CONDENSAÇÃO E TRANSFERÊNCIA DE VAPOR DE ÁGUA

As paredes caracterizadas por matrizes porosas possibilitam as transferências de vapor de água através de seus capilares. O vapor de água existente nos ambientes e nas vedações pode sofrer condensação em função do rebaixamento brusco das temperaturas externas.

Como o Brasil não dispõe de norma para avaliar o desempenho higro-térmico das edificações, utilizaram-se os dados de um programa computacional, denominado Analysis Bio, desenvolvido pelo Laboratório de Conforto Ambiental do Departamento de Arquitetura da UFSC e as exigências da norma espanhola NBE-CT-79. Para o ambiente interno foram adotadas as temperaturas de conforto de 15°C e 18°C, dependendo do uso da edificação, e umidade relativa de 75%. Para o ambiente externo considerou-se umidade relativa de 95% e temperaturas médias mínimas para a cidade de Porto Alegre que é de 10,7°C, nos meses de junho e julho.

A partir dessas considerações determinaram-se os gradientes de temperaturas das diferentes camadas e das respectivas temperaturas de condensação para as vedações dos estudos de caso, que podem ser observadas nas figuras 6.3 e 6.4.

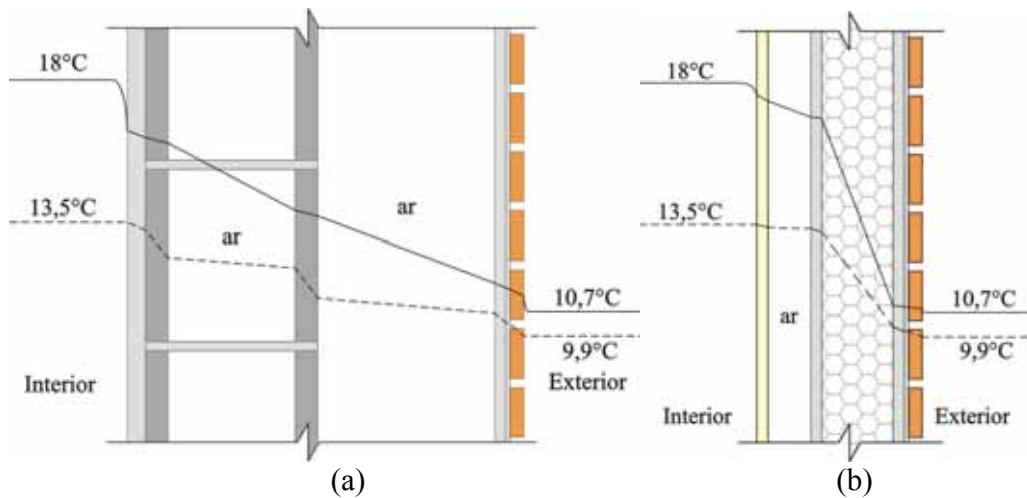


Figura 6.3 – Comportamento higro-térmico das vedações com painéis (a) stud frame e (b) sanduíche, para o edifício da Faculdade de Odontologia

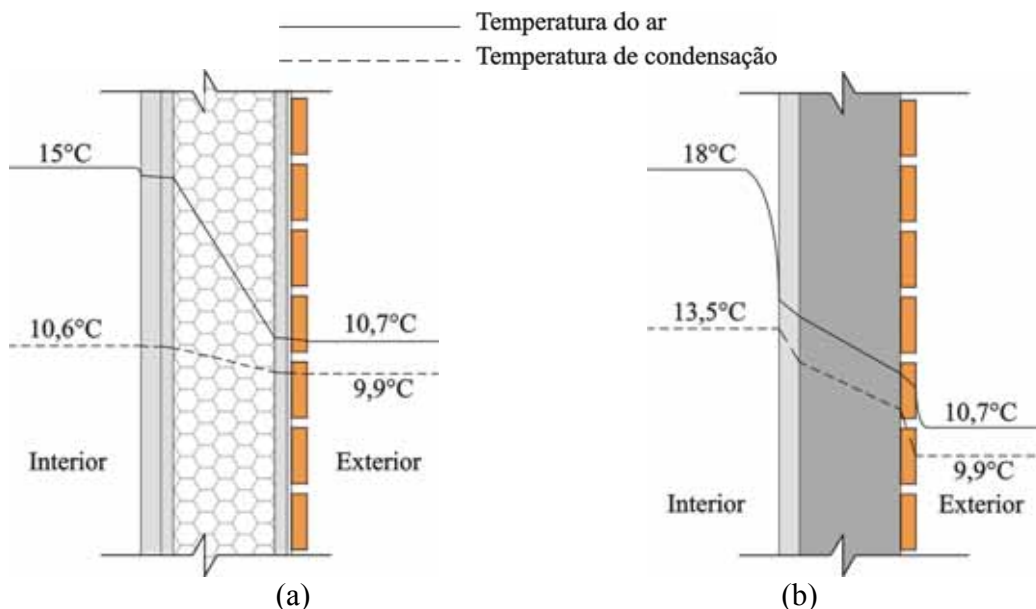


Figura 6.4 – Comportamento higro-térmico (a) vedação com painel sanduíche no ginásio e (b) painel de concreto localizado nas caixas de escada do edifício garagem

A condensação intersticial somente ocorrerá se houver o cruzamento das temperaturas internas (linha contínua) e das temperaturas de condensação (linha tracejada) nas diversas camadas da vedação. Pode-se notar que, para as temperaturas analisadas, nenhuma das vedações dos estudos de caso apresentou intersecção destas linhas, ou seja, risco de condensações. O poliestireno expandido é o principal responsável pelo isolamento térmico e variações de temperatura, como pode ser visto nas figuras 6.3 e 6.4. No entanto,

pode-se observar na figura 6.7 que para temperaturas externas mais baixas, por exemplo 3°C, possíveis de serem alcançadas nas regiões altas e frias do Sul do Brasil, existe o risco de condensação nas camadas internas e nas fixações dos painéis junto às câmaras internas. Esta condensação pode provocar a corrosão das fixações, prejudicando o desempenho estrutural do painel.

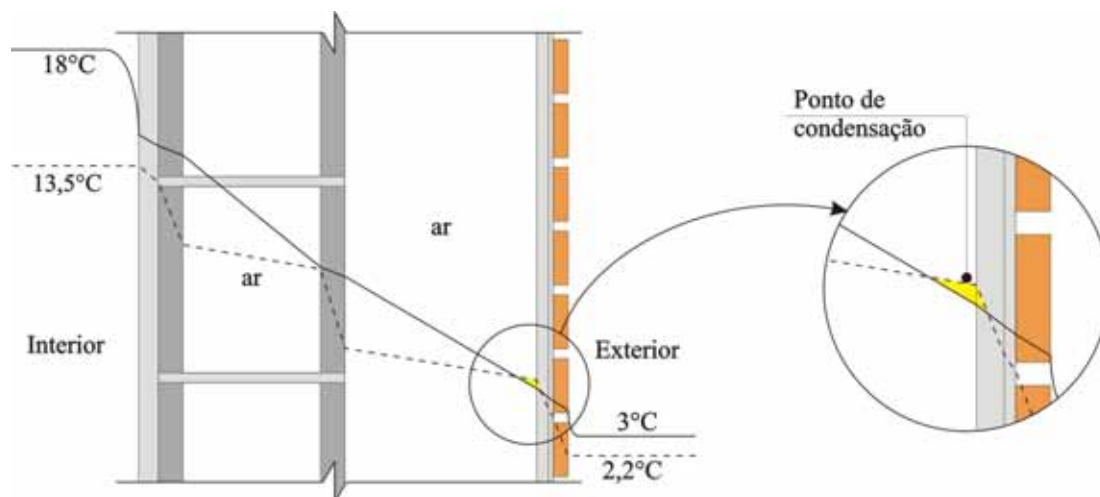


Figura 6.5 – Condensação intersticial no painel em GRC tipo *stud frame* da caixa de escada faculdade de odontologia para temperatura externa de 3°C

Uma possível solução para este problema pode ser a incorporação de uma barreira impermeável ao vapor, de modo a não causar condensações intersticiais nas vedações. Segundo a NBE-CT-79, um material para ser chamado de barreira ao vapor de água deve possuir resistência à passagem ao vapor de no mínimo 10 MNs/g, que é o resultado da multiplicação de resistividade ao vapor de água do material com a sua espessura.

