

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
COMISSÃO DE GRADUAÇÃO DO CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

Bruna Maciel Barbosa

**ESTUDO DE CASO: EXECUÇÃO DE ESQUADRIAS DE
ALUMÍNIO VISANDO A ESTANQUEIDADE EM EDIFÍCIO
DE PORTO ALEGRE**

Porto Alegre
Novembro 2020

BRUNA MACIEL BARBOSA

**ESTUDO DE CASO: EXECUÇÃO DE ESQUADRIAS DE
ALUMÍNIO VISANDO A ESTANQUEIDADE EM EDIFÍCIO
DE PORTO ALEGRE**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Comissão de
Graduação do Curso de Engenharia Civil da Escola de Engenharia
da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos
requisitos para obtenção do título de Engenheiro Civil

Orientadora: Cristiane Sardin Padilla de Oliveira

Porto Alegre
Novembro 2020

BRUNA MACIEL BARBOSA

**ESTUDO DE CASO: EXECUÇÃO DE ESQUADRIAS DE
ALUMÍNIO VISANDO A ESTANQUEIDADE EM EDIFÍCIO
DE PORTO ALEGRE**

Este Trabalho de Diplomação foi julgado adequado como pré-requisito para a obtenção do título de ENGENHEIRO CIVIL e aprovado em sua forma final pela Banca Examinadora, pelo Professor Orientador e pela Comissão de Graduação do Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Porto Alegre, 28 de novembro de 2020

BANCA EXAMINADORA

Prof. Cristiane Sardin Padilla de Oliveira (UFRGS)
Dra. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Orientadora

Prof. José Alberto Azambuja (UFRGS)
Doutor pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Eng. Deividi Maurenre Gomes da Silva (UFRGS)
Mestre pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Dedico este trabalho a meus pais, Paulo e Iara, ao meu irmão, Vinicius e ao meu namorado Felipe, que sempre me apoiaram e me auxiliaram durante minha trajetória.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Professora Cristiane Sardin Padilla de Oliveira, pela orientação à elaboração deste trabalho, pelo auxílio dedicação e também por todos os ensinamentos durante o curso de graduação em Engenharia Civil.

Agradeço aos meus pais, por sempre acreditarem e incentivarem as minhas decisões, por me apoiarem, principalmente no período de desenvolvimento desse trabalho e por me auxiliarem desde o início da trajetória profissional.

Agradeço ao meu irmão Vinicius por tentar sempre me ajudar e me aconselhar.

Agradeço ao meu namorado Felipe, que tornou os momentos de elaboração do trabalho, principalmente no final, mais agradáveis, pelo apoio e compreensão.

Agradeço aos meus amigos pelo incentivo nos momentos de estudo e companhia nos momentos de descontração.

Agradeço a todos àqueles que de alguma forma me auxiliaram nesta conquista.

Viva como se fosse morrer amanhã.
Aprenda como se fosse viver para sempre.

Mahatma Gandhi

RESUMO

Atualmente, a construção civil brasileira presencia um cenário bastante positivo, em que além do notável crescimento de empreendimentos, buscam-se novas opções construtivas e novos materiais com o intuito de proporcionar um produto final diferenciado, tanto esteticamente quanto funcionalmente. O presente trabalho de conclusão de curso apresenta um estudo de um dos elementos construtivos que melhor exemplifica os valores supracitados: as esquadrias. A escolha do tema execução de esquadrias de alumínio com enfoque de estanqueidade foi feita a partir da observação por parte da autora no impacto que a execução das esquadrias traz para o desempenho do sistema de fachada. O objetivo do estudo é mostrar a importância da elaboração de um projeto de esquadrias e atendimento do projeto na execução de uma edificação que possui esquadrias de alumínio do tipo entre vãos e fachada *structural glazing (stick)*. A metodologia para o trabalho consistiu em, primeiramente, realizar uma pesquisa bibliográfica sobre os diferentes tipos de esquadrias encontrados nos canteiros de obras com classificação feita de acordo com a função da esquadria, forma de abertura e material utilizado na fabricação. São apresentados também os sistemas construtivos de fachadas de vidro, elencando principais características e vantagens de execução. Posterior a isso, foi realizado o estudo de caso em edifício de Porto Alegre e se propôs a realizar o acompanhamento da execução de um projeto de esquadrias e verificar se a execução segue o projeto visando principalmente a estanqueidade do edifício. Identificou-se no estudo falta de conferência dos serviços anteriores à instalação das esquadrias e propriamente da instalação das mesmas. Em relação aos testes de estanqueidade de esquadrias, foi possível constatar a importância da realização dos testes para garantir a estanqueidades das esquadrias entregues aos clientes, bem como retroalimentar dados para melhoria dos serviços que serão executados futuramente pela própria construtora.

Palavras-chave: esquadria, estanqueidade, projeto de esquadrias.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Biblioteca Nacional de Brasília – fachada com Cobogós. Projeto Oscar Niemeyer.	20
Figura 2: Museu do amanhã Rio de Janeiro – Brise Soleil com placas fotovoltaicas.....	20
Figura 3: Janela de giro, de eixo vertical.....	21
Figura 4: Janela pivotante.....	22
Figura 5: Janela de correr	23
Figura 6: Janela basculante.....	23
Figura 7: Janela guilhotina	24
Figura 8: Janela de folha fixa	25
Figura 9: Janela sanfonada (camarão)	26
Figura 10: Diagrama de dobras de uma janela sanfonada.....	26
Figura 11: Janela projetante-deslizante (Maxim-ar)	27
Figura 12: Janela projetante	27
Figura 13: Janela de tombar	28
Figura 14: Janela integrada com persiana de enrolar e folhas de correr	28
Figura 15: Janela integrada guilhotina com veneziana de giro	29
Figura 16: Janela e porta alçante	30
Figura 17: Janela de correr com giro.....	30
Figura 18: Janela de girar e tombar	31
Figura 19: Janela de correr paralela e de tombar.....	31
Figura 20: Janela de correr com compressão transversal ao plano de movimentação	32
Figura 21: Comparativo entre fachada entre vãos (tradicional) e fachada de vidro (cortina)..	40
Figura 22: Edificação com esquadria entre vãos.....	41
Figura 23: Edificação com fachada cortina tradicional.....	43
Figura 24: Edificação com fachada do tipo <i>structural glazing</i> ou <i>stick</i>	45
Figura 25: Fixação de ancoragens e estrutura auxiliar da fachada <i>stick</i>	46
Figura 26: Edificação construída com sistema unitizado.....	48
Figura 27: Içamento e instalação de módulo de fachada unitizada.....	49
Figura 28: Estrutura e fixação utilizada no sistema de fachada tipo <i>spider glass</i>	50
Figura 29: Edificação com fachada sistema <i>spider glass</i>	50
Figura 30: Prédio do IEE/USP com módulos fotovoltaicos em sistema interligado à rede elétrica	51

Figura 31: Edifício solar fotovoltaico	51
Figura 32: Imagem do catálogo de venda do Empreendimento	52
Figura 33: Fachada principal da edificação.....	53
Figura 34: Planta baixa pavimento tipo.....	54
Figura 35: Área comum da edificação	55
Figura 36: Fachada principal – Mapeamento de modulações Estudo Preliminar	57
Figura 37: Trecho da fachada – Janelas de correr Estudo preliminar	57
Figura 38: Trecho da fachada – “Pele de vidro Central” Estudo preliminar.....	58
Figura 39: Fachada principal – Mapeamento de modulações Anteprojeto	59
Figura 40: Cortes 3.09 e 3.10 Esquadria JA1 Anteprojeto.....	60
Figura 41: Cortes 3.11, 3.12 e 3.13 Esquadria JA1 Anteprojeto.....	61
Figura 42: Fachada principal - Mapeamento de modulações Esquadria PV2 Anteprojeto.....	62
Figura 43: Localização da esquadria JA2 Projeto Executivo.....	63
Figura 44: Vista Externa Esquadria JA2 Projeto Executivo	64
Figura 45: Cortes 1, 2 e 3 Esquadria JA2 Projeto Executivo	65
Figura 46: Cortes 4, 5 e 6 Esquadria JA2 Projeto Executivo	66
Figura 47: Cortes 7 e 8 Esquadria JA2 Projeto Executivo	67
Figura 48: Legenda de materiais Esquadria JA2 Projeto Executivo	68
Figura 49: Localização da esquadria PV1 Projeto Executivo	69
Figura 50: Vista Externa e Corte A Esquadria PV1 Projeto Executivo	70
Figura 51: Ampliação projeto Esquadria PV1 e demarcação de cortes à detalhar Projeto Executivo.....	71
Figura 52: Cortes 18 e 19 Esquadria PV1 Projeto Executivo	72
Figura 53: Cortes 14 e 15 Esquadria PV1 Projeto Executivo	73
Figura 54: Cortes 1 e 2 Esquadria PV1 Projeto Executivo	74
Figura 55: Cortes 3, 4 e 5 Esquadria PV1 Projeto Executivo	75
Figura 56: Gáfico de isopleias da velocidade básica do vento (V0) em m/s, no Brasil, conforme NBR 6123 (ABNT, 1988).....	78
Figura 57: Situações de escoamento de água na esquadria.....	80
Figura 58: Vistas esquemáticas de uma câmara de ensaio.....	81
Figura 59: Esquema geral do sistema de pressurização	82
Figura 60: Representação do ensaio de estanqueidade à água para corpos de prova de até 2500 milímetros.....	83

Figura 61: Configuração dos bicos.....	84
Figura 62: Primeiras esquadrias instaladas - Fachada principal.....	85
Figura 63: Primeiras esquadrias instaladas - Fachada secundária.....	85
Figura 64: Armazenamento dos materiais em obra.....	86
Figura 65: Detalhe do peitoril	87
Figura 66: Impermeabilização da base do peitoril até o contramarco.....	88
Figura 67: Impermeabilização da base do peitoril até o contramarco.....	88
Figura 68: Rebaixo para caso de reboco e textura.....	89
Figura 69: Rebaixo para caso de reboco e pastilha	89
Figura 70: Rebaixo para caso de reboco e granito colado.....	90
Figura 71: Rebaixo para caso de reboco e granito com inserte metálico	90
Figura 72: Detalhe contramarco com fixação de pino de aço na estrutura	91
Figura 73: Detalhe contramarco com fixação em alvenaria (opcional)	91
Figura 74: Detalhe das distâncias entre as grapas	92
Figura 75: Chumbamento do contramarco	93
Figura 76: Esquema de aplicação do selante de silicone no contramarco aplicado internamente	93
Figura 77: Esquema de aplicação do selante no contramarco aplicado externamente.....	94
Figura 78: Falha de vedação do revestimento externo	95
Figura 79: Falha de vedação do revestimento externo	96
Figura 80: Falha na interface contramarco, peitoril e revestimento externo.....	96
Figura 81: Falha na interface peitoril e revestimento externo.....	97
Figura 82: Falha na interface peitoril e revestimento externo.....	97
Figura 83: Falha na interface peitoril e contramarco	98
Figura 84: Falhas de vedação entre peitoril e contramarco.....	99
Figura 85: Vedação entre peitoril e o contramarco	99
Figura 86: Aproximação vedação entre peitoril e o contramarco	100
Figura 87: Vedação entre esquadria e o contramarco - Comparativo entre execução e projeto	100
Figura 88: Vedação entre esquadria e o contramarco	101
Figura 89: Vedação entre esquadria e o contramarco	101
Figura 90: Falhas de vedação entre peitoril e contramarco.....	102
Figura 91: Demarcação falta de tarucel na vedação entre peitoril e contramarco esquadria	

retirada	102
Figura 92: Falta de tarucel na vedação entre peitoril e contramarco esquadria retirada	103
Figura 93: Aproximação falta de tarucel na vedação entre peitoril e contramarco esquadria retirada	103
Figura 94: Falta de tarucel na vedação entre peitoril e contramarco esquadria retirada	104
Figura 95: Planilha de Conferência – Esquadrias de Alumínio	106
Figura 96: Teste realizado com balancim.....	107
Figura 97: Teste realizado com rapel	108
Figura 98: Teste do esguicho de água	109
Figura 99: Tempo de aplicação do jato em cada quadro	110
Figura 100: Fachada de vidro com volumes de ACM.....	110
Figura 101: Falha na vedação do vidro com ACM	111
Figura 102: Falha na regulagem da Maxim-ar	112
Figura 103: Falha na vedação do quadro fixo da esquadria	112
Figura 104: Controle – Teste de estanqueidade de Esquadrias	113
Figura 105: Instrução de utilização da planilha de controle.....	114
Figura 106: Planilha de controle de Teste de estanqueidade proposta pela autora	117

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Valores de pressão de vento conforme a região do país (Figura 56) e o número de pavimentos da edificação.....	77
Quadro 2: Níveis de desempenho das esquadrias quanto ao seu uso (janelas)	79

LISTA DE SIGLAS

UFRGS – Universidade Federal do Rio Grande do Sul

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

NBR – Norma Técnica Brasileira

PVC – Policloreto de Vinila

HCl – Ácido Clorídrico

PET – Politereftalato de Etileno

ACM – Material de Alumínio composto

CBIC – Câmara Brasileira da Indústria da Construção

EPDM – Etileno-Propileno-Dieno

COVID-19 – Doença do Coronavírus

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	15
1.1	JUSTIFICATIVA.....	16
1.2	OBJETIVOS.....	16
1.3	DELINEAMENTO DO ESTUDO DE CASO.....	17
2.	HISTÓRICO.....	18
3.	CLASSIFICAÇÃO DAS ESQUADRIAS.....	19
3.1	CLASSIFICAÇÃO QUANTO À FUNÇÃO EXERCIDA.....	19
3.2	CLASSIFICAÇÃO QUANTO À FORMA DE ABERTURA - JANELAS.....	21
3.3	CLASSIFICAÇÃO QUANTO AO MATERIAL.....	33
3.3.1	Esquadrias de Madeira.....	34
3.3.2	Esquadrias de Aço.....	35
3.3.3	Esquadrias de PVC.....	36
3.3.4	Esquadrias de alumínio.....	38
4.	SISTEMAS CONSTRUTIVOS DE ESQUADRIAS EM FACHADAS DE VIDRO.....	39
4.1.	ESQUADRIAS ENTRE VÃOS.....	41
4.2.	FACHADAS DE VIDRO.....	42
4.2.1.	Fachada cortina tradicional.....	43
4.2.2.	Pele de vidro.....	44
4.2.3.	<i>Structural glazing</i>	44
4.2.3.1.	Colagem com selante estrutural.....	46
4.2.3.2.	Colagem com fita dupla face estrutural.....	47
4.2.4	Sistema unitizado.....	47
4.2.5	<i>Spider glass</i>	49

4.2.6	Fotovoltaicas.....	51
5	METODOLOGIA DE ANÁLISE	52
5.1	DESCRIÇÃO DA EDIFICAÇÃO	52
5.2	PROJETO DE ESQUADRIAS	56
5.2.1	Estudo preliminar	56
5.2.2	Anteprojeto	59
5.2.3	Projeto Executivo	63
5.3	CRITÉRIO DE ESTANQUEIDADE EM ESQUADRIAS	76
6	ACOMPANHAMENTO DE EXECUÇÃO DOS SERVIÇOS.....	85
6.1	TRANSPORTE E ARMAZENAMENTO DE MATERIAIS.....	86
6.2	CRITÉRIOS DE EXECUÇÃO DOS SERVIÇOS	87
6.2.1	Execução de contramarco.....	87
6.2.1.1	Instalação do peitoril	87
6.2.1.2	Regularização e impermeabilização da base do peitoril.....	88
6.2.1.3	Revestimento das laterais das janelas.....	89
6.2.1.4	Fixação do contramarco.....	91
6.2.2	Instalação das esquadrias de alumínio.....	93
6.3	INCONFORMIDADES DE EXECUÇÃO ENCONTRADAS.....	95
6.4	CONFERÊNCIA DE EXECUÇÃO ESQUADRIAS DE ALUMÍNIO	105
7	TESTE DE ESTANQUEIDADE DE ESQUADRIAS.....	107
8	RESULTADOS E ANÁLISE.....	115
8.1	ACOMPANHAMENTO E VERIFICAÇÃO DOS SERVIÇOS.....	115
8.1.1	Problemas identificados devido à falta de devida liberação de serviços anteriores à instalação de esquadrias:.....	115
8.1.2	Problemas identificados devido à falta de conferência do serviço de instalação de esquadrias:	115
8.2	TESTE DE ESTANQUEIDADE DE ESQUADRIAS.....	116

9	CONSIDERAÇÕES FINAIS	119
10	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	121

1. INTRODUÇÃO

As esquadrias são os componentes de uma edificação que têm a finalidade de reunir funcionalidade e estética e são de suma importância no atendimento aos requisitos de desempenho de edificações, como por exemplo, iluminação e ventilação natural. As esquadrias também fazem parte do sistema de fachada, compondo o envelope protetor da edificação, onde todos os elementos devem agregar características de estanqueidade, isolamento térmico e acústico. Ao executar um projeto de esquadrias é de grande importância entender a ideia do projeto arquitetônico, o tipo de esquadria que se está trabalhando, sua funcionalidade, além de realizar planejamento de recebimento de materiais, logística da obra, planejamento de execução dos serviços e confirmação do desempenho esperado.

A constante busca de inovações arquitetônicas e de diferentes métodos construtivos leva a uma cobrança cada vez maior do engenheiro ter a capacidade de executar da melhor maneira possível às opções de esquadrias disponíveis no mercado da construção Civil. Segundo Martins (2004), há crescente interesse nas empresas do setor da construção pela inovação tecnológica, pois a inovação pode representar uma vantagem competitiva e conduzir as empresas a uma posição de destaque frente a seus concorrentes, seja através da redução de custos de produção, aumento da qualidade dos produtos e serviços ou mesmo pela da introdução de novos mercados através da oferta de produtos diferenciados.