### 6.3 QUADRO COMPARATIVO DO DESEMPENHO ACÚSTICO

Uma simples camada de GRC com 10mm de espessura, com 2000 Kg/m<sup>3</sup> tende a isolamento acústico de 30 dBA e dobrando-se a espessura da camada de GRC, o isolamento aumenta em 5 dBA, (TRUE, 1986). Segundo o projeto de norma brasileira (2001), o valor mínimo de isolamento acústico para um fechamento é de 35 dB. O valor da norma Espanhola NBE-CA-88 refere-se ao isolamento global do edifício, sendo que o mínimo é de 30 dBA. Para valores de isolamentos globais deve-se considerar além dos painéis, a área das esquadrias e

do isolamento acústico proporcionado por estas últimas. A tabela 6.2 mostra o isolamento acústico proporcionado pelas vedações dos estudos de caso.

Tabela 6.2 – comparação entre os isolamentos acústicos das vedações dos estudos de caso.

Edifício	Tipo de parede	Massa (Kg/m <sup>2</sup> )	Índice de redução sonora				
			R em dBA	R em dB	Norma		
					NBE- CA-88	ABNT - Projeto 02:136.01.004	
Ginásio	<b>A</b> – GRC sanduíche com plaqueta cerâmica	80	34	38	≥ 30	35	Mínimo
Faculdade odontologia	<b>B</b> – GRC sanduíche com plaqueta cerâmica e gesso	92	38	41			
		<b>C</b> – GRC stud frame com plaqueta cerâmica	255	56		59	40 a 45
Edifício garagem	<b>D</b> - Concreto com plaqueta cerâmica	265	47	50			
Referência	<b>E</b> - Blocos aparentes*	160	39	44		>45	Elevado
	<b>F</b> - Tijolos aparentes**	170	40	45			

Nota:

\* Blocos com dois furos (12,5x6,3x22,5)cm, assentados com espessura de 12.5cm.

\*\* Tijolos com (10x6x22)cm assentados com espessura de 10cm.

Pela tabela 6.2 nota-se que a vedação mais leve **A**, possui isolamento suficiente para satisfazer a norma espanhola e o projeto de norma brasileira, sendo que as vedações **C** e **D** possuem os maiores índices de isolamento, entre 59 e 50 dB respectivamente, o que corresponde ao melhor desempenho (elevado) pelo projeto de norma Desempenho de Edifícios Habitacionais de até 5 Pavimentos (2001). Percebe-se que, apesar da vedação **C** apresentar massa um pouco menor que a vedação **D**, proporciona maior isolamento acústico, devido à câmara de ar com cerca de 20cm presente entre os componentes construtivos. Uma comparação pode ser feita com os fechamentos **E** e **F**, que são comumente utilizados no campus da ULBRA, que possuem desempenho classificado como superior, pelo projeto de norma (2001). Pelos cálculos realizados, nota-se que todas as vedações dos estudos de caso satisfazem o projeto de norma brasileira (2001). Pela norma NBE-CA-88, pode-se observar que os isolamentos acústicos dos painéis pré-fabricados estão acima do valor mínimo estabelecido.

De outra parte, nota-se que o isolamento acústico global das vedações do ginásio e do edifício da faculdade de odontologia não satisfazem o projeto de

norma brasileira de Edifícios Habitacionais até cinco Pavimentos e a norma espanhola NBE-CA-88. Isto ocorre porque a área de esquadrias é elevada, o que produz um rebaixamento no o isolamento acústico das vedações.

#### 6.4 QUADRO COMPARATIVO QUANTO À RESISTÊNCIA AO FOGO

No ginásio observa-se que as fixações dos painéis estão protegidas por uma camada de 15mm de GRC, mais 10mm de argamassa. Segundo True (1986), 25mm de argamassa já é o suficiente para prover um Tempo Requerido de Resistência ao Fogo de 60 minutos. No entanto, não foi discriminada nenhuma proteção para os selantes, pois os mesmos possuem baixa resistência ao fogo.

Na faculdade de odontologia, as fachadas em GRC são revestidas internamente por chapas de gesso acartonado, porém uma chapa deste material possui um TRRF=15 minutos, sendo insuficiente para garantir a integridade estrutural das fixações e dos selantes. Algumas soluções podem ser sugeridas:

- A utilização de isolamento térmico da junta e dos elementos de fixação que pode ser realizado com fibra de vidro ou fibro-cerâmica e dobrar as espessuras das duas camadas de GRC;
- Colocação de mais três chapas de gesso acartonado, a fim de alcançar um TRRF de 60 minutos, exigido pelas normas ou acrescentar mais uma chapa de gesso, com isolamento entre as chapas e o painel;
- Proteger as fixações, rebaixando-as da mesma maneira que no ginásio esportivo e utilizar o isolamento térmico nas juntas para garantir TRRF de 60 minutos e acrescentar uma chapa de gesso acartonado na existente, para que estas resistam a 30 minutos de fogo, além das duas camadas de GRC, que aumentam a resistência ao fogo em mais de 30 min.

Na caixa de escada deste edifício, as fixações e juntas não precisam de tratamento, pois o sistema em GRC é fechado internamente por uma parede com blocos estruturais de concreto com 19cm de espessura rebocados internamente, que garantem resistência ao fogo de pelo menos 185 minutos, segundo testes

realizados pelo CBPMESP (2001). Segundo as exigências da norma de Porto Alegre, esta vedação não satisfaz os critérios exigidos. No entanto, observa-se que por uma diferença de 80cm na altura da edificação, o TRRF da caixa de escada é duplicado, tendo a escada resistência ao fogo de somente 185min, até alcançar as fixações dos painéis em GRC.

No edifício de estacionamentos, pode-se notar que não houve tratamento superficial nas fixações dos painéis à estrutura. As juntas entre os painéis são abertas, o que pode gerar a propagação de gases e chamas de um andar para outro em situação de incêndio. Dessa forma, no edifício garagem, os painéis, as fixações e os selantes devem possuir um TRRF-60 pela norma espanhola e pela norma do CBPMESP.

# 7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os três estudos de caso permitiram uma caracterização da evolução dos processos de fabricação utilizados, permitindo certa inovação tecnológica nos procedimentos praticados no Brasil e uma riqueza compositiva nas fachadas dos edifícios, capaz de gerar interesse neste tipo de tecnologia.

Com a tecnologia do GRC foi possível obter formas complexas, elementos especiais de fachada, capaz de gerar uma arquitetura diferenciada. Pode-se observar que essa tecnologia permite melhorar o desempenho das fachadas, através da racionalidade nos processos de fabricação e montagem. Pode-se, também, atender aos requisitos e critérios normativos quanto ao desempenho higro-térmico, acústico e resistência ao fogo dos elementos de fachada. Os procedimentos de fabricação do GRC e de montagem dos painéis de fachada permitem aumentar a produtividade, reduzir os prazos de execução e também incrementar o controle de qualidade e a durabilidade destes produtos, colocando-se como uma tecnologia segura e confiável aos usuários.

Esta tecnologia é um meio de se atingir os objetivos estabelecidos em projeto, com desempenho elevado, índices mais elevados de produtividade para a máxima eficiência na produção das fachadas em GRC.

## 7.1 CONSIDERAÇÕES QUANTO AO SISTEMA CONSTRUTIVO EM GRC

Através desses três estudos de caso, pode-se perceber uma certa evolução do sistema construtivo com pré-fabricados em GRC, tanto nos processos de



fabricação, quanto nas aplicações arquitetônicas. Nos três edifícios foram utilizados painéis com revestimento cerâmico. No ginásio, no edifício da faculdade de odontologia e no edifício garagem foram utilizados painéis sanduíche com este tipo de revestimento, caracterizados pela facilidade de colocação das plaquetas cerâmicas nos moldes e uniformidade dimensional. Nas fachadas das escadas do edifício da odontologia optou-se por utilizar os painéis com bastidor metálico tipo *stud frame* com revestimento cerâmico por ser uma alternativa econômica para este tipo de painel de grandes dimensões. No entanto, foram observadas deformações consideráveis na obra, em função das dimensões do painel e da grande deflexão que o painel *stud frame* permite à camada externa de GRC, onde está aderida à plaqueta cerâmica. Observa-se que a melhor opção para impedir esta deflexão é a suspensão do painel, pois neste caso a tração é atuante devido ao seu peso próprio e assim o painel permanecerá alinhado. No edifício garagem, os painéis sinuosos, apesar de apresentarem um grande índice de repetição mostraram-se eficazes para romper com a monotonia gerada pela excessiva repetição de pilares em sua estrutura.

## 7.2 CONSIDERAÇÕES QUANTO AO DESEMPENHO HIGROTÉRMICO

As normas brasileira e espanhola possibilitam a verificação e comparação do desempenho térmico das edificações, sendo que esta última mostrou-se mais rigorosa quanto aos valores admitidos para o fluxo de calor nas vedações. A norma brasileira NBR 15220 - parte 3, prioriza o conforto térmico dos usuários pela área de aberturas para a ventilação dos ambientes, pelo sombreamento destas e por algumas estratégias de condicionamento térmico passivo: ventilação cruzada no verão, assim como aquecimento solar do edifício e inércia térmica nas vedações internas para a condição de inverno. Estes requisitos e critérios adotados pela NBR 15220 podem gerar alguns transtornos aos usuários, como por exemplo: a falta de vento em um dia quente pode elevar a sensação de calor nos ambientes internos, ou a ventilação pode prejudicar a dissipação de calor das pessoas quando a temperatura do ar ultrapassa a temperatura superficial do

corpo. O aquecimento solar da edificação no inverno e a entrada de luz solar pelas aberturas podem gerar desconforto nos dias em que as temperaturas são elevadas, mesmo no inverno.

O desempenho térmico deve ser uma união dos valores de transmitância térmica e também das estratégias de conforto, como o sombreamento das aberturas no verão e área de ventilação mínima. A norma NBR 15220 não fornece nenhum valor sobre a capacidade térmica, impossibilitando saber se o valor encontrado é adequado para determinada zona bioclimática. Esta norma não deve estabelecer que tipo de vedação o projetista deve utilizar em projeto, e sim fixar valores de transmitância térmica máximos. Utilizar a ventilação e o sombreamento das aberturas, e também, estabelecer valores máximos admissíveis para as vedações, além da transmitância térmica global.

Os valores máximos admissíveis referentes à transmitância térmica e o atraso térmico são tratados no anexo C como valores informativos, ou seja, não é obrigatória sua utilização em projeto. Outro aspecto que deixa dúvidas ao projetista é referente aos critérios sobre o tipo de vedações externas e coberturas que devem ser empregados nas edificações, conforme estabelecido nas zonas bioclimáticas. A norma distingue três tipos de vedações e coberturas, sem ao menos estabelecer critérios para sua diferenciação. A NBR 15220 não explica a diferença entre uma vedação externa leve refletora, leve e pesada. De outra parte, a norma espanhola é mais clara neste aspecto, definindo os critérios para cada tipo de vedação externa.

Nota-se que o cumprimento da norma brasileira de desempenho térmico das edificações pode ser prejudicado, pois não existe nenhum tipo de controle informando ao examinador do projeto se o subsistema de vedações verticais satisfaz ou não as exigências normativas. A norma NBE-CT-79, por sua vez, apresenta um formulário que o projetista deve preencher e entregar ao examinador do projeto na prefeitura, a fim de comprovar o desempenho satisfatório da vedação e também do desempenho global da edificação. Este recurso possibilita o cumprimento das exigências normativas e de uma provável fiscalização pelos órgãos competentes. Não houve a preocupação com as

vedações verticais transparentes, como os vidros, que sabidamente possibilitam maior entrada de fluxo de calor para a edificação, assim como com o desempenho global do edifício. A parte 3 desta norma diz respeito somente às habitações unifamiliares de interesse social, porém acredita-se que esta deva se estender a todas as edificações, como prédios residenciais, edifícios comerciais e públicos a fim de diminuir os gastos energéticos principalmente para o resfriamento dos ambientes destes edifícios.

As vedações dos edifícios analisados não apresentaram condensações superficiais e intersticiais, haja vista que as temperaturas não foram inferiores às temperaturas de condensação determinadas pela norma espanhola.

As transmitâncias térmicas globais dos estudos de caso satisfazem a norma espanhola, sendo que o ginásio possui a menor transmitância, proporcionada pela cobertura com telhas metálicas com núcleo em poliestireno expandido.

### 7.3 CONSIDERAÇÕES QUANTO AO DESEMPENHO ACÚSTICO

Observa-se que os painéis pré-fabricados em GRC e em concreto satisfazem ambas as normas brasileira e espanhola, conferindo padrões mínimos de conforto acústico. As normas brasileira e espanhola estabelecem valores mínimos de isolamento acústico, no valor de 35 dB e 30 dBA respectivamente. Os cálculos simplificados da norma NBE-CA-88 para o isolamento acústico de um elemento construtivo mostraram-se satisfatórios, pois o valor do painel tipo sanduíche revestido com plaquetas cerâmicas com duas camadas de GRC de 9mm de espessura obteve o valor de 29 dB. Este valor é próximo do estimado por PCI (1994), afirmando que um painel de GRC com 9mm de espessura possibilita um isolamento acústico de aproximadamente 31 dB. Da mesma forma, a conversão de dB para dB(A) mostrou uma diferença de cerca de 4% entre os valores, sendo considerados aceitáveis. No entanto, os cálculos simplificados da norma espanhola não se aplicam às vedações com câmara de ar interna, utilizadas nas paredes da caixa de escada do edifício de odontologia, sendo neste caso, utilizado um programa computacional para se estimar o isolamento acústico,

demonstrando-se também aceitável, com uma diferença de 7% para com os valores reais.

De outra parte, é indicado que se façam ensaios em laboratório para se determinar o isolamento acústico de vedações com câmara de ar para se obter maior precisão nos dados. Com relação ao isolamento acústico global das vedações nota-se que apesar dos painéis possuírem valores acima do mínimo estabelecido pelo projeto de norma brasileira e pela norma espanhola, o valor final do isolamento ficou abaixo do mínimo recomendável, pois as esquadrias apresentam baixo isolamento e estão presentes em praticamente metade das fachadas, fazendo com que o isolamento não seja muito superior aos valores das esquadrias. Algumas alternativas podem ser utilizadas para adequar os edifícios, tais como: diminuir a área envidraçada nas fachadas, ou aumentar o isolamento acústico das esquadrias com a utilização de vidros laminados ou vidros duplos.

#### 7.4 CONSIDERAÇÕES QUANTO AO DESEMPENHO AO FOGO

Percebe-se que a norma do Corpo de Bombeiros do Estado de São Paulo é idêntica à norma espanhola, no que se refere ao tempo requerido de resistência ao fogo, tanto para as caixas de escada quanto para às vedações. Nota-se que nos três estudos de caso o sistema apresenta alguns pontos frágeis. Nos detalhamentos de projeto não houve a preocupação com os tempos requeridos de resistência ao fogo dos selantes, como também a falta de discriminação de outros dispositivos com resistência ao fogo prolongada. Os selantes utilizados nas juntas destes edifícios possuem pouca resistência ao fogo. O selante consumido pelo fogo pode deixar vazios por onde as chamas e os gases podem se alastrar. As fixações internas e aparentes estão desprotegidas, com exceção dos painéis sanduíche do ginásio e dos painéis tipo *stud frame* da caixa de escada do edifício da Faculdade de Odontologia. Mesmo as fixações dos painéis tipo sanduíche deste último edifício estão protegidas somente por uma camada de gesso acartonado com 12,5mm de espessura, não sendo suficiente para suportar os índices estabelecidos pelas normas.