O projeto específico das esquadrias se faz importante por ser um projeto detalhado que além de atender ao projeto arquitetônico da edificação, serve como base para fabricação e montagem das peças e instalação do produto. Nele são detalhadas todas as premissas definidas previamente pela arquitetura como o tipo de sistema adotado, material a ser utilizado, tipo de vidro, cores e cortes. Contemplam também os detalhes entre a interface das esquadrias com outros materiais da fachada, as fixações na estrutura da edificação, entre outros. O projeto de esquadrias objetiva o cumprimento dos requisitos de desempenho determinados pela NBR 10821-2 Esquadrias para edificações Parte 2 – Requisitos e classificação (ABNT, 2017) e NBR 108121-4 Esquadrias para edificações Parte 4 – Requisitos adicionais de desempenho (ABNT, 2017), como estanqueidade à água, resistência ao manuseio, desempenho térmico e acústico, resistência à corrosão. Nesse sentido, entende-

se que o projeto de esquadrias visa a melhor execução das esquadrias das edificações desde o processo de fabricação até o acabamento.

1.1 JUSTIFICATIVA

A escolha do tema execução de esquadrias de alumínio com enfoque de estanqueidade para realização do estudo de caso foi feita a partir da observação por parte da autora no impacto que a execução das esquadrias traz para o desempenho do sistema de fachada. Assim como qualquer outro serviço, a execução das esquadrias, se bem feita e monitorada, confere qualidade, funcionalidade e efeito estético positivo à edificação. As boas práticas de execução fazem, portanto, com que as esquadrias e a edificação como um todo cumpram seu papel de estanqueidade, ventilação, iluminação, conforto térmico e acústico. Para os clientes que adquirem um imóvel é de suma importância que o bem adquirido atenda às expectativas intrínsecas ao produto, além de causar o que na empresa em estudo se chama de “encantação”, um termo que quer dizer o quanto o produto conseguiu encantar aqueles que o compram.

O enfoque para o critério de desempenho conhecido como estanqueidade foi escolhido pelo fato de que a empresa em questão realiza testes de estanqueidade nas esquadrias das edificações antes da entrega, porém, não faz uso de ferramentas de dados para monitoramento dos testes que são realizados. Nesse sentido nota-se que a empresa entende a importância das esquadrias serem estanques, pois é um critério de desempenho essencial às esquadrias, no entanto, não explora a realização de testes da melhor forma, não analisando de forma efetiva os resultados, o que possibilitaria retroalimentação do sistema construtivo adotado.

1.2 OBJETIVOS

O trabalho tem como objetivo principal mostrar a importância da elaboração de um projeto de esquadrias e atendimento do projeto na execução de uma edificação que possui esquadrias de alumínio do tipo entre vãos e fachada *structural glazing (stick)*. Como objetivo secundário, visa mostrar como é feita a realização de testes de estanqueidades e sua importância na retroalimentação de dados para melhoria dos serviços que serão executados futuramente em outros empreendimentos.

1.3 DELINEAMENTO DO ESTUDO DE CASO

Este trabalho se propõe a acompanhar a execução de um projeto de esquadrias em um edifício localizado na Zona Sul de Porto Alegre bem como verificar se os serviços executados seguem o projeto de esquadrias a fim de que elas atendam aos critérios de desempenho estabelecidos em norma, principalmente no que diz respeito à estanqueidade e está organizado da seguinte forma: o capítulo 2 trata do histórico das esquadrias na civilização humana, no capítulo 3 são feitas classificações das esquadrias de acordo com a função, forma de abertura e material de fabricação. No capítulo 4 é feita uma descrição dos sistemas construtivos de fachadas de vidro utilizados nas edificações, elencando suas características e vantagens de execução. No capítulo 5, metodologia de análise, é apresentada uma descrição da edificação objeto do estudo, apresentado o projeto de esquadrias, e feita uma explicação a respeito do critério de desempenho de estanqueidade em esquadrias. No capítulo 6 é feito o registro dos critérios de execução dos serviços, bem como do acompanhamento de execução dos serviços e registradas as inconformidades identificadas. O capítulo 7 é a apresentação do teste de estanqueidade em outros empreendimentos da empresa e proposição de utilização da ferramenta de controle proposta pela autora. No capítulo 8 são apresentados os resultados e análises. Por fim, no capítulo 9, são apresentadas as considerações finais.

2. HISTÓRICO

De acordo com D'Ávila (2000), no início da civilização humana, a moradia, em seu primeiro estágio, caracterizava-se por possuir uma pequena abertura, preenchida por um elemento, em madeira, denominado de porta, que propiciava a entrada e saída de seus moradores. No segundo estágio de moradia do ser humano – cabanas ou choças – as habitações apresentam o surgimento de uma pequena abertura para entrada de luz, caracterizando as primeiras janelas. Nos demais estágios de habitação, as esquadrias consolidam-se como componentes básicos das edificações residenciais.

Jorge (1995) complementa que os primeiros indícios de ocupação permanente do homem foram registrados há aproximadamente 15 mil anos atrás, no período Neolítico. Estas habitações correspondiam a um único ambiente com apenas uma abertura, ou seja, a de acesso ao espaço interior. Com a descoberta do fogo houve a necessidade de outras aberturas, para permitir a saída da fumaça renovando o ar, sendo que essas novas aberturas tinham que ser protegidas das intempéries e dos ataques de animais por folhagem.

Santiago (1996, apud FERNANDES, 2004, p.22), define simplificada e que “as esquadrias são componente das edificações, que ligam e integram os espaços e as pessoas. Cada ambiente de uma edificação possui uma função que, conseqüentemente, exige diferenciadas tipologias de esquadrias”.

A janela evoluiu na tipologia e na tecnologia construtiva, vinculada à necessidade do homem de integrar o ambiente externo ao interno, estabelecendo relações de trocas térmicas, acústicas e luminosas e desempenhando papel fundamental na qualidade estética do edifício. Como componente da edificação, as janelas representam, em muitos casos, a parte da envoltória que mais interfere nas condições térmicas internas e, portanto, um elemento chave para o alcance do menor consumo de energia em edifícios, sendo também as responsáveis por grande parte das perdas e ganhos de calor no ambiente (JONSSON; ROOS, 2010).

Em síntese, as esquadrias devem apresentar: estanqueidade à água e ao ar (proteger contra calor, frio e infiltrações); resistência suficiente para se manter intacta no transporte e execução em obra, resistir a agentes atmosféricos, resistência ao vento; e, por fim, comportamento acústico, a fim de reduzir a propagação sonora originada do ambiente externo.

3. CLASSIFICAÇÃO DAS ESQUADRIAS

As esquadrias de uma edificação podem ser classificadas em diferentes formas, de acordo com a função exercida, quanto à forma de abertura e também quanto à matéria-prima utilizada na fabricação. Existe ainda uma classificação quanto ao tipo de fachada (sistema construtivo utilizado) que será tratado no capítulo seguinte.

3.1 CLASSIFICAÇÃO QUANTO À FUNÇÃO EXERCIDA

A classificação quanto à função é baseada no caráter funcional da esquadria. Nos próximos itens, encontra-se detalhada esta classificação.

- 3.1.1 Portas:** esquadrias que têm função de possibilitar a circulação de pessoas, separação de ambientes e também proporcionar segurança às edificações.
- 3.1.2 Janelas:** esquadrias verticais ou inclinadas destinadas a preencher vãos da edificação que possibilitam circulação de ar e luminosidade aos ambientes.
- 3.1.3 Grades:** esquadrias que proporcionam segurança ao limitarem o acesso de pessoas.
- 3.1.4 Cobogós:** elementos vazados compostos de cerâmica ou de concreto (Figura 1).
- 3.1.5 Brise-soleil:** possuem a finalidade de proteger da luminosidade e calor (Figura 2).
- 3.1.6 Alçapão:** esquadria que possibilita acesso ao porão e ao sótão.

Figura 1: Biblioteca Nacional de Brasília – fachada com Cobogós. Projeto Oscar Niemeyer.



(fonte: DECORSALTEADO, 2019).

Figura 2: Museu do amanhã Rio de Janeiro – Brise Soleil com placas fotovoltaicas



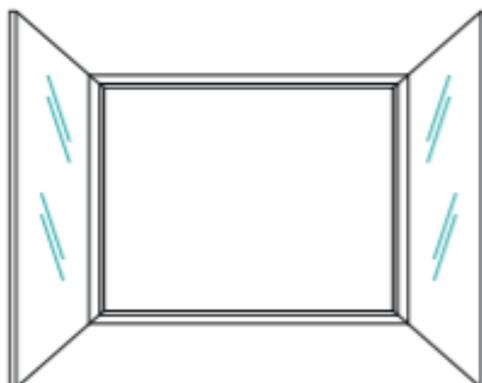
(fonte: MUSEU DO AMANHÃ, 2018)

3.2 CLASSIFICAÇÃO QUANTO À FORMA DE ABERTURA - JANELAS

A classificação quanto à forma de abertura baseia-se no método no qual ocorre a abertura. Nos próximos itens as esquadrias estão classificadas de acordo com a NBR 10821-1 Esquadrias para edificações Parte 1: Esquadrias externas e internas – Terminologia (ABNT, 2017).

3.2.1 Janela de giro, de eixo vertical: destinada ao uso interno ou externo à edificação, formada por uma ou mais folhas cuja abertura acontece mediante rotação em torno de eixos verticais fixos que coincidem com as laterais das folhas por meio de dobradiça (Figura 3).

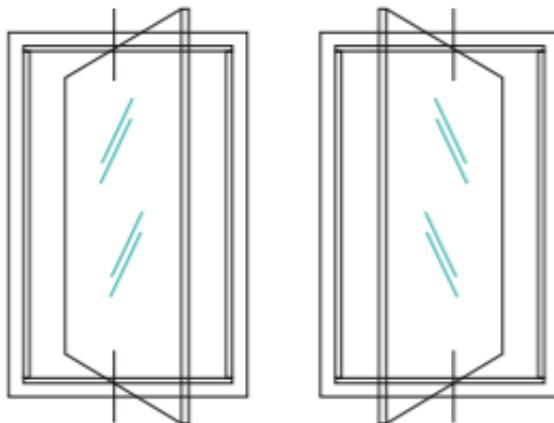
Figura 3: Janela de giro, de eixo vertical



(fonte: ABNT , 2017)

3.2.2 Janela pivotante: janela destinada ao uso interno ou externo à edificação, formada por uma ou várias folhas que são movimentadas mediante rotação de um eixo vertical que não coincide com as laterais das folhas abertura por meio de pivô. A abertura das folhas pode ser interna e externa, facilitando a limpeza e estanqueidade da região protegida pela esquadria. Sua principal desvantagem é a aeração do ambiente, pois não há um controle adequado da entrada de ar no cômodo guarnecido pela esquadria (Figura 4).

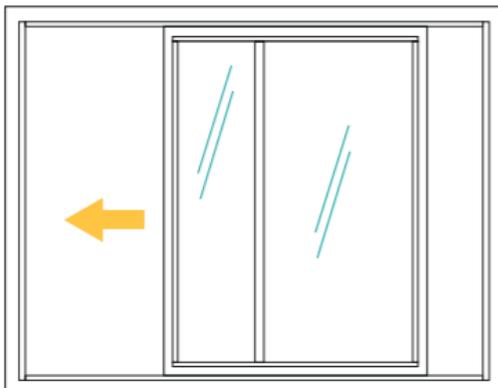
Figura 4: Janela pivotante



(fonte: ABNT, 2017)

3.2.3 Janela de correr: destinada ao uso interno ou externo à edificação, formada por uma ou várias folhas cuja abertura se dá por meio de movimento lateral de uma das partes através de um trilho. Alguns fabricantes limitam a abertura até outra folha da esquadria, reduzindo cerca de 50% a possibilidade de entrada de ventilação. Tal limitação é solucionada quando há um trilho que se prolonga após a limitação do corpo da esquadria, tornando a folha escondida. O principal problema apresentado em sua longevidade é o desgaste da superfície que a sustenta, pois com o decorrer do tempo os trilhos inferiores se deterioram permitindo a infiltração de água e o aparecimento de fissuras (Figura 5).

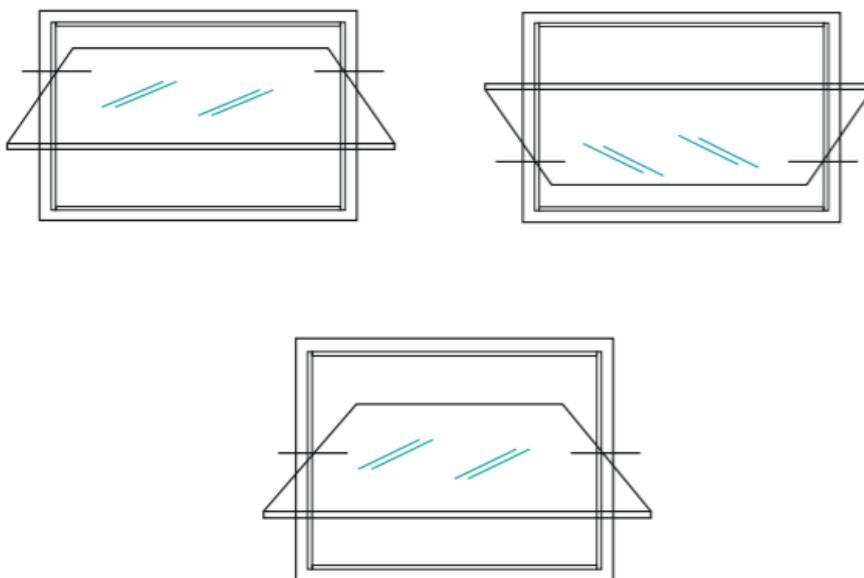
Figura 5: Janela de correr



(fonte: ABNT, 2017)

3.2.4 Janela basculante: janela destinada exclusivamente ao uso interno à edificação, caracterizadas pela abertura parcial por meio de pivôs com eixo de rotação horizontal, central ou excêntrico, não coincidente com as extremidades superior ou inferior da janela. Tipicamente usada em banheiros, sua principal desvantagem é a necessidade de modulação especial, pois possuem dimensões inferiores às janelas tradicionais (Figura 6).

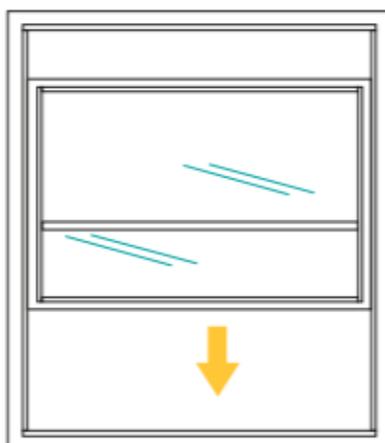
Figura 6: Janela basculante



(fonte: ABNT, 2017)

3.2.5 Janela Guilhotina: destinada ao uso interno ou externo à edificação, formada por uma ou mais folhas que podem ser movimentadas por deslizamento vertical uma folha sobre a outra no plano da esquadria. Antigamente usada em moradias, casas de campo e fazendas, esse tipo de esquadria caiu em desuso. Possuem melhor controle de aeração ao ser comparada com janelas de abrir e de correr. São esquadrias que oferecem risco, principalmente em cômodos que possuem crianças, pois estas podem soltar a trava de segurança que as mantém seguras e abertas (Figura 7).

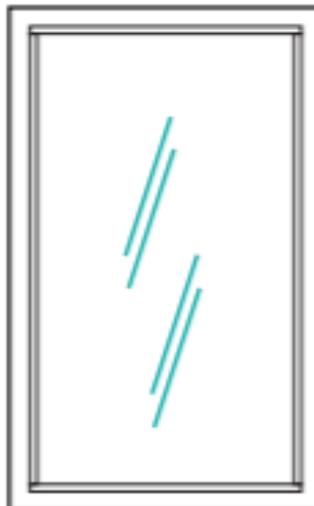
Figura 7: Janela guilhotina



(fonte: ABNT, 2017)

3.2.6 Janela de folha fixa: janela destinada ao uso interno ou externo à edificação, não possui abertura, apenas função estética ou de iluminação. São comuns em corredores e escadas (Figura 8).

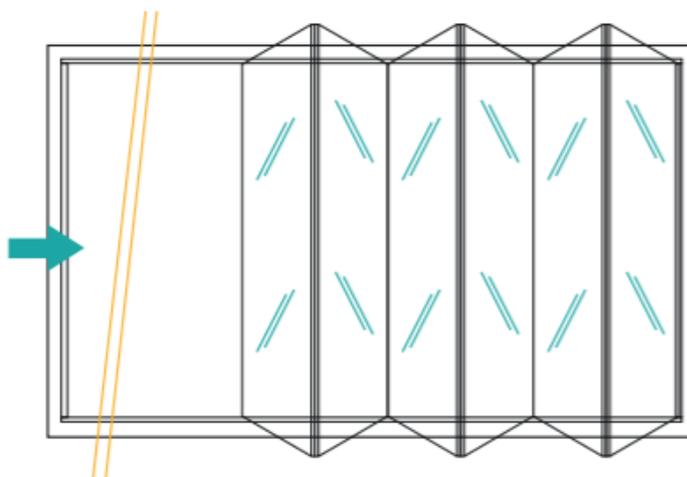
Figura 8: Janela de folha fixa



(fonte: ABNT, 2017)

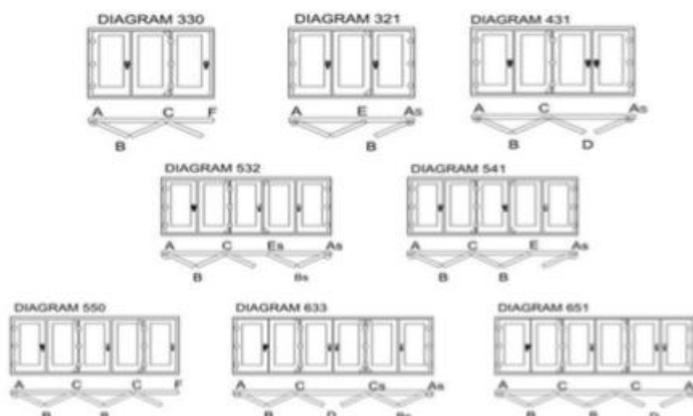
3.2.7 Janela sanfona (camarão): destinada ao uso interno ou externo à edificação, formada por duas ou mais folhas articuladas entre si que, ao se abrirem, dobram-se uma sobre as outras, por deslizamento horizontal de seus eixos de rotação. Tais eixos podem coincidir com as bordas das folhas ou se situar em posições intermediárias. Permitem, portanto, a dobra e corrida e possibilitam quase que completa abertura dos vãos. Possuem vantagens semelhantes ao uso de janelas de correr, porém podem se tornar dificultosas com o passar do tempo, pois podem emperrar com facilidade devido às intempéries e limpeza ineficiente (Figuras 9 e 10).