Para as edificações com média ou baixa resistência ao fogo, o código do Corpo de Bombeiros da Cidade de Porto Alegre não deixa claro qual é a resistência da vedação, ou seja, qual é o TRRF mínimo para as paredes externas. Nota-se que o Decreto Estadual de São Paulo é mais exigente quanto aos equipamentos necessários para o combate ao incêndio. Também faz a diferenciação entre os Tempos Requeridos de Resistência ao fogo para diferentes tipos de edificações, áreas e alturas.

## 7.5 CONSIDERAÇÕES QUANTO À FABRICAÇÃO

Na primeira obra, o método de fabricação utilizado foi o de pré-mistura, sendo que nas demais o processo adotado foi o de projeção direta de GRC, o que permitiu um ganho de produtividade e facilidade de execução, além de maior precisão na fabricação dos componentes. A incorporação de um volume maior de fibras de vidro na matriz cimentícia, proporcionada pelo método de projeção direta, possibilita maior durabilidade do compósito, pois o ataque dos álcalis do cimento é dividido pelas fibras excedentes e, portanto, a perda das propriedades mecânicas será mais lenta, assim como a incorporação de algumas adições, como o metacaulim, que permite uma diminuição mais lenta das propriedades mecânicas iniciais do compósito GRC. Os moldes metálicos utilizados conferiram grande índice de repetição, tornando-se econômicos para a fabricação dos componentes. A inserção das plaquetas cerâmicas diretamente na fabricação dos painéis conferiu rapidez na execução, devido à agilidade de colocação das mesmas no fundo dos moldes e a posterior colocação da argamassa colante. Percebe-se, também, que as tolerâncias de fabricação máximas admitidas para componentes pré-fabricados para vedações indicadas por PCI (1994) são mais rigorosas que as tolerâncias dispostas na norma NBR 9062 (2001). No entanto, faz-se necessária a verificação das medidas efetivas das juntas para comparar com os valores estabelecidos pelas normas e as juntas nominais de projeto.

## 7.6 CONSIDERAÇÕES QUANTO À MONTAGEM

Com relação às normas, nota-se que a NBR 9062 permite tolerâncias de montagem mais elevadas, em comparação às tolerâncias exigidas pelo PCI. Também se observa que as tolerâncias da norma brasileira são direcionadas para a estrutura em concreto armado, sendo que não existem tolerâncias claramente estabelecidas nesta norma para os painéis de fachada.

A montagem dos painéis em GRC possibilitou rapidez de execução das fachadas com equipamentos menores e mais versáteis. Os painéis tipo sanduíche dos três estudos de caso foram fixados a estruturas de concreto armado com montagem interna. O revestimento da caixa de escada do edifício da Faculdade de Odontologia utilizou painéis tipo *stud frame*, montados sobre alvenaria estrutural. A execução das paredes estruturais não foi planejada para receber os painéis em GRC, o que dificultou a montagem. Foram executadas perfurações na alvenaria para permitir o acesso do trabalhador aos pontos de fixação do painel à estrutura auxiliar de aço. Foi necessário o uso de andaimes para a execução da montagem dos painéis. Foi tomado um cuidado especial para impedir que os painéis sofressem qualquer impacto contra os andaimes, de modo a não causar nenhum dano que possibilitasse fissuras ou até quebras dos painéis.

## 7.7 CONSIDERAÇÕES QUANTO AOS ASPECTOS DE COMPOSIÇÃO

Pelos três estudos de caso percebe-se que nos edifícios do ginásio e de odontologia não houve muita liberdade de formas. O destaque neste último edifício fica por conta das peles de vidro. Já no edifício garagem, os painéis sinuosos permitiram a quebra da monotonia para um edifício de grandes dimensões horizontais. Os painéis em GRC apresentaram uniformidade de coloração e espessura de juntas entre as plaquetas em relação às vedações executadas em tijolos aparentes no campus da ULBRA.

## 7.8 RECOMENDAÇÕES PARA FUTUROS TRABALHOS

A partir das considerações deste trabalho pode-se recomendar alguns temas para melhorar o desempenho de painéis em GRC.

- Realização de ensaios de resistência mecânica à compressão, corpo mole e à incidência de cargas de vento para os painéis em GRC;
- Avaliação das condições de segurança das juntas e das fixações dos painéis em situações de incêndio, através de ensaios específicos;
- Monitoração da fabricação com controle de qualidade do compósito GRC através dos procedimentos de fabricação e métodos de ensaios (NBR 15305/15306)
- Recomenda-se que sejam realizados ensaios laboratoriais para determinação da perda de transmissão, em dB, dos painéis em GRC, em relação às normas brasileiras e com os materiais locais;

# ANEXOS

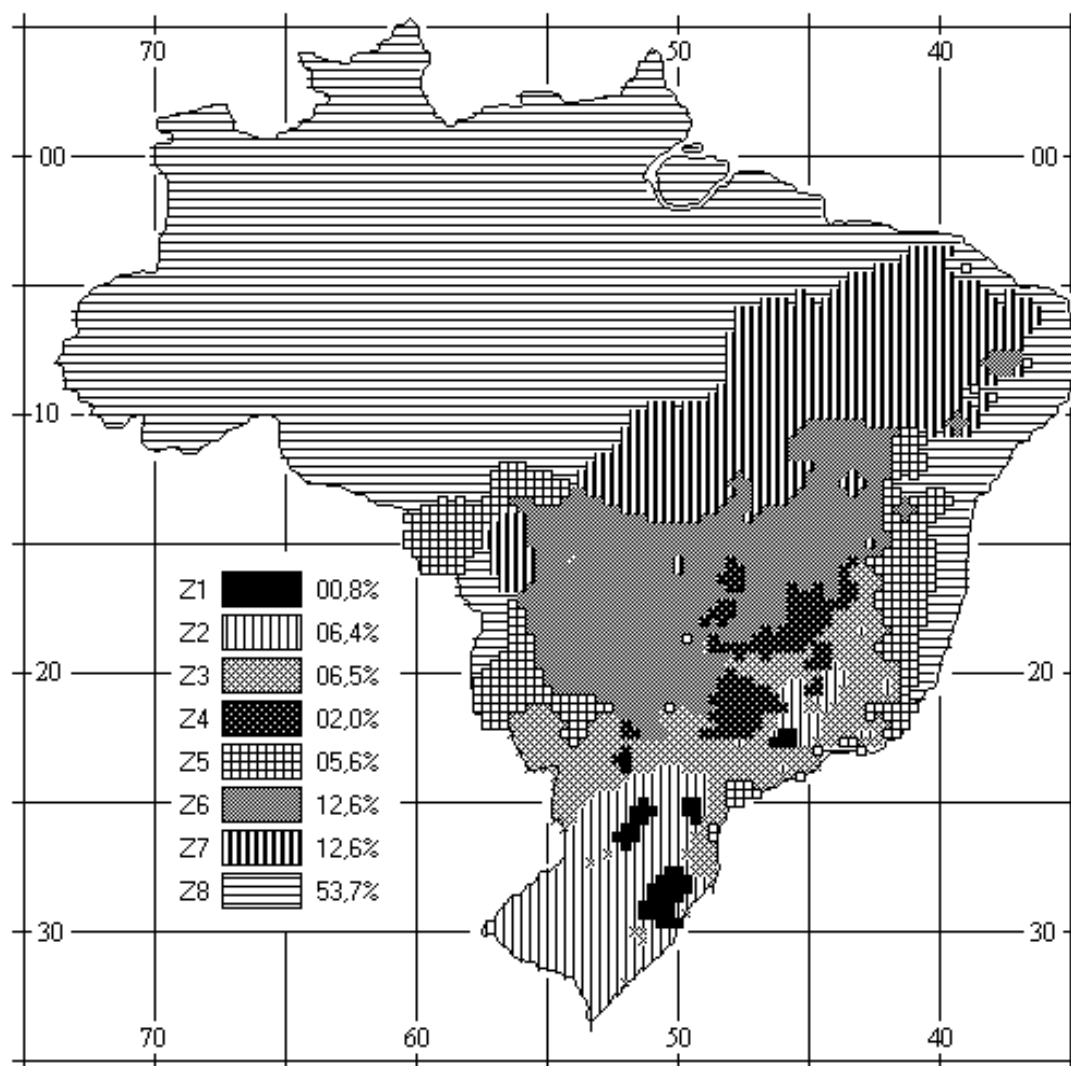


Figura 8.1 – Zoneamento bioclimático brasileiro - NBR 15220



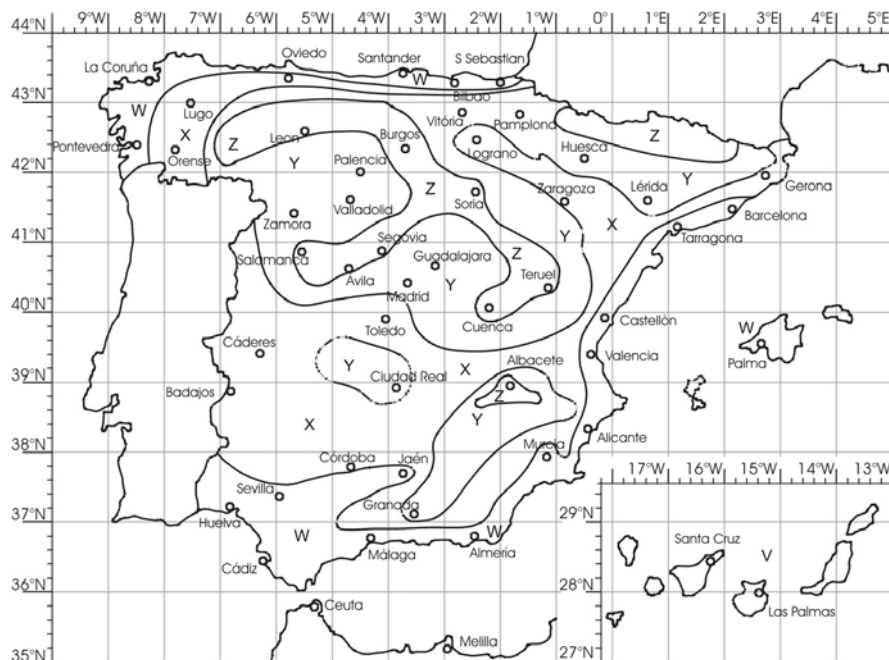


Figura 8.2 – Mapa do zoneamento climático espanhol por temperaturas médias mínimas / NBE-CT-79. Este mapa é para o cálculo da transmitância térmica da vedação.

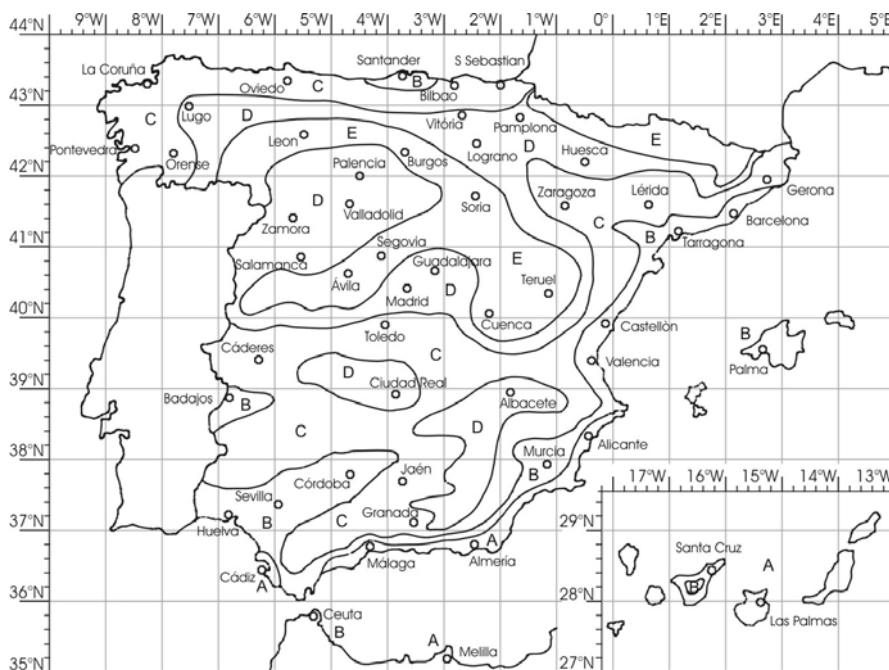


Figura 8.3 – Mapa do zoneamento climático espanhol / NBE-CT-79. Este mapa é para o cálculo da transmitância térmica global do edifício

Tabela 8.1 - Valores de condutividade térmica obtidos através da NBR 15220 e valores de resistividade ao vapor de água obtidos através da NBE-CT-79, utilizados nos cálculos do desempenho térmico.

	Cerâmica	Concreto	Argamassa	Gesso acartonado	Poliestireno expandido
Condutividade (W/mK)	0,9	1,75	1,15	0,18	0,04
Resistividade (MNs/gm)	55	80	30	50	185