Figura 9: Janela sanfonada (camarão)



(fonte: ABNT, 2017)

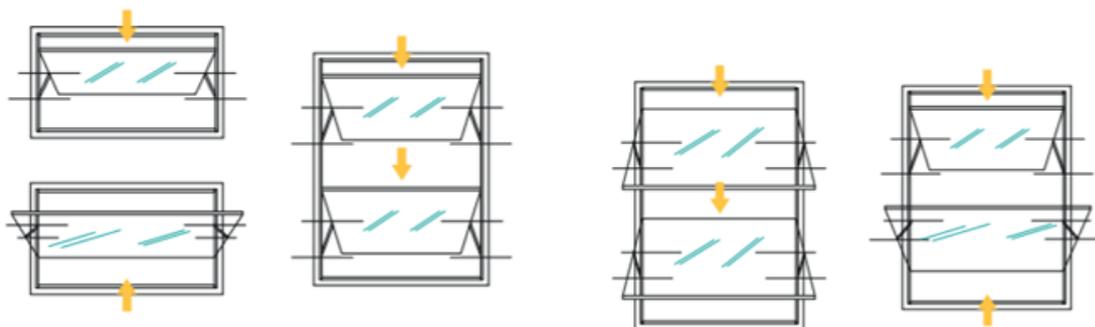
Figura 10: Diagrama de dobras de uma janela sanfonada



(fonte: PANAZZOLO ESQUADRIAS, 2014)

3.2.8 Janela projetante-deslizante (Maxim-ar): janela destinada ao uso interno ou externo à edificação, semelhante às basculantes formadas por uma ou mais folhas que são movimentadas em torno de um eixo horizontal, porém, com translação simultânea desse eixo, podendo ser para dentro ou para fora. Podem possuir abertura regulada, pois possui uma corredeira em suas laterais. São fáceis de limpar e possuem boa estanqueidade (Figura 11).

Figura 11: Janela projetante-deslizante (Maxim-ar)

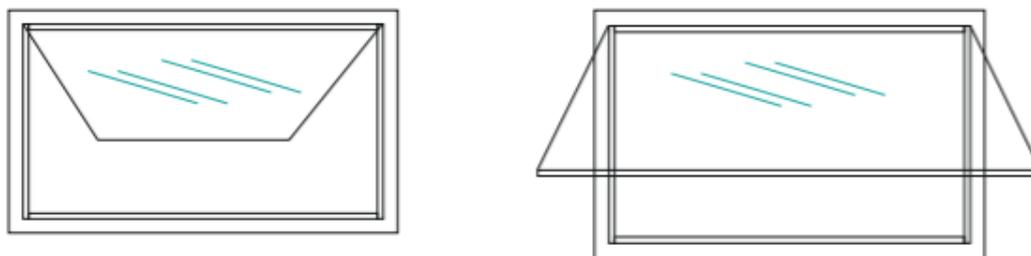


(fonte: ABNT, 2017)

3.2.9 Janela projetante e de tombar: janela destinada ao uso interno ou externo à edificação, formadas por uma ou mais folhas que podem ser movimentadas mediante rotação em torno de um eixo horizontal fixo situado na extremidade superior ou inferior da folha. É considerada:

3.2.9.1 **Projetante:** quando o eixo fixo de rotação se localiza na extremidade superior. O movimento de abertura da folha pode ser para dentro ou para fora (Figura 12).

Figura 12: Janela projetante



(fonte: ABNT, 2017)

3.2.9.2 **De tombar:** quando o eixo fixo de rotação se localiza na extremidade inferior. O movimento de abertura da folha pode ser para dentro ou para fora (Figura 13).

Figura 13: Janela de tombar

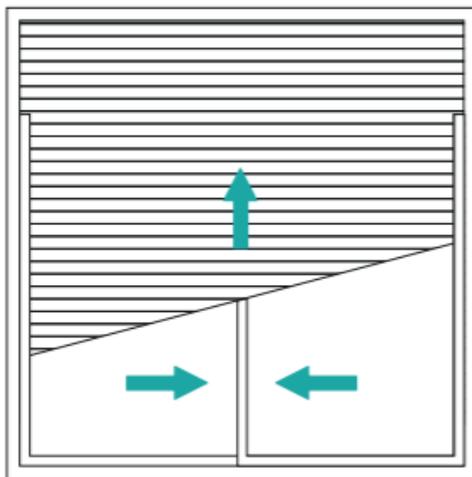


(fonte: ABNT, 2017)

3.2.10 Janela integrada: janela destinada ao uso interno ou externo à edificação, formada por duas ou mais folhas que podem ser do tipo:

3.2.10.1 Persiana de enrolar cujo movimento se dá pelo deslizamento vertical ou inclinado no plano externo da esquadria e por folha que podem ser movimentadas por deslizamento horizontal, vertical ou giro para o lado interno. A persiana é um componente destinado a promover sombreamento e privacidade ao ambiente. Podem ser acionados manualmente ou automáticos (Figura 14).

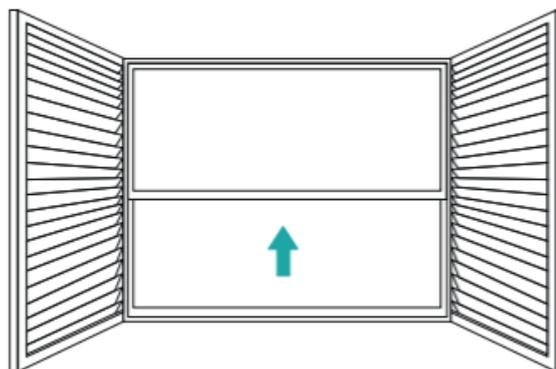
Figura 14: Janela integrada com persiana de enrolar e folhas de correr



(fonte: ABNT, 2017)

3.2.10.2 Veneziana que se movimenta mediante rotação em torno de eixos verticais fixos, coincidentes coma as laterais da folha e por folhas envidraçadas que podem ser movimentadas por deslizamento horizontal, vertical ou giro para o lado interno (Figura 15).

Figura 15: Janela integrada guilhotina com veneziana de giro



(fonte: ABNT, 2017)

3.2.11 Janela reversível: Destinada exclusivamente ao uso interno à edificação, formada por uma ou várias folhas que podem ser do tipo basculante ou pivotante, em que a rotação das folhas em torno dos eixos se situa no intervalo entre 160° e 180° .

3.2.12 Janelas especiais: Destinadas ao uso interno ou externo à edificação, formadas pela combinação de dois ou mais tipos de esquadrias citadas anteriormente. São também consideradas janelas especiais àquelas que, por suas características de forma, uso e funcionamento, não foram definidas anteriormente.

3.2.13 Janela alçante (elevadora): Destinadas ao uso interno ou externo à edificação, formada por folhas de correr que, ao fecharem, comprimem o marco inferior, deixando as roldanas sem peso (Figura 16).

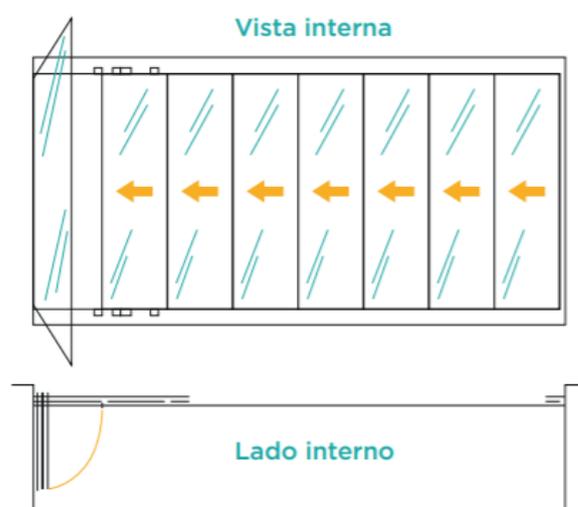
Figura 16: Janela e porta alçante



(fonte: ABNT, 2017)

3.2.14 Janela de correr com giro: Destinadas ao uso interno ou externo à edificação, formada por folhas (envidraçadas ou venezianas) que correm no mesmo eixo, com giro de 90° do lado interno no final do curso. As folhas possibilitam ventilar todo o vão (Figura 17).

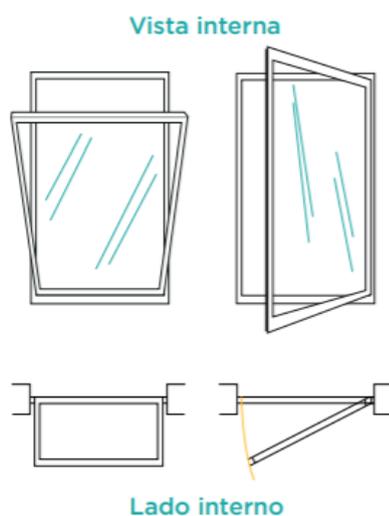
Figura 17: Janela de correr com giro



(fonte: ABNT, 2017)

3.2.15 Janela de girar e tombar (oscilo batente): Destinadas ao uso interno ou externo à edificação, formada por folhas de girar e tombar. Tal tipologia permite dois tipos de ventilação (Figura 18).

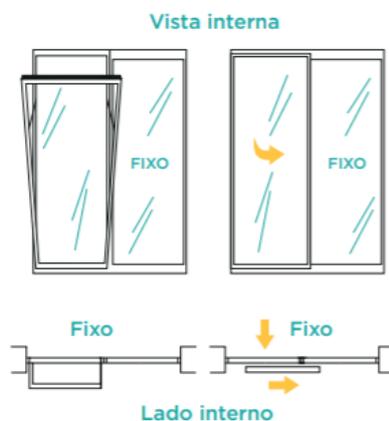
Figura 18: Janela de girar e tombar



(fonte: ABNT, 2017)

3.2.16 Janela de correr paralela e de tombar: Destinadas ao uso interno ou externo à edificação, formada por folhas (envidraçadas ou venezianas) de correr e tombar que se mantêm alinhadas quando fechadas (Figura 19).

Figura 19: Janela de correr paralela e de tombar

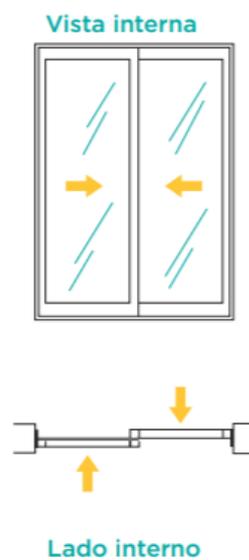


(fonte: ABNT, 2017)

3.2.17 Janela de correr com compressão transversal ao plano de movimentação:

Destinadas ao uso interno ou externo à edificação, formada por folhas (envidraçadas ou venezianas) de correr que, ao se fecharem, pressionam-se perimetralmente (Figura 20).

Figura 20: Janela de correr com compressão transversal ao plano de movimentação



(fonte: ABNT, 2017)

3.3 CLASSIFICAÇÃO QUANTO AO MATERIAL

São vários os materiais utilizados para a composição das esquadrias, tais como: madeira, aço, PVC, alumínio e vidro. Os diferentes materiais, além de possuírem diferentes características, são facilmente adaptáveis em diferentes tipos de abertura e podem ser utilizados, quase sempre, diferentes materiais para diferentes funções.

Cada material deve proporcionar às esquadrias o atendimento aos requisitos de desempenho previstos pelas normas NBR 10821-2 (ABNT, 2017) e NBR 10821-4 (ABNT, 2017). Além disso, estão sujeitas aos requisitos do usuário constantes na NBR 15575-4 Edificações habitacionais – Desempenho Parte 4: Sistemas de vedações verticais internas e externas (ABNT, 2013). Alguns critérios de desempenho são listados a seguir.

- Estanqueidade à água
- Estanqueidade ao ar
- Resistência às cargas uniformemente distribuídas
- Resistência nas operações de manuseio
- Segurança nas operações de manuseio
- Durabilidade
- Requisitos de passagem de iluminação
- Desempenho térmico
- Desempenho acústico
- Resistência ao fogo
- Acessibilidade

Nos próximos subitens será tratada a classificação das esquadrias de acordo com o tipo de material utilizado na fabricação.

3.3.1 Esquadrias de Madeira

A madeira é um recurso natural que proporcionou ao homem, desde os primórdios, combustível, ferramentas, alimentos e proteção (JOHNSON, 1994). Pode ser considerada a primeira matéria-prima utilizada na fabricação de esquadrias (ABCI, 1991) sendo, portanto, frequente em edificações antigas. A matéria-prima possui características específicas que possibilitam conforto acústico e térmico para o ambiente. É considerada a única matéria prima 100% renovável na construção civil e, a cada metro cúbico utilizado, retira-se do ar uma tonelada de CO₂ do meio ambiente (CBIC, 2017). A madeira tem um valor incomparável com as demais fontes de matéria-prima, por ser uma fonte natural de recursos em que o homem é capaz de interferir na sua renovação (JOHNSON, 1994).

As esquadrias de madeira podem receber diversos tipos de acabamentos, sendo os mais usuais a pintura e o revestimento. Em uso interno, podem receber pintura ultravioleta, poliuretano, esmalte sintético, verniz, à base d'água e laca. Os revestimentos aplicados podem ser de lâminas de madeira (natural e pré-composta), papel melamínico, PVC, PET, polipropileno. Para uso externo, devem receber uma pintura especial com resistência às intempéries, que pode ser de resina à base d'água e resinas sintéticas (CBIC, 2017).

Segundo Bauer (1994), a madeira é um dos materiais de construção mais utilizados pelo homem, possuindo características técnicas que favorecem sua utilização nas mais diversas etapas e elementos construtivos de uma obra. Boa resistência mecânica, bom nível de isolamento termo acústico e facilidade de afeiçãoamento (podem ser trabalhadas com ferramentas simples) aliado com o valor estético que proporciona, faz da madeira uma excelente matéria-prima para execução de esquadrias, as quais se destacam pela nobreza a sofisticação de acabamentos.

Segundo Silva e Silva (2007), há uma grande gama de espécies de madeiras que podem ser utilizadas como matérias-primas para fabricação de esquadrias, devendo ser analisado basicamente dois critérios: maleabilidade e resistência a umidade. Vale destacar que para que se possa executar uma esquadria de qualidade é necessária que a madeira esteja totalmente seca, caso contrário, a madeira continuará com o processo de secagem após a instalação, podendo ocorrer deformações irreversíveis. Dentre as espécies mais utilizadas, destacam-se:

Cumaru, Ipê, Freijó, Cedro-Mara, Itaúba (FERNANDES, 2004).

Dentre as vantagens relacionadas ao uso da madeira em esquadrias pode-se citar o custo acessível, facilidade de execução e montagem. A principal desvantagem que este material apresenta é a vulnerabilidade de grande parte das espécies, quando expostas a condições climáticas adversas. A umidade, radiação solar e agente biológico interferem na estrutura da madeira acarretando primeiro a perda de seu valor estético e posteriormente sua degradação. Outra desvantagem é que o material pode apresentar variações de volume (retração ou inchamento) em função da variação de umidade, mesmo depois de trabalhadas (RODRIGUES, 2015).

3.3.2 Esquadrias de Aço

O emprego do aço na fabricação de esquadrias é feito devido às qualidades plásticas, pela versatilidade e pela resistência do material, o que permite liberdade no desenvolvimento de projetos e aplicação desses elementos. O aço apresenta resistência intrínseca, que permite o desenvolvimento de projetos praticamente sem restrições de grandes esquadrias de aço, com leveza do conjunto e esbeltes dos perfis (CBIC, 2017).

O aço utilizado em esquadrias é composto por ferro, carbono e uma leva de outros materiais em menor quantidade, como silício, cobre e manganês. Cada elemento, quando adicionado à liga metálica, confere certa particularidade, por exemplo, a adição de cobre confere ao aço uma maior resistência frente à corrosão, proporcionando uma maior durabilidade ao metal. A adição de zinco, comumente chamada de galvanização, também confere ao aço maior resistência frente ao ataque corrosivo, além de proporcionar uma melhor aparência ao produto (ORSE, 2004).

Como acabamento, as esquadrias de aço podem receber diversos tipos de pintura, utilizando-se métodos de imersão, eletroforese (diferença de potencial elétrico), aplicação com pistola de ar comprimido. As tintas podem ser primer de fundo anticorrosivo (tinta à base de solvente ou base d'água) ou primer de acabamento (tintas do tipo esmalte sintético, óleo epóxi, poliuretano) As esquadrias de aço não podem ser expostas a ácidos, pois pode haver uma reação química que cause a deterioração (CBIC, 2017).

3.3.3 Esquadrias de PVC

O Policloreto de Vinila (PVC) é obtido a partir do etileno, um dos subprodutos do petróleo, que representa 43% de seu peso, combinado com o cloro retirado do cloreto de sódio, o sal de cozinha, que representa 57% de seu peso. Esses dois recursos naturais, sal e petróleo (ou gás natural) são a base da fabricação dos componentes do PVC (GODOI, 2005).

O etileno é obtido através dos processos de refinamento do petróleo, já o cloro provém da eletrólise, reação que consiste na passagem de uma corrente elétrica por certa quantidade de água salgada obtendo o cloro (SANTOS 2004).

Segundo Santos (2004), as esquadrias de PVC surgiram nos anos de 1950 e 1960 na Alemanha Ocidental. No início o PVC foi pouco utilizado no mercado, mas só em 1970 houve uma fase de rápido desenvolvimento, atingindo 45% do mercado em 1980. A partir daí, o PVC propagou-se pela Europa e Estados Unidos, sempre conseguindo parcelas significativas dos mercados locais. No Brasil, as primeiras tentativas de produção e comercialização de perfis de PVC datam meados de 1970.

A procura por esquadrias de PVC vem aumentando significativamente ao longo dos anos, pois o produto apresenta características técnicas que favorecem sua aplicação nos mais variados projetos de engenharia, adaptando-se a diferentes situações, regiões e padrões (GODOI, 2005). O PVC é um material de alta resistência a intempéries, maresias e agentes biológicos possuindo longa durabilidade. Pode ser aplicado nas mais adversas condições climáticas, pois possuem a propriedade de ser bom isolante térmico. Além de todas estas vantagens, o PVC ainda pode ser pigmentado de diversas cores, atingindo os padrões estéticos desejáveis (HUTH, 2007).

Outrossim, o PVC pode ser produzido com diversas cores e padrões, dentre eles pode assemelhar-se a esquadrias de madeira, visto que ele pode ser dimensionado e pintado de forma a se parecer esteticamente com ela (OLIVEIRA, 2012).

Ademais, importante notar que a escassez de madeiras nobres em razão do crescente controle mais rigoroso do desmatamento, leva inevitavelmente ao uso de novos materiais e nesse caso o PVC se destaca por causa de sua qualidade, versatilidade e acessível produção (RAUBER,

2012). Cabe mencionar, também que o consumo energético na produção e transformação do PVC é um dos mais baixos, se comparado a outros materiais utilizados na construção civil, na confecção dos caixilhos, tais como ferro alumínio, madeira e aço. O consumo bruto para a fabricação do PVC representa, em média, menos de 0,25% da quantidade de petróleo bruto extraído no mundo (SANTOS, 2004).

As esquadrias são produzidas a partir de perfis extrudados, os quais possuem aço galvanizado em sua estrutura interna, o que aumenta sua resistência. Existe uma grande variedade de topologias de perfis, que se adaptam aos projetos garantindo um produto final qualificado. Ponto positivo das esquadrias de PVC é que apresentam bom desempenho termo acústico e não propagam chamas, sendo bastante utilizadas em países da América do Norte e Europa há bastante tempo (HUTH, 2007).

Porém, o PVC apresenta como desvantagem ser sensível à ação de alguns elementos orgânicos, tais como os solventes cetônicos e tetraidrofurânicos (THF), os quais podem eventualmente ser encontrados em algumas tintas, vernizes e em certos produtos de tratamento de madeira (EUROSYSTEM, 2005 apud GODOI, 2005).

Ademais, o PVC, ainda que possua vida útil significativa, é material termoplástico, podendo apresentar acentuadas deformações ao longo do tempo, seja por tensões diversas ou por exposição a temperaturas elevadas (OLIVEIRA, 2012).

Outra desvantagem do uso do PVC é que, ainda que seja difícil sua combustão, quando inflama o material produz um gás que contém ácido clorídrico (HCl), o qual é altamente tóxico e prejudicial à saúde. Desse modo, há de se observar com atenção o uso de esquadrias de PVC em ambientes fechados (SANTOS, 2004).

3.3.4 Esquadrias de alumínio

O histórico do uso das esquadrias de alumínio no país já é antigo, desde 1940 podem-se encontrar fábricas com produção de esquadrias deste material, porém não existiam perfis extrudados, ou seja, as chapas eram cortadas e trefiladas (espécie de dobras) até chegar ao tipo de perfil que se desejava. Este processo era demorado e muitas vezes ocorriam defeitos, com dobras imprecisas, sendo melhorado somente em 1952 quando os Estados Unidos difundiram ao mundo a técnica de extrusão (ASA ALUMINIO, 2006).

Extrusão, de acordo com a NBR 6599 Alumínio e suas ligas – Processos e produtos – Terminologia (ABNT, 2013), é o processo metalúrgico que consiste na deformação plástica a quente do material, fazendo-o passar, pela ação de um pistão, através de um orifício e uma matriz que apresenta o contorno da secção do produto a ser obtido.

O uso do alumínio é difundido no mundo devido às suas características, tais como: aparência limpa e moderna, é um material leve, facilitando sua execução e não acrescentando muita sobrecarga à edificação. Além disso, possui defesa natural à ação da água e, conseqüentemente, à corrosão, propiciando maior longevidade quando em comparação a esquadrias de metais e de madeiras mais simples, necessitando uma menor manutenção. A fim da obtenção de um melhor caráter estético ou de uma maior vida útil, pode facilmente receber pintura eletrostática ou anodização, conferindo ao material final uma maior resistência frente às intempéries (ASA ALUMINIO, 2006). Anodização consiste no processo eletrolítico (conjunto de reações químicas provocadas pela passagem de corrente elétrica numa solução condutora) de acabamento e proteção das peças, formando na superfície uma camada uniforme de óxido de alumínio (CBIC, 2017). É de fácil instalação e limpeza.

Em síntese, a utilização do alumínio em esquadrias pode ser justificada pelas suas vantagens: resistência à corrosão, baixo peso, característica estética, disponibilidade no mercado, ser reciclável, fácil moldagem (podendo ser transformado em diversas formas), variedade dos acabamentos de superfície, tecnologia moderna, fácil manutenção, durável, boa vedação (RODRIGUES, 2015).

4. SISTEMAS CONSTRUTIVOS DE ESQUADRIAS EM FACHADAS DE VIDRO

O uso do vidro na construção civil cresceu rapidamente a partir do século XX, devido a diversas pesquisas tecnológicas que permitiram o desenvolvimento deste produto, deixando de ser produzido artesanalmente e passando para produção massiva. Por definição o vidro trata-se de uma substância inorgânica, homogênea e amorfa, obtida através do resfriamento de uma massa de fusão, sendo que, em decorrência disso, suas principais qualidades são a transparência e a dureza (BUENO, 2000).

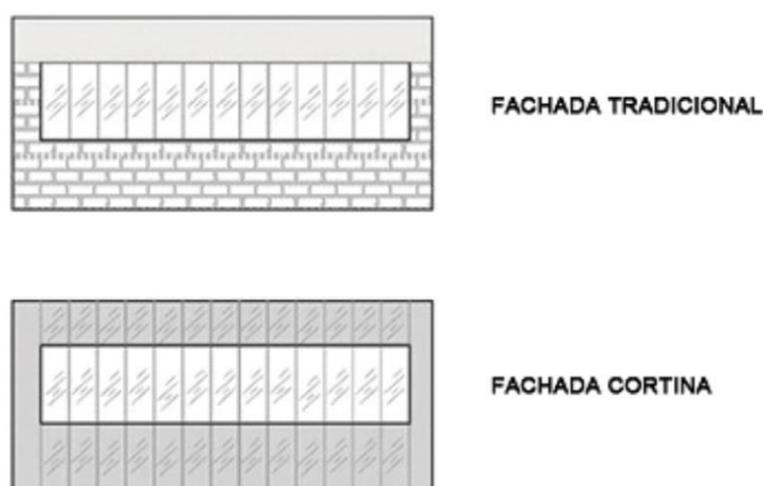
As principais qualidades do vidro são a transparência e a dureza (CEBRACE, 2013). O vidro é utilizado primeiramente pela qualidade da transparência, sinônimo de luz e de comunicação. Huth, (2007), descreve: “é o único material que possibilita a visualização do produto que ele contém ao mesmo tempo em que o protege contra radiações que o deteriorariam”. Outra propriedade importante é a dureza deste material, o vidro não é poroso e nem absorvente, trata-se de um bom isolante acústico, com baixo índice de dilatação e condutividade térmica (BUENO, 2000).

Adicionalmente, o vidro exerce a função de equilibrar a temperatura e a luminosidade nos ambientes, podendo tanto favorecer quanto impedir a passagem de luz e calor. Em regiões de baixas temperaturas, indica-se a utilização de vidros incolores que permitem a máxima entrada de luz e calor. Já em regiões de temperaturas elevadas, deve-se optar por tipologias termoabsorventes, que restringem a entrada de calor. Com isso, ocorre uma redução significativa no consumo energético, pois reduz a necessidade de sistemas artificiais de calefação (BUENO, 2000).

Segundo Fernandes (2004), o vidro encontra-se na construção civil sob diversas formas, como em janelas, portas, blocos, elemento decorativo, divisória, entre outros. As esquadrias de vidro, especificamente, adequam-se perfeitamente em diversos tipos de obras, sejam elas residenciais, comerciais e industriais. Em síntese, pode-se destacar que a importância do vidro na composição das esquadrias está relacionada às seguintes propriedades: transparência, dureza, proteção contra radiação solar, isolamento térmico e acústico, além do valor estético que os diversos tipos de vidros proporcionam nos acabamentos.

De maneira geral, é possível dividir as esquadrias dos edifícios em dois tipos: esquadrias entre vãos e fachada de vidro. Fachada de vidro é um elemento construtivo de vedação destacado da estrutura do edifício, formando um escudo exterior no edifício. É composto de uma malha de perfis (montantes e travessas) que compõem quadros móveis e fixos, preenchidos por vidros (Figura 21).

Figura 21: Comparativo entre fachada entre vãos (tradicional) e fachada de vidro (cortina)



(fonte: IHU UNISINOS, 2019)

Existem diversos tipos construtivos de esquadrias aplicados nas edificações, que são denominados “fachadas de vidro”, por formarem fachadas onde predomina o uso do vidro como material de fechamento. Este tipo de fachada pode ser executado através de diferentes métodos construtivos, quando pode ser denominado como: fachada cortina, fachada pele de vidro, *structural glazing*, fachada unitizada, fachada *spider glass* e fachada fotovoltaica. Nos subitens a seguir serão explicados todos os sistemas.

4.1. ESQUADRIAS ENTRE VÃOS

As esquadrias denominadas entre vãos são as mais antigas e comuns aplicadas nas edificações, também conhecidas como portas e janelas. Elas são instaladas em vãos acabados, podendo ou não ter contramarco. Sua função é fazer fechamento de vãos existentes na edificação além de garantir estanqueidade, ventilação, iluminação, isolamento térmico e acústico (Figura 22). As esquadrias do projeto em estudo, na sua maioria, são do tipo entre vãos de alumínio.

Figura 22: Edificação com esquadria entre vãos



(fonte: SISTEMA METALLAR, 2020)

4.2. FACHADAS DE VIDRO

As fachadas de vidro podem ser projetadas para ter função tanto de revestimento como de vedação externa principal da edificação, muito embora o termo seja empregado de modo genérico para designar uma série de diferentes tecnologias construtivas. Estas fachadas empregam subestruturas que geralmente são engastadas apenas em um ponto a cada trecho, se assemelhando, portanto, a uma cortina convencional usada para bloquear luz em janelas, derivando assim o termo bastante utilizado – fachada cortina (PATTERSON, 2011).

ARRUDA (2010) define fachada cortina como sendo todo caixilho de alumínio que seja instalado por fora da estrutura do edifício. Porém, o conceito de fachada cortina remonta ao termo em inglês *Curtain Wall*. Em sua origem esse termo pode se referir a qualquer vedação vertical de edifício que possua algum tipo de estrutura desde que o prédio suporte o peso da estrutura. O uso do termo nesse caso independe do material utilizado (LUDWIG, 2014).

A fachada cortina pode ser dividida em três componentes: ancoragem, estrutura auxiliar e quadros. As ancoragens mantêm o prumo da fachada e está junto ao prédio, são as primeiras a serem instaladas na obra. A estrutura auxiliar é composta de travessas na horizontal e colunas na vertical. As colunas recebem usinagem para serem fixadas na ancoragem bem como gaxetas de borracha para vedação. Estes perfis são cortados e usinados em fábrica e enviados à obra. Na obra acontece a montagem desta estrutura com parafusos e luvas que ligam uma barra de coluna a outra. As travessas são parafusadas entre as colunas. A estrutura auxiliar serve para receber os quadros, estes quadros podem ser encaixilhados ou colados (LUDWIG, 2014). Os quadros são compostos por perfis, gaxetas, vidro, parafusos e acessórios. O quadro encaixilhado é encaixado por pressão ou fixado por parafusos na estrutura. A instalação da fachada cortina é feita por fora do edifício utilizando balancins (ROSSO, 2007).

Ao longo dos anos, as tecnologias de fachada que fazem uso do vidro evoluíram principalmente no que diz respeito à forma de montagem do sistema e fixação do vidro. Hoje, classificam-se em: fachada cortina tradicional, pele de vidro, *structural glazing*, sistema unitizado, *spider glass* e fotovoltaica.

4.2.1. Fachada cortina tradicional

Foi o primeiro sistema disponível dentre as chamadas “fachadas de vidro”. Este tipo é montado com componentes individuais como colunas, travessas, vidros e outros componentes que são enviados separados ao local de aplicação e instalados separadamente com auxílio de equipamento de acesso externo com andaimes (KHOURY, 2002).

As ancoragens são instaladas na estrutura principal do edifício, em seguida são fixadas as colunas e travessas que receberão os quadros de alumínio com vidros encaixilhados. A vedação do sistema é proporcionada por gaxetas de EPDM (borracha de Etileno-Propileno-Dieno). A principal característica desse sistema é o fato da coluna de sustentação da subestrutura ficar exposta do lado externo da edificação, marcando visivelmente a fachada, algo muitas vezes indesejável por parte dos arquitetos (NAKUMURA, 2008) (Figura 23).

Figura 23: Edificação com fachada cortina tradicional



(fonte: INSTITUTO DE ARQUITETURA E URBANISMO DA USP, 2018)

4.2.2. Pele de vidro

O anseio por fachadas mais neutras sem elementos que evidenciassem tanto a verticalidade como a horizontalidade da vedação motivou o desenvolvimento da pele de vidro. Esse sistema também é classificado como fachada de vidro, com a diferença de que agora as colunas de sustentação ficam voltadas para o interior do edifício, minimizando a área visível de alumínio na face externa, motivo pelo qual o sistema foi nomeado como pele de vidro (NAKUMURA, 2008).

Assim como na fachada cortina tradicional, o vidro continua sendo encaixilhado e os quadros fixados mecanicamente com parafusos e presilhas. Os perfis de alumínio usados para a sustentação são mais esbeltos (MEDEIROS, 2014). O termo pele de vidro hoje é mais usado como um termo genérico e não especifica mais o método construtivo adotado no sistema. Atualmente designa fachadas de vidro onde os perfis de alumínio não são aparentes.

4.2.3. *Structural glazing*

Segundo Medeiros (2014), o sistema foi desenvolvido com a intenção de eliminar completamente a interferência visual dos perfis de alumínio nas fachadas. É o tipo de fachada em que o vidro é colado através de selante tipo silicone estrutural ou fita adesiva estrutural dupla face. A técnica visa deixar as fachadas dos edifícios mais leves e limpas. O selante torna-se elemento estrutural, aderindo aos suportes e transferindo à estrutura metálica as cargas aplicadas sobre a fachada. Também assegura estanqueidade e sua elasticidade permite a dilatação e a contração do vidro, exposto as diferenças de temperatura, sem consequências negativas (CBIC, 2017).

Esse sistema também pode ser chamado de *stick*. As colunas e travessas ainda são contínuas e fixadas manualmente à estrutura em etapas distintas e com auxílio de andaimes (MEDEIROS, 2014). A diferença é que nesse sistema as fachadas tornam-se transparentes (Figura 24) e o vidro é o elemento que tem a capacidade de definir a estética da edificação (CBIC, 2017). Partes das esquadrias do projeto em estudo se enquadram na classificação de sistema do tipo *structural glazing* ou *stick*.

Figura 24: Edificação com fachada do tipo *structural glazing* ou *stick*



(fonte: AFAEL, 2020)

A fachada *stick* pode ser dividida em três componentes: ancoragem, estrutura auxiliar e quadros. As ancoragens mantêm o prumo da fachada e está junto ao prédio, são as primeiras a serem instaladas na obra (Figura 25). A estrutura auxiliar é composta de travessas na horizontal e colunas na vertical. As colunas recebem usinagem para serem fixadas na ancoragem bem como gaxetas de borracha para vedação. Estes perfis são cortados e usinados em fábrica e enviados a obra. Na obra acontece a montagem desta estrutura com parafusos e luvas que ligam uma barra de coluna a outra. As travessas são parafusadas entre as colunas. A estrutura auxiliar serve para receber os quadros, estes quadros podem ser encaixilhados ou colados. Os colados são considerados melhores, pois oferecem facilidade de manutenção na eventual necessidade da troca de vidro (ARRUDA, 2010). Os quadros são compostos por perfil, gaxetas, vidro, parafusos e acessórios. O quadro é encaixado por pressão ou parafusado à estrutura. Segundo Arruda (2010), uma das vantagens oferecidas por esse sistema é a possibilidade da estrutura ser executada permitindo ajustes.