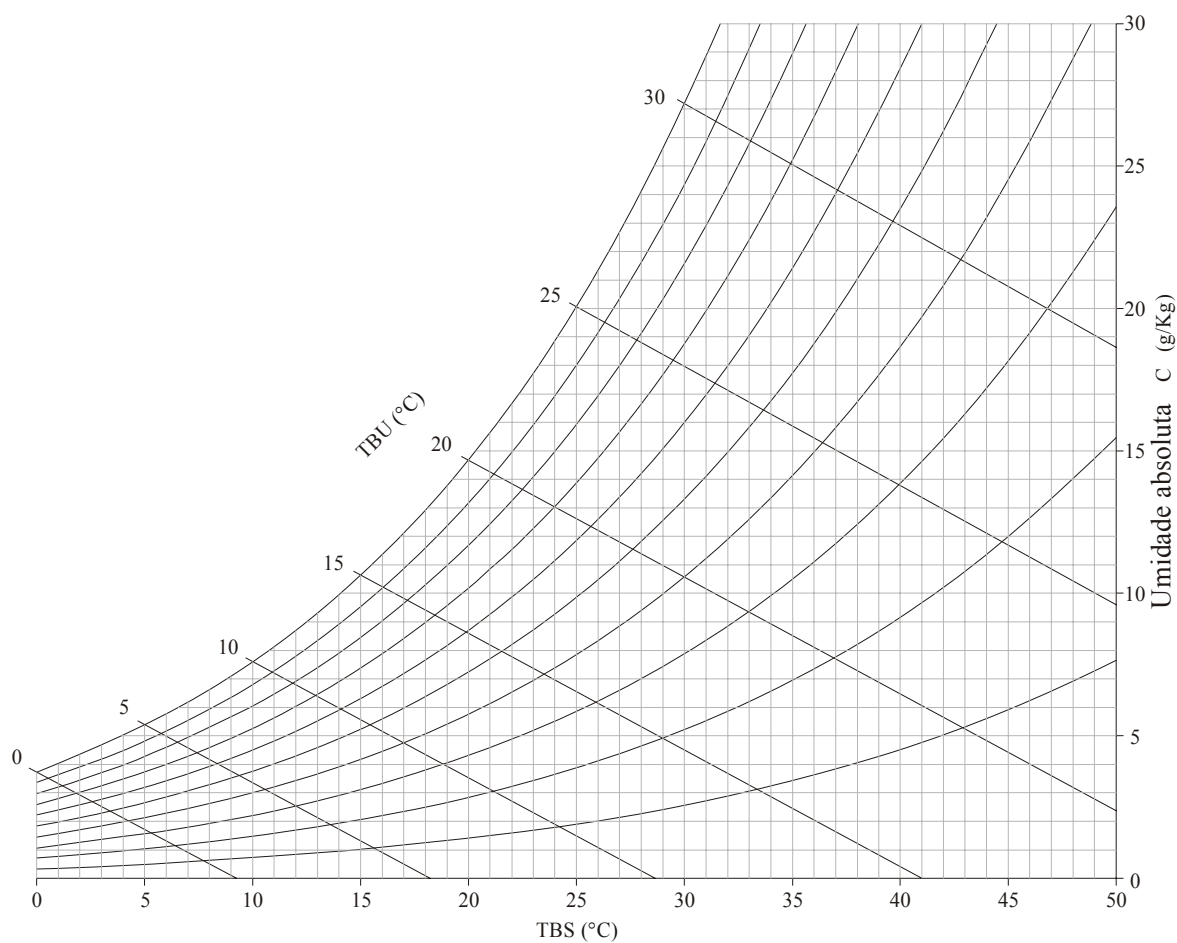


Figura 8.4 – Ábaco psicrométrico para a determinação das temperaturas de condensação e do conteúdo de umidade contido no ar.

Tabela 8.2 - Classificação das edificações quanto às suas características construtivas. Lei Complementar nº 420 (CBCPA, 2001)

Classificação das edificações quanto às suas características construtivas			
Código	Tipo	Especificação	Exemplos
X	Edificações em que a propagação do fogo é fácil	Edificações com estrutura e entrepisos combustíveis e/ou não resistentes ao fogo	Prédios estruturados em madeira, prédios com entrepisos de ferro e madeira
Y	Edificações com mediana resistência ao fogo	Edificações com estrutura resistente ao fogo, mas com fácil propagação de fogo entre os pavimentos	Edificações com paredes-cortinas de vidro; edificações sem isolamento entre pavimentos e entre unidades autônomas e edificações com aberturas entre pavimentos (vazios) e assemelhados.
Z	Edificações em que a propagação do fogo é difícil	Edificações com estrutura resistente ao fogo e isolamento entre pavimentos	Edificações com estrutura de concreto armado calculado para resistir ao fogo

Tabela 8.3 - Edificações do grupo E com área superior a 750 m<sup>2</sup> ou altura superior a 12,00 m; e edificações de divisão G-1 e G-2 com área superior a 750 m<sup>2</sup> ou altura superior a 12,00 m. Tabela parcial.

Fonte: Decreto nº46.076, 2001.

Grupo de ocupação e uso	Grupo E – educacional e cultural		Grupo G – serviços automotivos e assemelhados
	Divisão		
Medidas de Segurança contra Incêndio	E-1 = E-2 = E-3 = E-4 = E-5 = E-6		
	Classificação quanto à altura (em metros)		
	Ginásio	Odontologia	Edifício Garagem
	Térrea	12 < H ≤ 23	6 < H ≤ 12
Acesso de Viatura na Edificação	X <sup>3</sup>	X <sup>3</sup>	X <sup>3</sup>
Segurança Estrutural contra Incêndio	X	X	X
Compartimentação Vertical		X <sup>1</sup>	
Controle de Materiais de Acabamento	X	X	X
Saídas de Emergência	X	X	X
Plano de Intervenção de Incêndio			X
Brigada de Incêndio	X	X	X
Iluminação de Emergência	X	X	
Alarme de Incêndio	X	X	X <sup>2</sup>
Sinalização de Emergência	X	X	X
Extintores	X	X	X
Hidrante e Mangotinhos	X	X	X
Chuveiros Automáticos			

NOTAS:

- 1 – a compartimentação vertical será considerada para as fachadas e selagens dos shafts e dutos de instalações;
- 2 – deve haver pelo menos um acionador manual, por pavimento, a no máximo 5 m da saída de emergência;
- 3 – Recomendado.

Tabela 8.4 - Exigências de proteção contra incêndio por tipos de edificação. (Tabela parcial)

Fonte: Código de Proteção contra Incêndio de Porto Alegre. 2001.

Grupo	Área do maior pavimento > 800m <sup>2</sup>						
	A total (m <sup>2</sup> )	h = zero	h ≤ 6	6 < h ≤ 12	12 < h ≤ 20	20 < h ≤ 30	h > 30
E1	A > 1.600	234	436	436	833	852	852
E3	A > 1.600	256	455	455	855	852	852
G1	A > 1.600	-	335	335	335	432	632

Nota:     código utilizado no edifício da faculdade de odontologia

    código utilizado no ginásio esportivo

    código utilizado no edifício garagem

Tabela 8.5 – Código de exigências para os dispositivos de proteção contra incêndio. (Tabela parcial)

Fonte: Código de Proteção contra Incêndio de Porto Alegre. 2001.

Código das exigências de proteção contra incêndio																
CÓD n°	EXT	SDAL	SSD	IE	HDR	ALR	SPK	Número mínimo de saídas e tipos de escadas								OBS n°
								SD		NE		EP		PF		
								1	2	1	2	1	2	1	2	
256	X	-	X	X	X	X	X	-	X	-	-	-	-	-	-	12-13-16
335	X	X	-	-	X	X	-	-	-	X	-	-	-	-	-	-
833	X	-	X	X	X	X	-	-	-	-	-	-	-	-	X	-

Notas:

EXT – Extintores de incêndio

SDAL – Saída alternativa

SSD – Sinalização de saída

IE – Iluminação de emergência

HDR – Instalações hidráulicas sob comando

ALR – Alarme acústico

SPK – Instalações de chuveiros automáticos (*Sprinklers*)

SD – Saída ou rota de saída

NE – Escada não enclausurada

EP – Escada enclausurada protegida

PF - Escada enclausurada à prova de fumaça

Observações:

12 – Ficam isentas de INSTALAÇÃO HIDRÁULICA SOB COMANDO as edificações dotadas de, no mínimo, duas saídas em paredes opostas ou afastadas entre si no mínimo 10,00m.

13 – somente é exigível a instalação de CHUVEIROS AUTOMÁTICOS nas dependências ligadas às áreas específicas para a prática de esportes (canchas e arquibancadas), quando essas forem superiores a 800,00m<sup>2</sup> e a área total da edificação superior a 1600,00m<sup>2</sup>, é dispensável nas canchas e arquibancadas, independentemente de sua área construída.

16 – as duas SAÍDAS exigidas devem situar-se em paredes diversas ou, quando isso não for possível, distar, no mínimo, 3m uma da outra.

# REFERÊNCIAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS - ASTM C510 - **Standard test method for staining and color change of single- or multicomponent joint sealants.** Philadelphia. 1990. Reaprovada em 1997.

\_\_\_\_\_ASTM C661 – **Test method for indentation hardness of elastomeric-type sealants means of a durometer.** Philadelphia. 1998.

\_\_\_\_\_ASTM C719 - **Standard test method for adhesion and cohesion of elastomeric joint sealants under cyclic movement.** Philadelphia. 1993. Reaprovada em 1998.

\_\_\_\_\_ASTM C792 - **Standard test method for effects of heat aging on weight loss, cracking, and chalking of elastomeric sealants.** Philadelphia. 1993. Reaprovada em 1998.

\_\_\_\_\_ASTM C919 - **Standard practice for use of sealants in acoustical applications.** Philadelphia. 2002.

\_\_\_\_\_ASTM C920 – **Standard specification for elastomeric joint sealants.** Philadelphia. 2002.

\_\_\_\_\_ASTM C1193 - **Standard guide for use of joint sealants.** Philadelphia. 2005a.