Figura 25: Fixação de ancoragens e estrutura auxiliar da fachada *stick*



(fonte: FINESTRA, 2013)

4.2.3.1. Colagem com selante estrutural

Faz-se necessário o dimensionamento da profundidade e altura do selante estrutural. Assim como os dispositivos de fixação mecânica utilizados nos sistemas comentados anteriormente, o selante estrutural deve suportar o peso próprio do vidro e todas as demais cargas atuantes na fachada como esforços de vento (NAKUMURA, 2008). É preciso destacar que nem todos os selantes são adequados a essa aplicação. Existem selantes de silicone específicos para atender as necessidades dessa aplicação, denominados silicone estrutural (CBIC, 2017). A colagem com selante estrutural deve atender à NBR 15737 Perfis de alumínio e suas ligas com acabamento superficial – Colagem de vidros com selante estrutural (ABNT, 2009).

Segundo CBIC (2017), algumas vantagens do uso de selante estrutural para colagem dos vidros são:

- adesão química sobre ampla gama de substratos;
- resistência a intempéries e UV;
- facilidade de aplicação;
- altas propriedades e resistência mecânica;
- altas performances em termos de riscos de quebras térmicas dos painéis de vidro e

absorção de efeitos em tremores.

4.2.3.2. Colagem com fita dupla face estrutural

A fita dupla face estrutural de espuma moldada e adesivo de 2 mm é a outra opção de material comercializado para colagem de vidros para a aplicação no sistema *structural glazing*. A aplicação dessa fita, além de funcionar como elemento de estanqueidade ao ar e à água, também proporciona suporte estrutural e fixação aos vidros. (CBIC, 2017). A colagem com fita dupla face estrutural deve atender à NBR 15919 Perfis de alumínio e suas ligas com acabamento superficial – Colagem de vidros com fita dupla-face estrutural de espuma acrílica para construção civil (ABNT, 2011). É de suma importância à realização do pré-tratamento da superfície do metal para que haja aderência entre a fita dupla face e o metal.

4.2.4 Sistema unitizado

O sistema unitizado surgiu para eliminar etapas na instalação de fachadas. Adotado no início do século XX pelo mercado brasileiro de Construção Civil, o sistema unitizado é montado através da instalação de módulos pré-fabricados com perfis de alumínio com encaixe macho e fêmea. Podem ser utilizados outros materiais além do vidro, como granito, porcelanato, alumínio composto (ACM). A Figura 26 exemplifica uma fachada unitizada composta por vidro e alumínio composto. Normalmente os vidros são fixados com selante estrutural ou com fita dupla face estrutural, mas também podem ser encaixilhados (MEDEIROS, 2014).

Figura 26: Edificação construída com sistema unitizado



(fonte: REVISTA PROJETO, 2020)

Segundo Medeiros (2014), os módulos são montados na fábrica ou na obra, permitindo o controle da produção dos componentes fora do seu local de instalação. Depois de montados, os módulos são içados com auxílio de guindaste ou grua e posicionados um a um no vão de determinado pavimento sobre as ancoragens reguláveis previamente posicionadas na estrutura, sempre de baixo para cima na edificação. Essas ancoragens são posicionadas em todo o perímetro do edifício, normalmente sobre as lajes. O posicionamento das ancoragens define a posição de instalação dos módulos e o prumo da fachada.

Todo o processo de instalação é feito sem o uso de andaime suspenso (Figura 27). Usualmente, os módulos são fabricados com a altura suficiente para vencer o pé-direito de um pavimento. Diferentemente das fachadas cortina tradicional e *structural glazing* que necessitam de uma estrutura suporte composta por colunas e travessas, no sistema unitizado os módulos são quadros fechados com as travessas e colunas incorporadas. As colunas são fabricadas no formato macho e fêmea, permitindo a estanqueidade entre módulos, os quadros ficam totalmente encaixados uns aos outros na direção vertical e o sistema pode ser instalado à medida que a estrutura do edifício é executada (MEDEIROS, 2014).

As vantagens do uso do sistema unitizado são a agilidade da produção de fachadas e a versatilidade, pois possibilita diagramações planas, curvas e angulares. Outro benefício é a logística do canteiro de obras, que fica mais dinâmica. Segundo José Sabiosi de Lima (apud,

AFAEL, 2020), vice-presidente de Economia Estatística da AFAEL (Associação Nacional de Fabricantes de Esquadrias de Alumínio), o sistema também reduz o índice de manutenção e libera ambientes para realização de outras atividades aliadas à instalação. As desvantagens do sistema são a necessidade de equipamentos que elevam o custo da construção e a baixa quantidade de mão de obra especializada no mercado.

Figura 27: Içamento e instalação de módulo de fachada unitizada



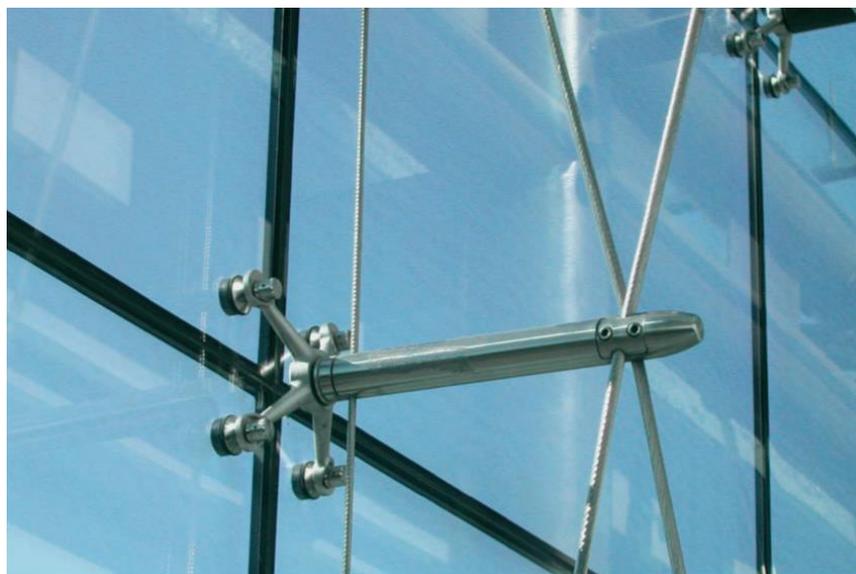
(fonte: PATTERSON, 2011)

4.2.5 *Spider glass*

Segundo Medeiros (2014), o *spider glass* é um sistema de vedação de fachadas que permite o vidro sobre a estrutura por meio de componentes especiais em aço inoxidável. Tem grande apelo estético por promover maior transparência quando comparado a outros sistemas. No sistema, os vidros são presos pontualmente por peças articuladas fixadas a uma estrutura portante metálica, dispensando, portanto, os caixilhos e o selante estrutural. Os componentes de fixação são compostos por braços e parafusos rotulares ou fixos. Os vidros precisam ser

furados para serem acoplados ao sistema de fixação. No Brasil, o sistema é utilizado normalmente em aplicações pontuais, as quais cobrem uma pequena área da fachada, sendo bastante comum em vitrines de lojas e halls de entrada de edifícios (Figuras 28 e 29).

Figura 28: Estrutura e fixação utilizada no sistema de fachada tipo *spider glass*



(fonte: PATTERSON, 2011)

Figura 29: Edificação com fachada sistema *spider glass*



(fonte: TECNOSYSTEM, 2020)

4.2.6 Fotovoltaicas

O sistema fotovoltaico consiste no uso de células solares ou placas fotovoltaicas em edificações com a finalidade de gerar energia. Os painéis fotovoltaicos podem ser incorporados em qualquer ponto da fachada da edificação substituindo um elemento convencional. (Figura 30).

Figura 30: Prédio do IEE/USP com módulos fotovoltaicos em sistema interligado à rede elétrica



(fonte: ZILLES & OLIVEIRA, 2001)

Painéis solares fotovoltaicos são projetados e fabricados para serem utilizados em ambiente externo, sob sol, chuva e outros agentes climáticos, devendo operar satisfatoriamente nestas condições por períodos de 30 anos ou mais. Assim sendo, são apropriados à integração ao envoltório de edificações. Sistemas solares fotovoltaicos integrados ao envelope da construção podem ter a dupla função de gerar eletricidade e funcionar como elemento arquitetônico na execução de telhados, paredes, fachadas (RÜTHER, 2004) (Figura 31).

Figura 31: Edifício solar fotovoltaico



(fonte: PORTAL SOLAR, 2020)

5 METODOLOGIA DE ANÁLISE

5.1 DESCRIÇÃO DA EDIFICAÇÃO

O complexo é composto por um shopping com fachada predominantemente composta pelo sistema fachada ventilada; uma torre comercial (à direita na imagem) que possui fachada composta por esquadrias entre vãos e alguns trechos de fachada de vidro do tipo *structural glazing (stick)*; e, por último, a torre residencial assinalada na Figura 32, que é objeto do estudo em questão e sua fachada será detalhada em breve.

Figura 32: Imagem do catálogo de venda do Empreendimento



(fonte: Construtora)

A fachada ventilada do shopping é composta por uma estrutura de sustentação metálica, fixada na alvenaria impermeabilizada e por painéis de concreto polímero. O sistema é importado de Portugal e executado por uma empresa que possui filial no Brasil. A execução do serviço é feita toda com andaime fachadeiro e o deslocamento vertical dos painéis realizado manualmente através de roldanas. As placas são içadas uma a uma em uma gaiola metálica e então posicionadas.

A Figura 33 apresenta a perspectiva da fachada principal da edificação em estudo. A torre residencial tem predominância de esquadrias de alumínio do tipo entre vãos. Nas extremidades da edificação e no centro encontram-se três locais com sistema de fachada do tipo *structural glazing* ou *stick*, mas que no projeto é denominada como fachada pele de vidro, usando um termo genérico.

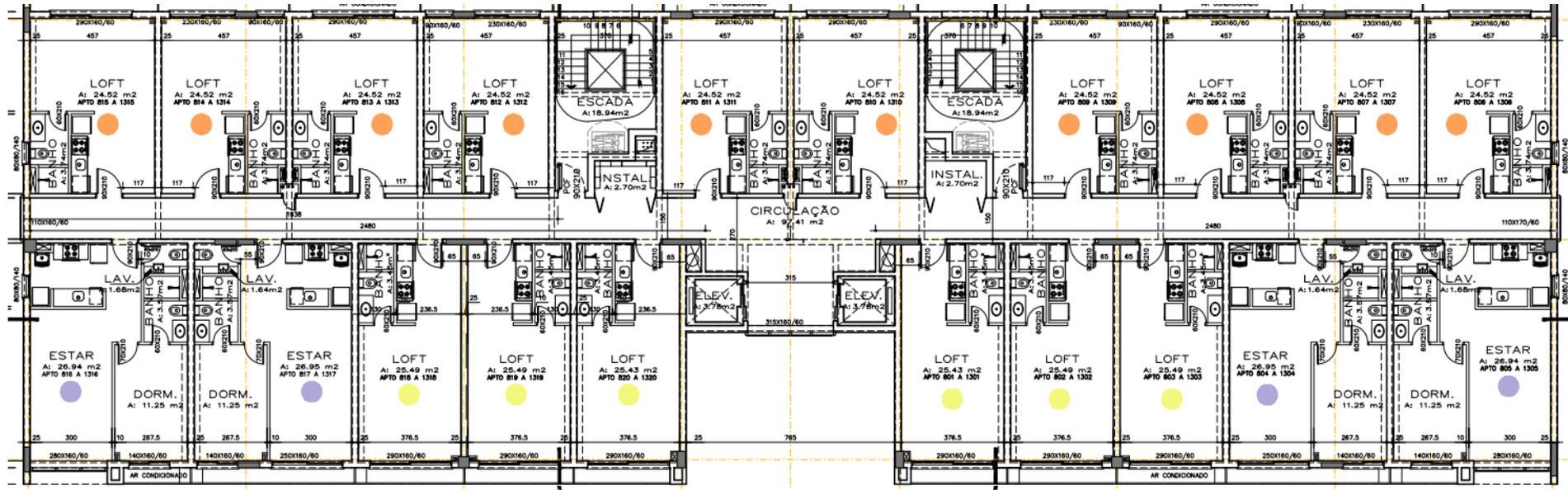
Figura 33: Fachada principal da edificação.



(fonte: Construtora)

A edificação possui sete pavimentos tipo, composta por dezesseis lofts de 35 m² de área e quatro apartamentos de um dormitório com área de 53 m² por andar, totalizando 140 unidades residenciais à venda; cobertura técnica e área comum localizada no sexto andar, acima do shopping. A área comum é composta por piscina, academia, salão de festas, espaço de convívio interno, lavanderia, churrasqueira externa e espaço de convívio externo. As Figuras 34 e 35 ilustram em planta o pavimento tipo e a área comum da edificação.

Figura 34: Planta baixa pavimento tipo



(fonte: Construtora)

Figura 35: Área comum da edificação



(fonte: Construtora)

A obra do complexo teve início com o shopping em novembro de 2017. Trata-se de uma fundação composta por estacas do tipo hélice contínua, estacas raiz, tirantes e paredes diafragmas. A estrutura do shopping é composta por pilares e vigas de concreto pré-moldado e algumas estruturas como lajes, escadas e rampas são de concreto moldado *in loco*. A fim de diminuir o peso da estrutura, as lajes do shopping são do tipo alveolar. A estrutura das torres teve início em janeiro de 2019. Essas, no entanto, possuem toda estrutura de concreto moldado *in loco* e lajes maciças. A previsão inicial de habite-se do complexo era para novembro de 2020, porém, com as paralisações para atendimento aos decretos municipais de combate ao COVID-19, o prazo de término está previsto para abril de 2021.

5.2 PROJETO DE ESQUADRIAS

O projeto de esquadrias do empreendimento é dividido em três fases: estudo preliminar, anteprojeto e projeto executivo.

5.2.1 Estudo preliminar

O estudo preliminar é a primeira etapa de desenvolvimento do projeto. Consiste no estudo dos critérios de projeto das esquadrias a serem executadas e constitui a configuração inicial da solução, levando-se em conta as principais exigências contidas no programa de necessidades fornecido pela arquitetura. Seu objetivo é definir parâmetros básicos para elaboração futura de projeto das esquadrias da obra. Nele contém informações sobre tipos de esquadrias, materiais, as cargas de vento utilizadas, espessuras e cores de vidros e estimativas de custos do projeto, considerando a solução proposta no estudo. A memória de cálculo das cargas de vento e espessuras de vidros é entregue à construtora junto ao relatório. O estudo preliminar utiliza o projeto arquitetônico como pré-requisito a fim de atender aos preceitos definidos pela arquitetura para a edificação.

Este estudo foi finalizado e entregue em agosto de 2018, momento em que a estrutura da edificação estava em andamento, por uma empresa de consultoria em esquadrias. Nessa fase inicial de projeto são entregues algumas pranchas com poucos detalhes, apenas identificando o tipo de solução utilizada para a edificação. As Figuras 36, 37 e 38 ilustram o nível de detalhamento entregue no estudo preliminar.

Figura 36: Fachada principal – Mapeamento de modulações Estudo Preliminar



Figura 37: Trecho da fachada – Janelas de correr Estudo preliminar

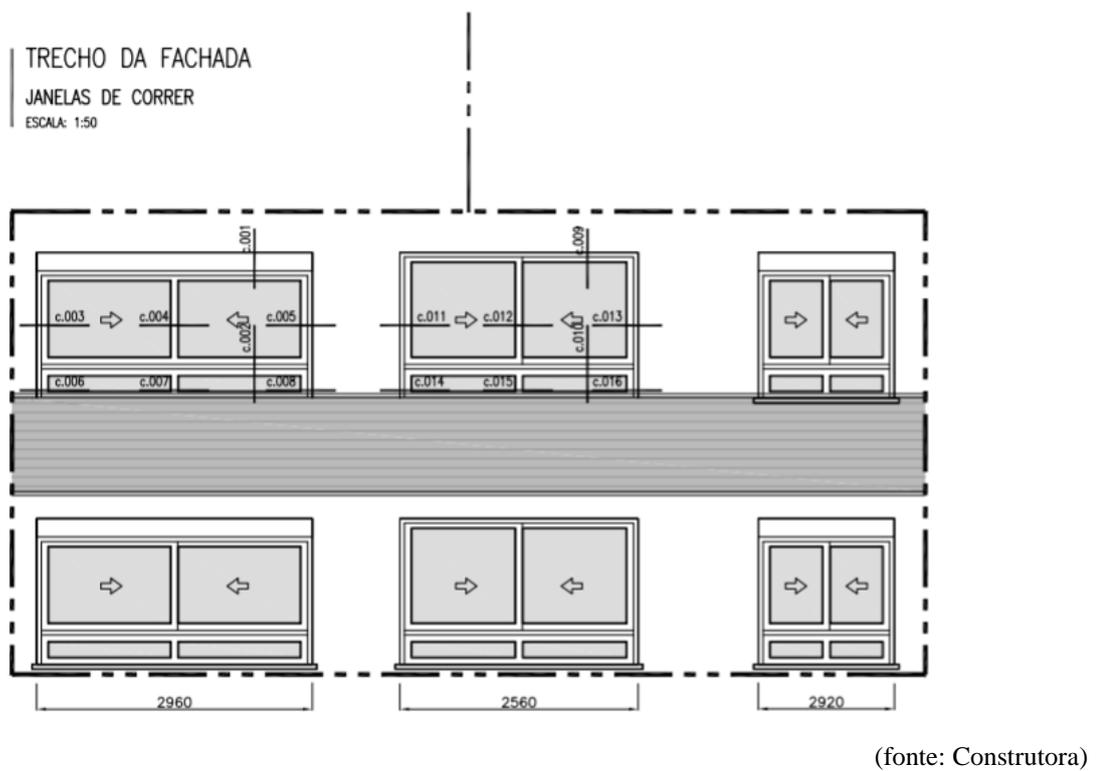
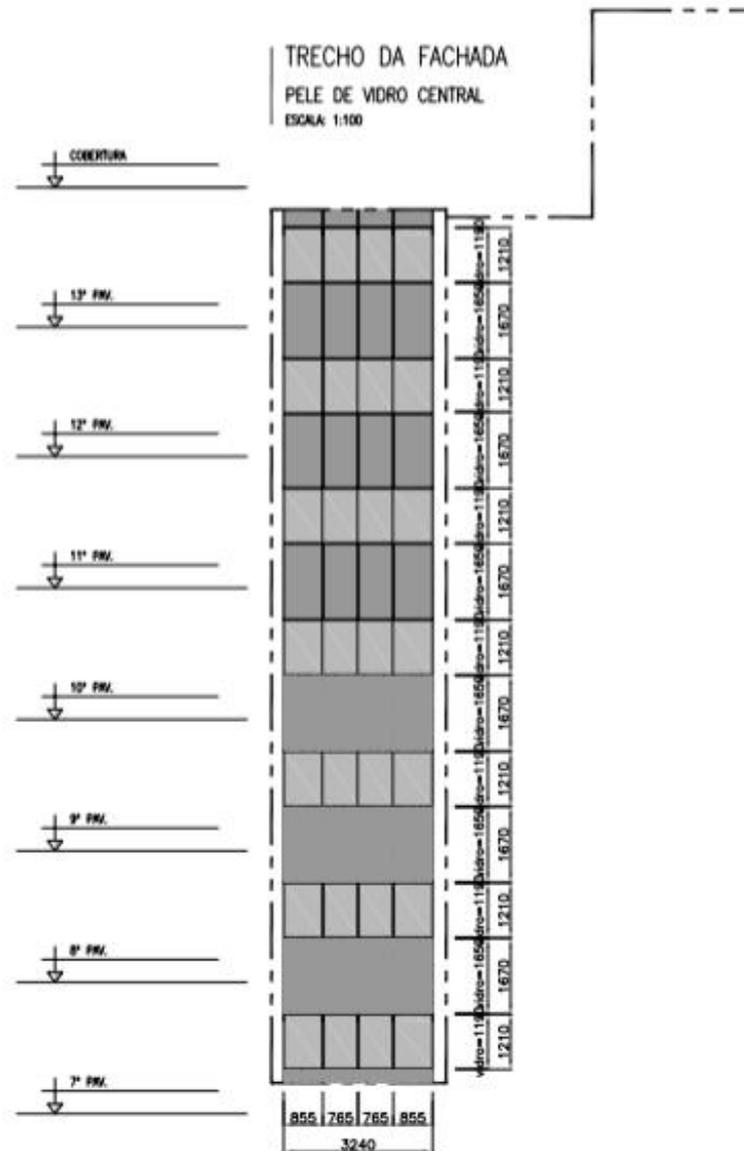