\_\_\_\_\_ASTM C1560 - **Standard test method for hot water accelerated aging of glass-fiber reinforced cement-based composites.** Philadelphia. 2003.

\_\_\_\_\_ASTM E119-00 - **Standard test methods for fire tests of building construction and materials.** Philadelphia. 2000.

\_\_\_\_\_ ASTM E136-04 - **Test method for behavior of materials in a vertical tube furnace at 750° C.** Philadelphia.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT - Projeto 02:136.01.001 – **Desempenho de Edifícios Habitacionais de até 5 pavimentos – Parte 1: Requisitos gerais.** Rio de Janeiro. ABNT. 2001.

\_\_\_\_\_ – ABNT - Projeto 02:136.01.004 – **Desempenho de Edifícios Habitacionais de até 5 pavimentos – Parte 4: Fachadas.** Rio de Janeiro. ABNT. 2001.

\_\_\_\_\_ – ABNT – NBR 7171 – **Bloco cerâmico para alvenaria - Especificação.** Rio de Janeiro. ABNT. 1992.

\_\_\_\_\_ – ABNT – NBR 9062 – **Projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado.** Rio de Janeiro. ABNT. 2001.

\_\_\_\_\_ – ABNT – NBR 15305 - **Produtos pré-fabricados de materiais cimentícios reforçados com fibra de vidro - Procedimentos para o controle da fabricação.** Rio de Janeiro. ABNT. 2005.

\_\_\_\_\_ – ABNT – NBR 15306 - **Produtos pré-fabricados de materiais cimentícios reforçados com fibra de vidro - Método de ensaio - Parte 1: Medição da consistência da matriz.** Rio de Janeiro. ABNT. 2005.

\_\_\_\_\_ – ABNT – NBR 15306 - **Produtos pré-fabricados de material cimentício reforçado com fibra de vidro - Método de ensaio - Parte 2: Medição do teor de fibra da mistura no estado fresco – Método de lavagem.** Rio de Janeiro. ABNT. 2005.

\_\_\_\_\_ – ABNT – NBR 15306 - **Produtos pré-fabricados de material cimentício reforçado com fibra de vidro - Método de ensaio - Parte 3: Medição do teor de fibra da mistura projetada.** Rio de Janeiro. ABNT. 2005.

\_\_\_\_\_ – ABNT – NBR 15306 - **Produtos pré-fabricados de materiais cimentícios reforçados com fibra de vidro - Método de ensaio - Parte 4: Medição da resistência à flexão, método “ensaio simplificado de flexão”.** Rio de Janeiro. ABNT. 2005.

\_\_\_\_\_ – ABNT – NBR 15306 - **Produtos pré-fabricados de materiais cimentícios reforçados com fibra de vidro - Método de ensaio - Parte 5: Medição da resistência à**

**flexão, método “ensaio completo de flexão”.** Rio de Janeiro. ABNT. 2005.

\_\_\_\_\_ – ABNT – NBR 15306 - **Produtos pré-fabricados de materiais cimentícios reforçados com fibra de vidro - Método de ensaio - Parte 6: Determinação da absorção de água por imersão e da massa unitária seca.** Rio de Janeiro. ABNT. 2005.

\_\_\_\_\_ – ABNT – NBR 15306 - **Produtos pré-fabricados de materiais cimentícios reforçados com fibra de vidro - Método de ensaio Parte 7: Avaliação das variações dimensionais máximas em função do teor de água.** Rio de Janeiro. ABNT. 2005.

\_\_\_\_\_ – ABNT - NBR 10151 – **Avaliação do Ruído em Áreas Habitadas Visando o Conforto da Comunidade.** . Rio de Janeiro. ABNT. 1987

\_\_\_\_\_ – ABNT - NBR 10152 – **Avaliação do ruído ambiente em recintos de edificações visando o conforto dos usuários – Procedimento.** Rio de Janeiro. ABNT. 1999.

\_\_\_\_\_ – ABNT - NBR 15220 - **Desempenho térmico de edificações - Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator de calor solar de elementos e componentes de edificações.**  
. Rio de Janeiro. ABNT. 2005.

\_\_\_\_\_ – ABNT - NBR 15220 - **Desempenho térmico de edificações - Parte 3: Zoneamento Bioclimático Brasileiro e Diretrizes Construtivas para Habitações Unifamiliares de Interesse Social.** Rio de Janeiro. ABNT. 2005.

AGOPYAN, V. **O emprego de materiais fibrosos na construção civil.** In: Simpósio Internacional sobre Materiais Reforçados com Fibras para Construção Civil. Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo. 1993.

BARTH, F. **Las fachadas de hormigón arquitectónico y GRC:** Aplicación y comportamiento de los cerramientos prefabricados. 1997. (Doutorado em Arquitetura) - ETSABUPC. Barcelona. ES. 1997.

\_\_\_\_\_; **Design de componentes e paginação de fachadas pré-fabricadas em CRV.** Brasil - São Paulo, SP. 2000. 22p. In: Simpósio Internacional Componentes e Sistemas Construtivos em Cimento Reforçado com Fibras de Vidro : CRV, São Paulo, 2000. Artigo técnico.

BARTH, F.; FACCIO, J; BASTOS, P. **GRC Panels on The Façades of The Cathedral da Sé.** In: GRC2003- 13 th International Glassfibre Reinforced Concrete Congress. 2003a. Barcelona.

\_\_\_\_\_; et al. **The Cathedral da Sé, São Paulo, is clad all over.** Concrete Engineering International. UK. The Concrete Society. v.5. p 54-56. 2003b.

BARNES, L.J.A. **Tratado fundamental de acustica en la edificación.** Ed. Gustavo Gili. Barcelona. ES. 1980.

BARROS. M. M. B.; et al. **Tecnologia construtiva racionalizada para a produção de revestimentos verticais.** Grupo de pesquisa e extensão em tecnologia e gestão da produção na construção civil: GEPE-TGP. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. 1997. Notas de aula. Não publicado.

BRITISH STANDARD INSTITUTION – BS 476: **Part 8. Fire Poerformance of Structures.** UK. 1972.

\_\_\_\_\_ – BS 5385 **Wall and floor tiling. Part 2: Code of practice for the design and installation of external ceramic wall tiling and mosaics (including terra cotta and faience tiles).** 4. ed. London: British Standard Institution. 1991.

BRUNA, P. J. V. **Arquitetura, industrialização e desenvolvimento.** São Paulo. 2 ed. Editora Perspectiva. 2002.

BUILDING RESEARCH ESTABLISHMENT DIGEST – Watford, UK. Building Research Station. n. 223. March 1979.

CEM-FIL INTERNATIONAL LIMITED – **Cem-Fil GRC production: Guide to spray manufacture.** Merseyside. 1996.

\_\_\_\_\_ – **Cem-Fil GRC technical data.** Merseyside. 1997.

CONSTRUCTION INDUSTRY RESEARCH AND INFORMATION ASSOCIATION - CIRIA – **Wall tecnology.** Volume A: Performance Requirements. Special publication 87. London, UK. CIRIA. 1992.

\_\_\_\_\_ - CIRIA – **Wall tecnology.** Volume B: Loadbearing smal units. Special publication 87. London, UK. CIRIA. 1992.



DE CESARE, C.M. e SOIBELMAN, L. Questão da qualidade e da produtividade: Juntas, rasgos e traços na alvenaria convencional. In: **5th International Seminar on Structural Masonry for Developing Countries**. Florianópolis. p. 407-416. 1994.

DE MARCO, C.S. **Elementos de acústica arquitetônica**. Nobel. 2. ed. 1990.

DECRETO nº46.076, de 31 de agosto de 2001. **Regulamento de Segurança contra Incêndio das edificações e áreas de risco**. São Paulo. 2001.

DRAGADOS. **Prefabricacion S.T. edificacion**. Direccion tecnica.