Figura 38: Trecho da fachada – “Pele de vidro Central” Estudo preliminar



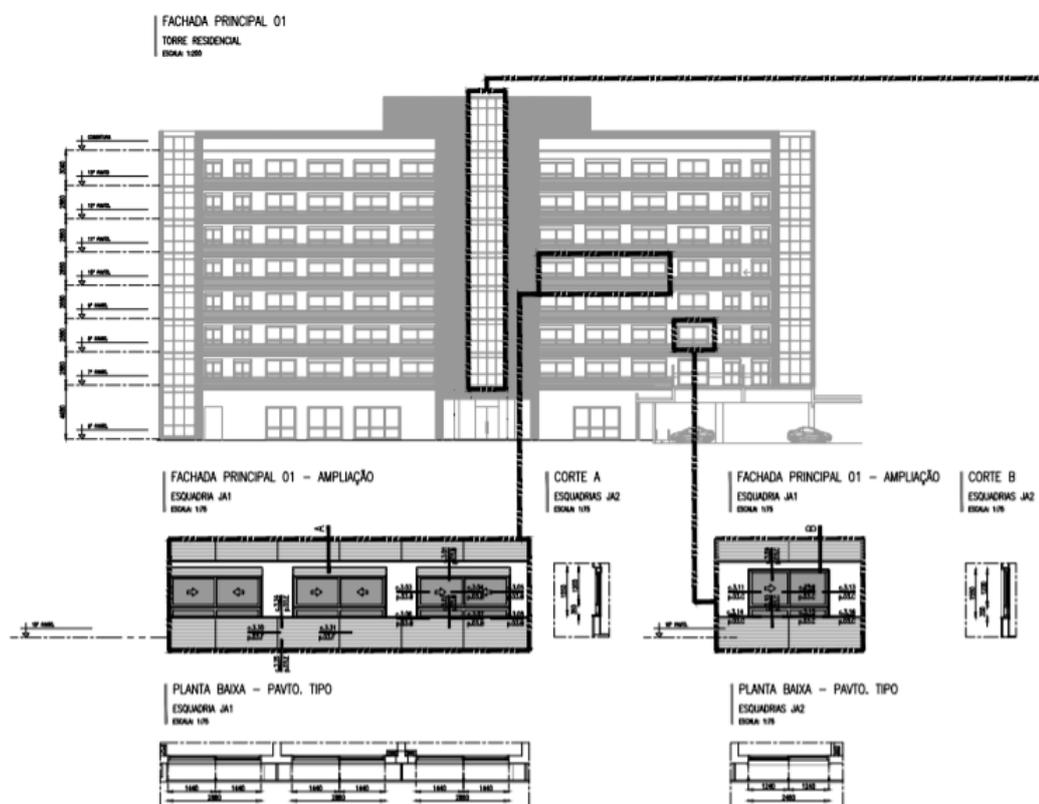
(fonte: Construtora)

5.2.2 Anteprojeto

Segunda etapa de desenvolvimento do projeto constitui a configuração final da solução proposta para a edificação, considerando todas as exigências contidas no programa de necessidades e o estudo preliminar. Consiste na entrega de projetos com um grau mais elevado de detalhe. Nessa fase é feita uma lista de desenhos, nos quais são dados nomes às esquadrias, definidos os respectivos tamanhos de vãos e criados alguns cortes.

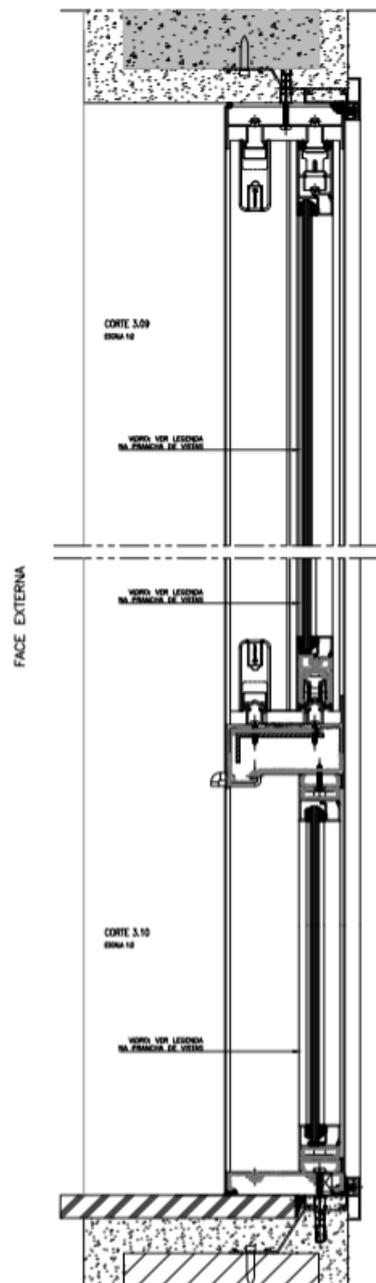
O Anteprojeto foi realizado pela mesma empresa que realizou o estudo preliminar e tem como consultor o Engenheiro Mecânico que atua na área de consultoria em esquadrias há quinze anos, especialista em projetos de esquadrias e principalmente em soluções de fachadas ventiladas, que terá sua identidade preservada. Para demonstração dos detalhes das esquadrias entre vãos do anteprojeto, foi escolhida a esquadria JA1 (Figuras 39, 40 e 41).

Figura 39: Fachada principal – Mapeamento de modulações Anteprojeto



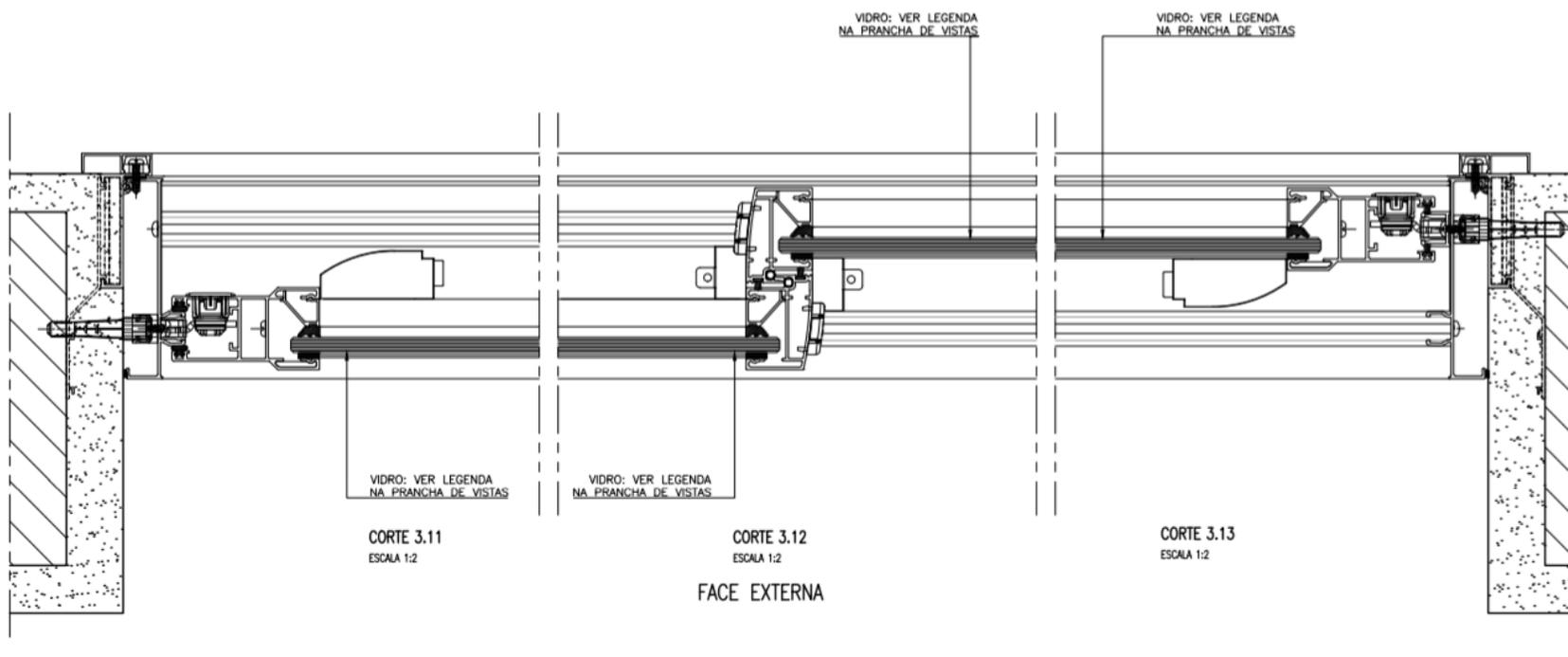
(fonte: Construtora)

Figura 40: Cortes 3.09 e 3.10 Esquadria JA1 Anteprojeto



(fonte: Construtora)

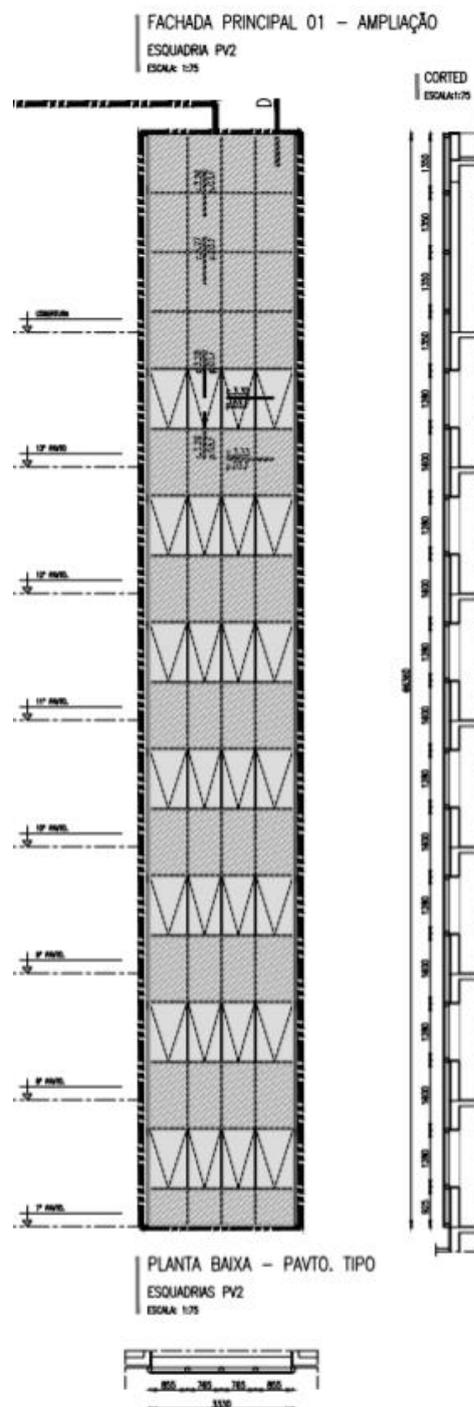
Figura 41: Cortes 3.11, 3.12 e 3.13 Esquadria JA1 Anteprojeto



(fonte: Construtora)

Foi escolhida também a esquadria PV2, uma esquadria do tipo *structural glazing* ou *stick* para demonstração dos detalhes do anteprojeto (Figura 42).

Figura 42: Fachada principal - Mapeamento de modulações Esquadria PV2 Anteprojeto



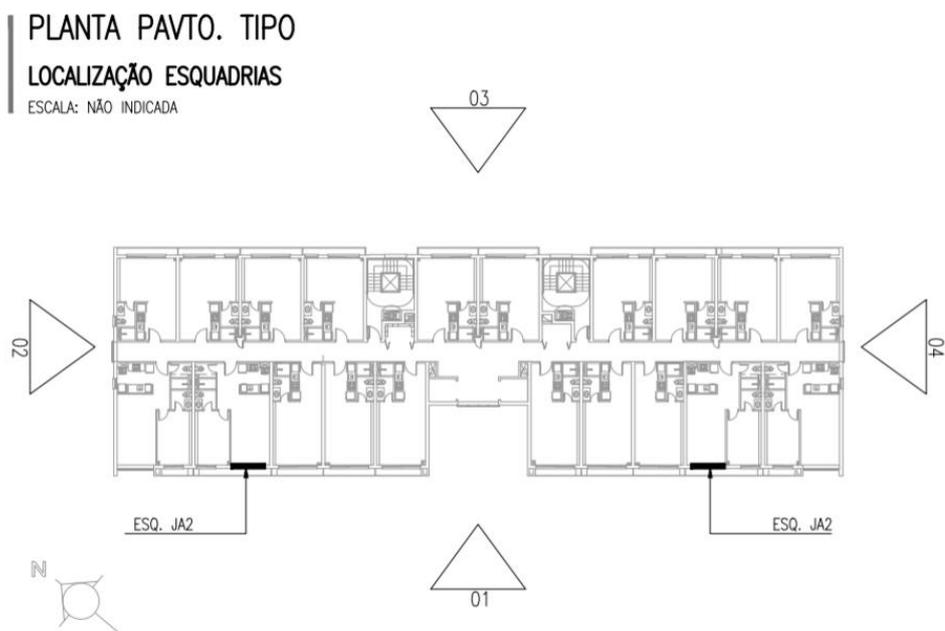
(fonte: Construtora)

Nota-se na análise das imagens que as esquadrias entre vãos são nomeadas e apresentam maiores detalhes nos cortes, indicando até uma possibilidade de fixação. Não detalham, porém, tipo de contramarco. Já nas esquadrias do tipo *structural glazing* ou *stick* é possível perceber que os cortes se atêm apenas a indicação dos vãos da estrutura da edificação à qual a esquadria será fixada, sem informações mais específicas.

5.2.3 Projeto Executivo

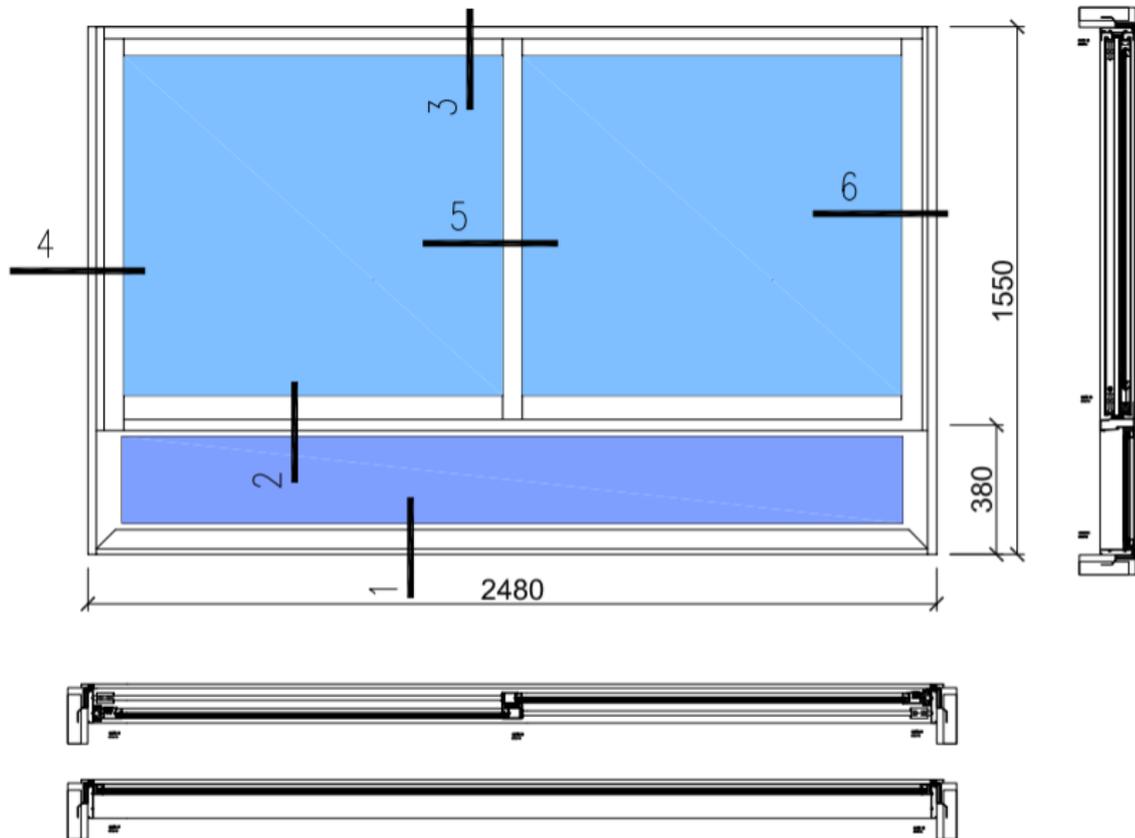
Terceira e última fase de desenvolvimento do projeto de esquadrias e fase com maior nível de detalhamento. É o conjunto de documentos técnicos (memoriais, desenhos e especificações) necessários à execução (fabricação, montagem e instalação das esquadrias), nesse sentido, torna-se necessário que todas as esquadrias sejam desenhadas separadamente nessa etapa. Constam em todas as pranchas: localização da esquadria (Figura 43), vista externa (Figura 44), e cortes muito bem detalhados (Figuras 45, 46 e 47), retiradas a partir da escolha da esquadria entre vãos JA2 para exemplificação.

Figura 43: Localização da esquadria JA2 Projeto Executivo



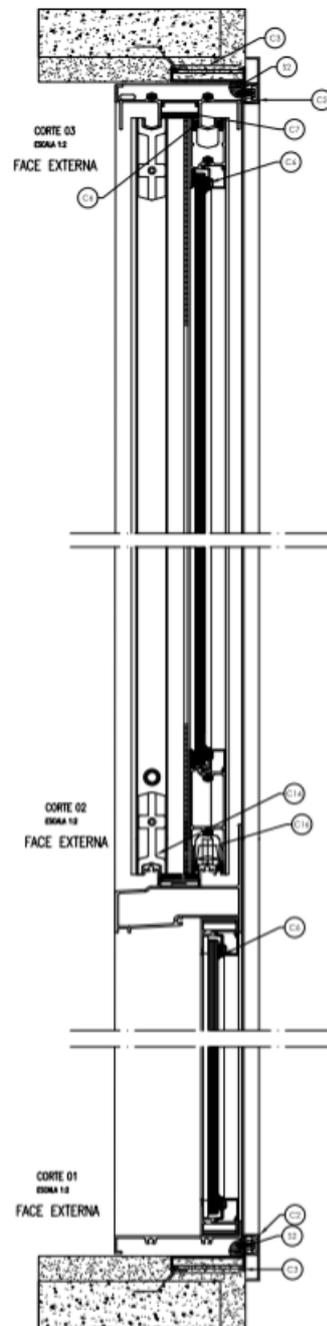
(fonte: Construtora)

Figura 44: Vista Externa Esquadria JA2 Projeto Executivo



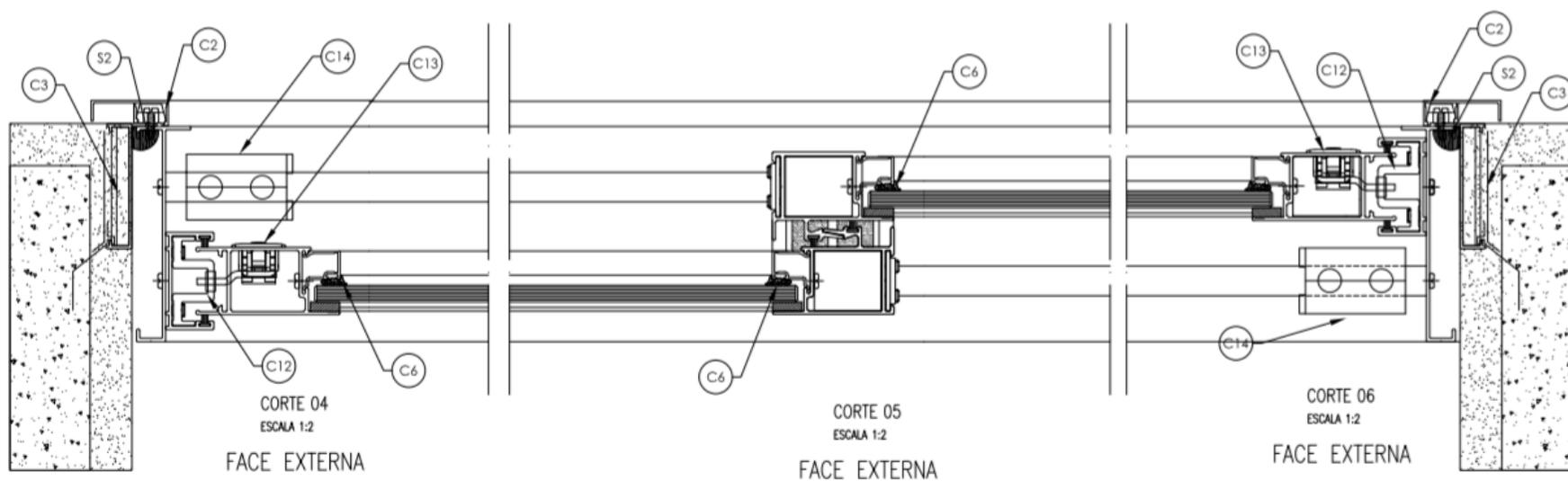
(fonte: Construtora)

Figura 45: Cortes 1, 2 e 3 Esquadria JA2 Projeto Executivo



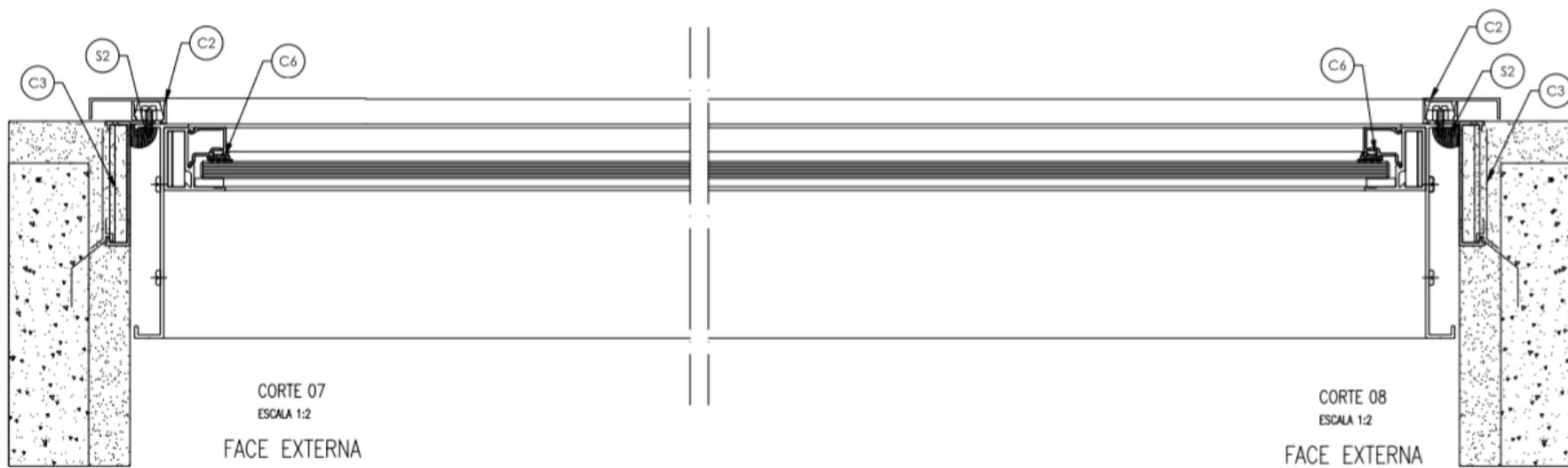
(fonte: Construtora)

Figura 46: Cortes 4, 5 e 6 Esquadria JA2 Projeto Executivo



(fonte: Construtora)

Figura 47: Cortes 7 e 8 Esquadria JA2 Projeto Executivo



(fonte: Construtora)

A partir da análise das Figuras 45 a 47, percebe-se que projeto executivo apresenta muitos detalhes, pois mostra todos os materiais utilizados na instalação, desde o parafuso ao detalhe do tipo de contramarco. Permite, portanto que até um operário que não seja especialista em esquadrias tenha bom entendimento de como ela será instalada. A Figura 48 mostra a legenda de materiais da esquadria JA2:

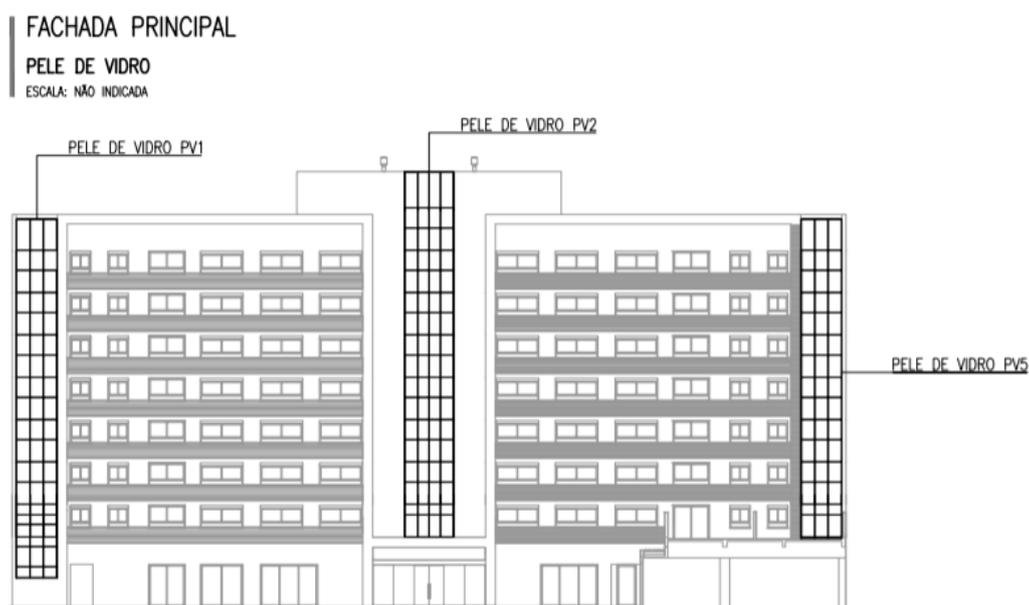
Figura 48: Legenda de materiais Esquadria JA2 Projeto Executivo

CODIGO	DESCRICAO	MATERIAL	ACABAMENTO
C1	MANTA PROSPEC ACUSTICA	ADESIVO/ALUMINIO	NATURAL
C2	NYL-190 / PAR-936 - FIXAÇÃO PARAFUSO A.A.C.P.Ø4,2 X 16MM E PRESILHA NYL-190 A CADA 500MM	NYLON	NATURAL
C3	GRAPA DE FIXAÇÃO DO CONTRAMARCO A CADA 500MM	ALUMÍNIO 6060—T5	NATURAL
C4	MOTOR SOMFY 510 R2 RAF 103/549	—	
C5	GUARNIÇÃO GUA-259	EPDM	PRETO
C6	ESCOVA DE VEDAÇÃO		
C7	VEDAÇÃO SUPERIOR - CON-381		
C8	ROLDANA DUPLA COM REGULAGEM RL-413		
C9	RASGO PARA SAIDA D'AGUA	—	
C10	KIT PARA SISTEMA DE ABERTURA ABRE-TOMBA - KITLG001	—	
C11	KIT PARA FITA DE ENROLAR	—	
C12	CONTRA-FECHO LATERAL - CON-383	—	
C13	FECHO CONCHA - CON7411A	—	PRETO
C14	BATEDEIRA DE NYLON SUPERIOR E INFERIOR - NYL-398	NYLON	
C15	CREMONA UNICA 01157N		
C16	ROLDANA COM REGULAGEM ROL-813		
C17	GUIA DESLIZANTE NYL-396	NYLON	NATURAL
C18	VENEZIANA VZ-006	ALUMÍNIO 6060—T5	
C19	BARRA DE APOIO HORIZONTAL	ALUMÍNIO 6060—T5	
C20	CHAPA AÇO INOX 1,5MM	AÇO INOX	
C21	VENEZIANA VZ-060	ALUMÍNIO 6060—T5	
C22	BARRA ANTI-PÂNICO PHA 2105 DE TRAVA VERTICAL E CHASSI PHA 2101 DORMA PHA-2000	—	
C23	DOBRADIÇA COPLANAR REFORÇADA - 03 POR FOLHA - UDINESE OU FISE	—	
C24	PAINEL SANDWICH EM CHAPA DE ALUMÍNIO COM ISOLAMENTO INTERNO EM LA DE ROCHA	ALUMÍNIO 6060—T5	PINTURA CINZA PEDRA - RAL7030
S1	SILICONE ESTRUTURAL BICOMPONENTE SIKA SG 500CN	SILICONE	PRETO
S2	SILICONE DE VEDAÇÃO SIKA HYFLEX BLACK NCS S 9000—N	SILICONE	PRETO
TRATAMENTO : PINTURA CINZA FOSCO - RAL7037F			

(fonte: Construtora)

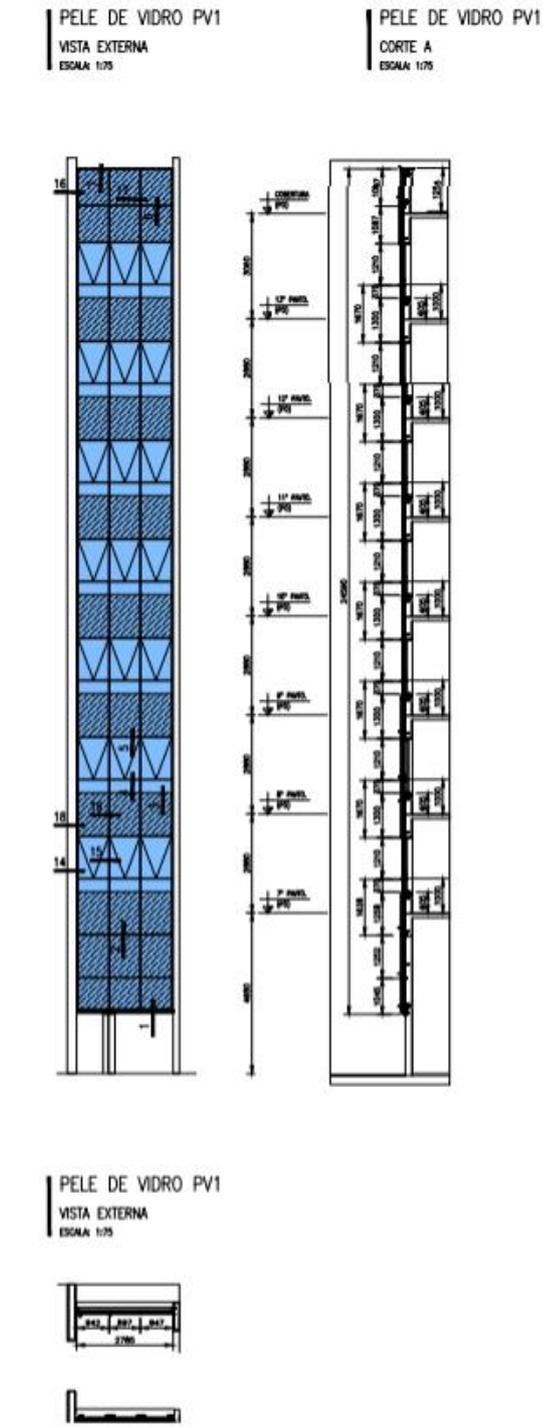
No caso da fachada do tipo *structural glazing* ou *stick*, identificada erroneamente no projeto como pele de vidro, também são apresentadas na fase de projeto executivo a localização da esquadria (Figura 49), vista externa e cortes (Figuras 50 a 55). Para visualização, foi escolhida a esquadria PV1.