EL DEBS, M.K. **Concreto pré-moldado: Fundamentos e aplicações**. São Carlos. EESC-USP. 2000.

FERREIRA, J.G.; BRANCO F.A. **Structural application of GRC in telecommunication towers**. Construction and Building Materials. Elsevier Science Ltd. 2005.

\_\_\_\_\_ – GRCA. **GRC in action: Today's GRC for architects and engineers**. The Glassfibre Reinforced Concrete Association. UK. 2003.

GÜRDAL, Z; HAFTKA, R. T.; HAJELA P. **Design and optimization of laminated composite materials**. John Wiley & Sons. USA. 1999.

GYPSUM CONSTRUCTION HANDBOOK. In: VII Seminário de Soluções Tecnológicas Integradas. Fortaleza. 2000.

HUTCHINSON A. R., PAGLIUCA A. and WOOLMAN R. Sealing and resealing of joints in buildings. **Construction and Building Materials**. Oxford, UK, v. 1, n. 6, p. 379-387, 1995.

KUNDSEN, V.O; HARRIS, C.M. **Acoustical designing in architecture**. John Wiley & Son Inc. 1950. USA.

Lei Complementar nº 420 /1998. **Código de Proteção contra Incêndio de Porto Alegre**. CORAG. Assessoria de Publicações Técnicas. 4a edição. 2001.

LIANG, W; et al. **Improved properties of GRC composites using commercial E-glass fibers with new coatings.** Materials Research Bulletin. Volume 37. Issue 4. March 2002. p 641-646.

LUZARDO. J.M.P. **Color y textura en el hormigón estructural.** In: Cuadernos intemac. Espanha. 4º trimestre. 1991.

MAJUMDAR A. J.; LAWS V. **Glass fibre reinforced cement.** 1. ed. Oxford, UK BSP Professional Books. 1991.

MARIKUNTE S. ALDEA, C and SHAH, S.P. Durability of Glass Fiber Reinforced Cement Composites: Effect of Silica Fume and Metakaolin. **Glass Fiber Reinforced Cement Composites.** New York, USA. Elsevier Science Ltd. v. 5. p.100-108. 1997.

MEDEIROS, J. S. **Tecnologia e projeto de revestimentos cerâmicos de fachada de edifícios.** 1999. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo. 1999.

MINISTERIO DE OBRAS PUBLICAS Y URBANISMO - NBE-CT-79 – **Norma básica de la edificación: Condiciones térmicas en los edificios.** 1. ed. Madrid. ES. Ministerio de Obras Publicas Y Urbanismo. 1979.

\_\_\_\_\_ – NBE-CA-88 – **Norma básica de la edificación, sobre condiciones acústicas en los edificios.** 1. ed. Madrid. ES. Ministerio de Obras Publicas Y Urbanismo. 1988

\_\_\_\_\_ – NBE - CPI-96 – **Condiciones de protección contra incendios en los edificios.** 1. ed. Madrid. ES. Ministerio de Fomento. 1979.

MITIDIERI, C.V.F. **Avaliação de desempenho de componentes e elementos construtivos inovadores destinados a habitações** – proposições específicas à avaliação do desempenho estrutural. 1998. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo. 1998.

MORDEN TRADE. **Handbook of noise vibration control.** Morden Trade & Technical Press,1979.

NIPPON ELECTRIC GLASS – NEG – **Application of the NEG ARG Fibre.** Nippon Electric Glass. Ref. N° 007. 2000.

\_\_\_\_\_–NEG – **Application of the NEG ARG Fibre**. Nippon Electric Glass. Ref. N° 014. 2002.

OLIVEIRA, L. A. **Tecnologia de painéis pré-fabricados arquitetônicos de concreto para emprego em fachadas de edifícios**. 2002. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo. 2002.

ORDOÑES, J.A.F. **Prefabricación: Teoría e práctica**. Barcelona, ES. Tomo 1. Editores Técnicos Asociados, S.A. 1974.

PRECAST/PRESTESSED CONCRETE INSTITUTE – PCI. **Architectural precast concrete**. 2a.ed. Chicago. USA.1989.

\_\_\_\_\_–PCI. **Manual for quality control of plants and production of glass fiber reinforced concrete products**. 1. ed. Chicago: PCI. 1991.

\_\_\_\_\_–PCI. **Recommended practice for glass fiber reinforced concrete panels**. 3. ed. Chicago: PCI. 1994.

PFEIL, W.; PFEIL, M. **Estruturas de aço – dimensionamento prático**. Livros técnicos e científicos editora. 6ª. ed. Rio de Janeiro. 1995.

PURNELL P., SHORT N.R., PAGE C.L., MAJUMDAR A.J. Microstructural observations in new matrix glass fibre reinforced cement. **Cement and Concrete Research**. n. 30. p. 1747-1753. 2000.

PURNELL P., SHORT N.R., PAGE C.L., MAJUMDAR A.J., WALTON P.L. Accelerated ageing characteristics of glass-fibre reinforced cement made with new cementitious matrices. **Composites: Part A – Applied science and manufacturing** n. 30. p.1073–1080. 1999.

QUENARD, D.; SALLEE, H. Water vapour adsorption and transfer in cement-based materials: a network simulation. **Materials and structures**. n. 25. p. 515-522. 1992. CSTB. França.

ROSSO, T. **Teoria e prática da coordenação modular**. São Paulo. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo - Universidade de São Paulo. 1976.

\_\_\_\_\_ - **Racionalização da construção**. São Paulo. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo - Universidade de São Paulo. 1980.

SABBATINI, F. H. **A industrialização e o processo de produção de vedações: utopia ou elemento de competitividade empresarial?** In: Seminário Tecnologia e Gestão na Produção de Edifícios: Vedações Verticais, 1998, São Paulo.

SANTIAGO, M.O. **Composites: los nuevos materiales de la construcción**. Composición y características técnicas. Façanes lleugeres: els nous plafons. Barcelona. Espanha. 7 de outubro de 1997.

SECRETÁRIA DE INSPEÇÃO DO TRABALHO - NORMA REGULAMENTADORA - **NR 18 - Condições e Meio Ambiente de Trabalho na Indústria da Construção**. (2005).

SCOTT SYSTEM - **Brick Snaps**—Brick Embedded Concrete. Scott System Inc. 2005.

SILVA, V.G. **Diretrizes para o projeto de painéis de fachada em cimento reforçado com fibra de vidro (GRC)**. 1998. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo. 1998.

SIQUEIRA JÚNIOR, A. A. de. **Tecnologia de fachada-cortina com placas de grês-porcelanato**. 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo. 2003.

TATUM, C.B.; VANEGAS, J.A.; WILLIAMS, J.M. **Constructability improvement using prefabrication, preassembly, and modularization**. Construction Industry Institute. USA. 1987.

TAYA, M; ARSENAULT, R.J. **Metal matrix composites – thermomechanical behavior**. BPC Wheaton Ltd. 1ª edição. 1989.

TECTONICA - **Cerramientos pesados: aplacados y paneles. – envolventes (II)**. Barcelona. n.2. 1995.

\_\_\_\_\_ - **Prefabricado – hormigón (II)**. Barcelona. n.5. 1997.

TRUE, G. **GRC production and users**. 1. ed. London, UK. Palladian Publications. 1986.

VIEIRA, A. **Starting production of GFRC structural elements in Brazil**. GLASSFIBRE REINFORCED CONCRETE ASSOCIATION. proceedings 12<sup>th</sup> International glassfibre

reinforced concrete congress. (Dublin 2001). The Glassfibre Reinforced Concrete Association. UK. 2001.

VIVEIROS, E. **Apostila da disciplina de conforto acústico**. UFSC. 2002.

WEETON, J. W.; PETERS, D. M.; THOMAS, K. L. **Engineer's guide to composite materials**. American Society for Metals. 2ª edição. USA. 1988.

WOLLMAN, R. **Resealing of buildings**. 1. ed. Oxford: Hutchinson, Butterworth-Heinemann. 1994.