Figura 49: Localização da esquadria PV1 Projeto Executivo



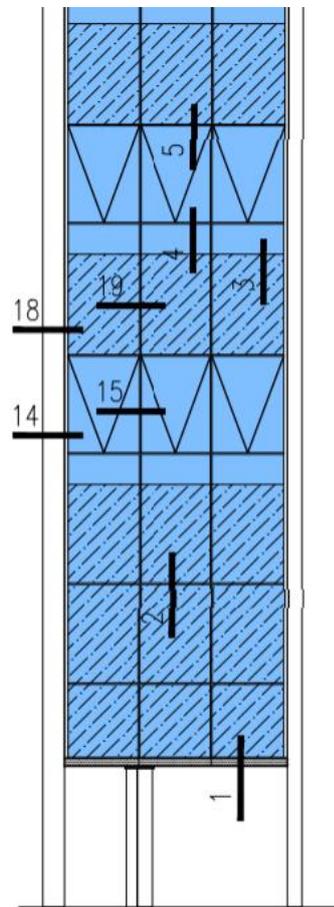
(fonte: Construtora)

Figura 50: Vista Externa e Corte A Esquadria PV1 Projeto Executivo



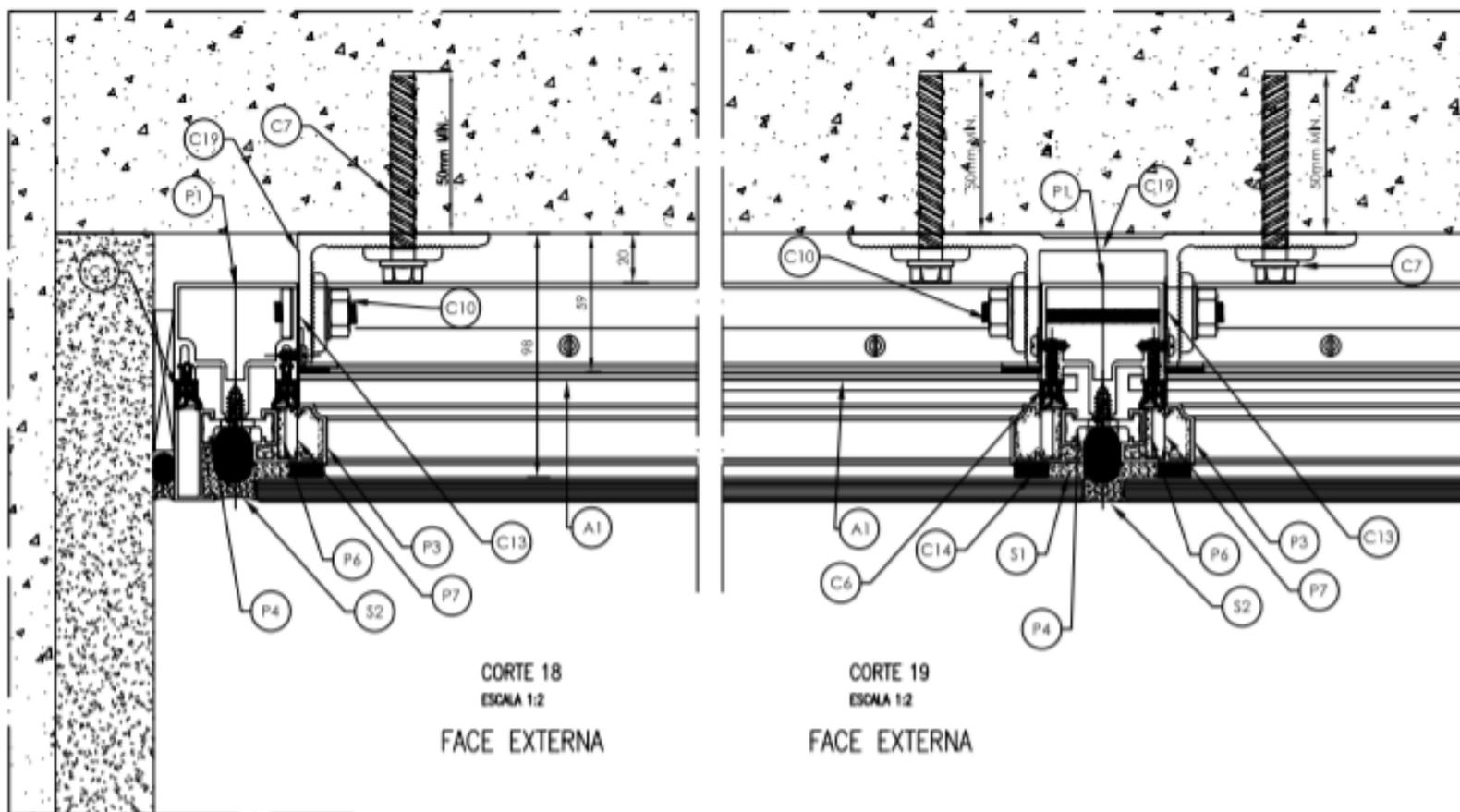
(fonte: Construtora)

Figura 51: Ampliação projeto Esquadria PV1 e demarcação de cortes à detalhar
Projeto Executivo



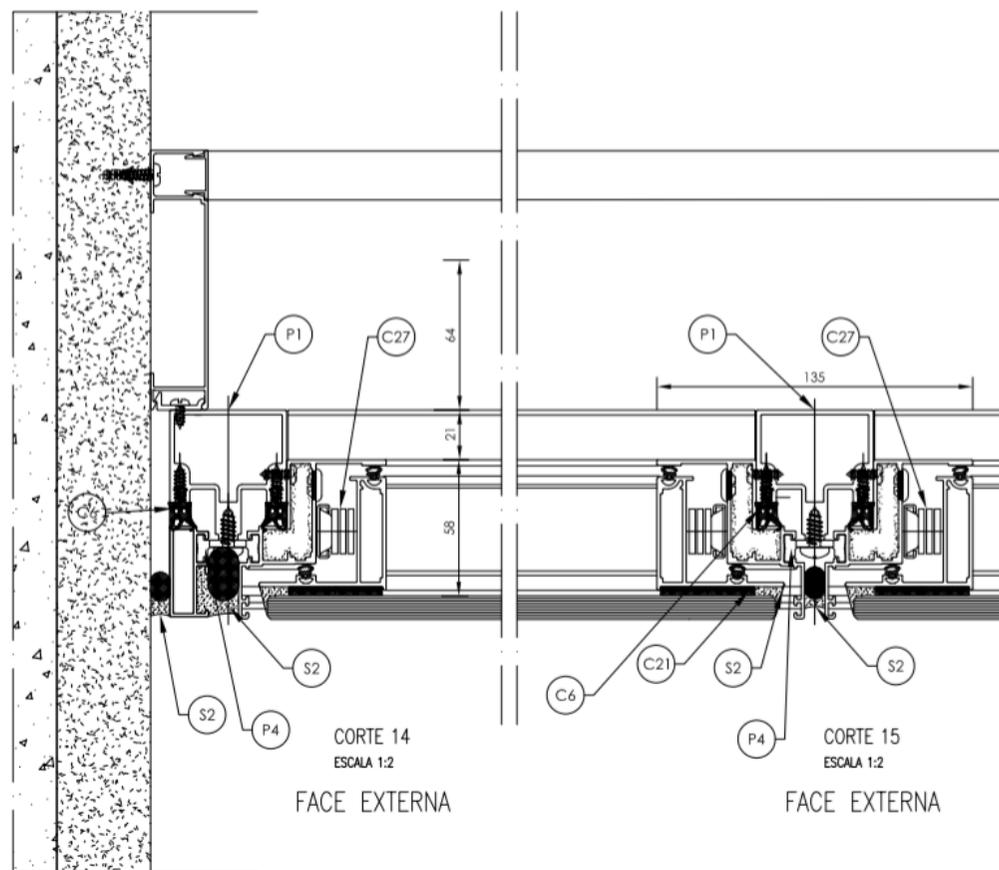
(fonte: Construtora)

Figura 52: Cortes 18 e 19 Esquadria PV1 Projeto Executivo



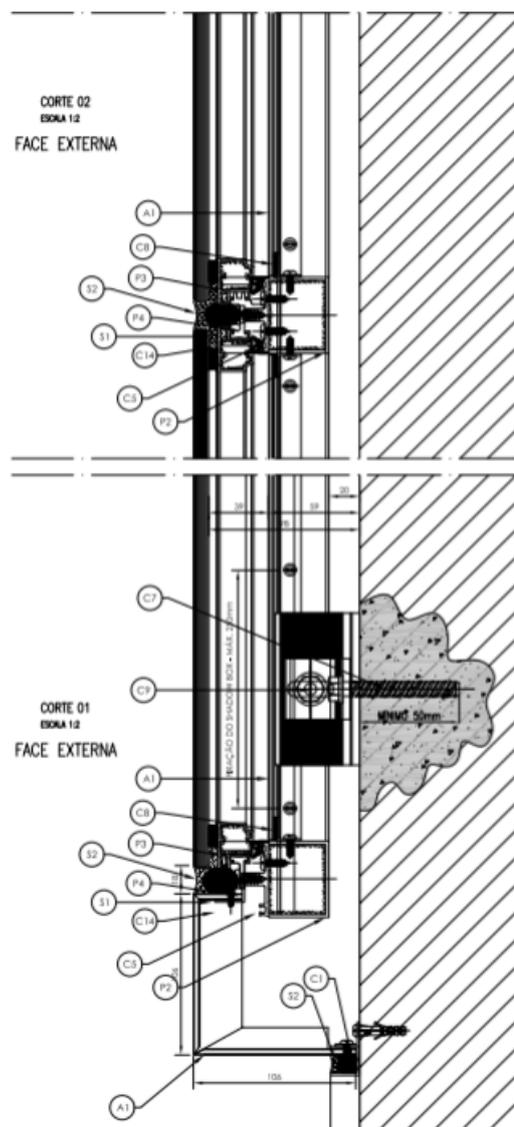
(fonte: Construtora)

Figura 53: Cortes 14 e 15 Esquadria PV1 Projeto Executivo



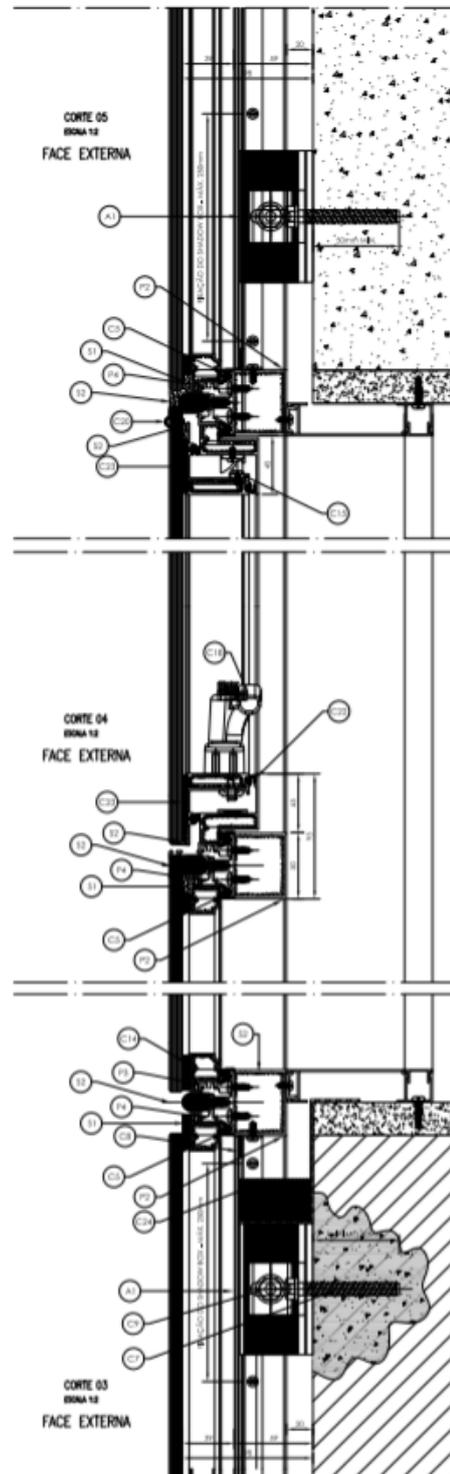
(fonte: Construtora)

Figura 54: Cortes 1 e 2 Esquadria PV1 Projeto Executivo



(fonte: Construtora)

Figura 55: Cortes 3, 4 e 5 Esquadria PV1 Projeto Executivo



(fonte: Construtora)

5.3 CRITÉRIO DE ESTANQUEIDADE EM ESQUADRIAS

As esquadrias estão sujeitas aos requisitos do usuário constantes na NBR 15575-4 Edificações habitacionais – Desempenho Parte 4: Sistemas de vedações verticais internas e externas (ABNT, 2013). Alguns critérios de desempenho são listados a seguir.

- Estanqueidade à água
- Estanqueidade ao ar
- Resistência às cargas uniformemente distribuídas
- Resistência nas operações de manuseio
- Segurança nas operações de manuseio
- Durabilidade
- Requisitos de passagem de iluminação
- Desempenho térmico
- Desempenho acústico
- Resistência ao fogo
- Acessibilidade

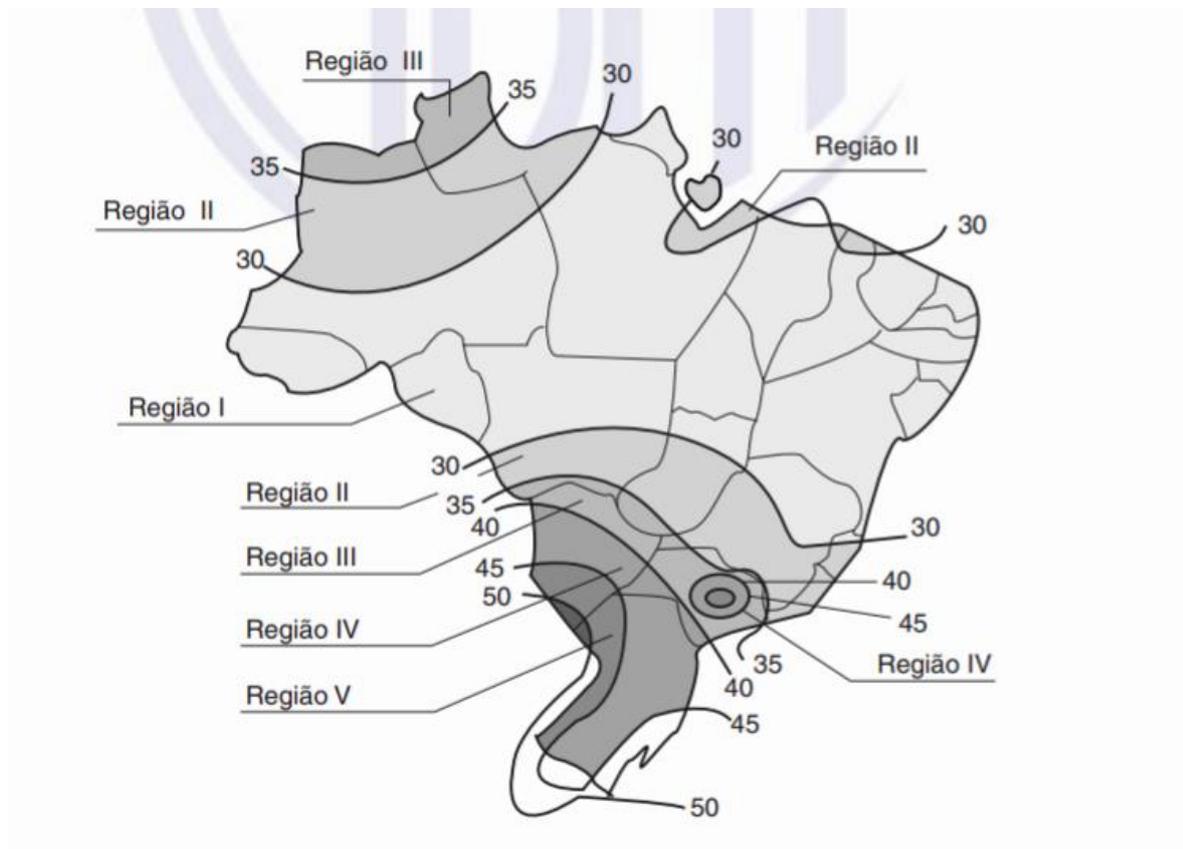
O enfoque do estudo é o critério de desempenho estanqueidade à água. Uma esquadria (porta ou janela) fabricada em aço, alumínio, madeira ou PVC deve atender ao desempenho conforme os ensaios de estanqueidade à água e as cargas uniformemente distribuídas, segundo a Tabela 1 da NBR 10821 – 2 Esquadrias externas e internas – Requisitos e classificação (ABNT, 2017), de acordo com o número de pavimentos e a região do país onde será instalada (Quadro 1 e Figura 56).

Quadro 1: Valores de pressão de vento conforme a região do país (Figura 56) e o número de pavimentos da edificação

Pressão em pascals					
Quantidade de pavimentos	Altura máxima	Região do país	Pressão de ensaio (P_e) positiva e negativa $P_e = P_p \times 1,2$	Pressão de segurança (P_s) positiva e negativa $P_s = P_e \times 1,5$	Pressão de água (P_a) $P_a = P_p \times 0,20$
02	6 m	I	350	520	60
		II	470	700	80
		III	610	920	100
		IV	770	1 160	130
		V	950	1 430	160
05	15 m	I	420	640	70
		II	580	860	100
		III	750	1 130	130
		IV	950	1 430	160
		V	1 180	1 760	200
10	30 m	I	500	750	80
		II	680	1 030	110
		III	890	1 340	150
		IV	1 130	1 700	190
		V	1 400	2 090	230
20	60 m	I	600	900	100
		II	815	1 220	140
		III	1 060	1 600	180
		IV	1 350	2 020	220
		V	1 660	2 500	280
30	90 m	I	660	980	110
		II	890	1 340	150
		III	1 170	1 750	200
		IV	1 480	2 210	250
		V	1 820	2 730	300

(fonte: ABNT, 2017)

Figura 56: Gráfico de isopletas da velocidade básica do vento (V_0) em m/s, no Brasil, conforme NBR 6123 (ABNT, 1988)



(fonte: ABNT, 2017)

A esquadria não pode apresentar vazamentos que provoquem o escoamento de água pelas paredes ou componentes sobre os quais esteja fixada, quando submetida à vazão de água e às pressões de ensaio correspondentes às regiões do Brasil onde é utilizada, conforme indicado no quadro 1.

Uma esquadria deve ser classificada no ensaio de estanqueidade à água, segundo o Quadro 2 da NBR 10821-2 (ABNT, 2017), podendo obter os seguintes níveis de desempenho (Figura 57).

Mínimo (M): É permitida a passagem de água entre os perfis da esquadria, com escoamento após o término da aplicação da vazão de água com pressão desde que não ultrapasse a face interna da parede.

Intermediário (I): É Permitido o acúmulo de água apenas no perfil inferior do marco.

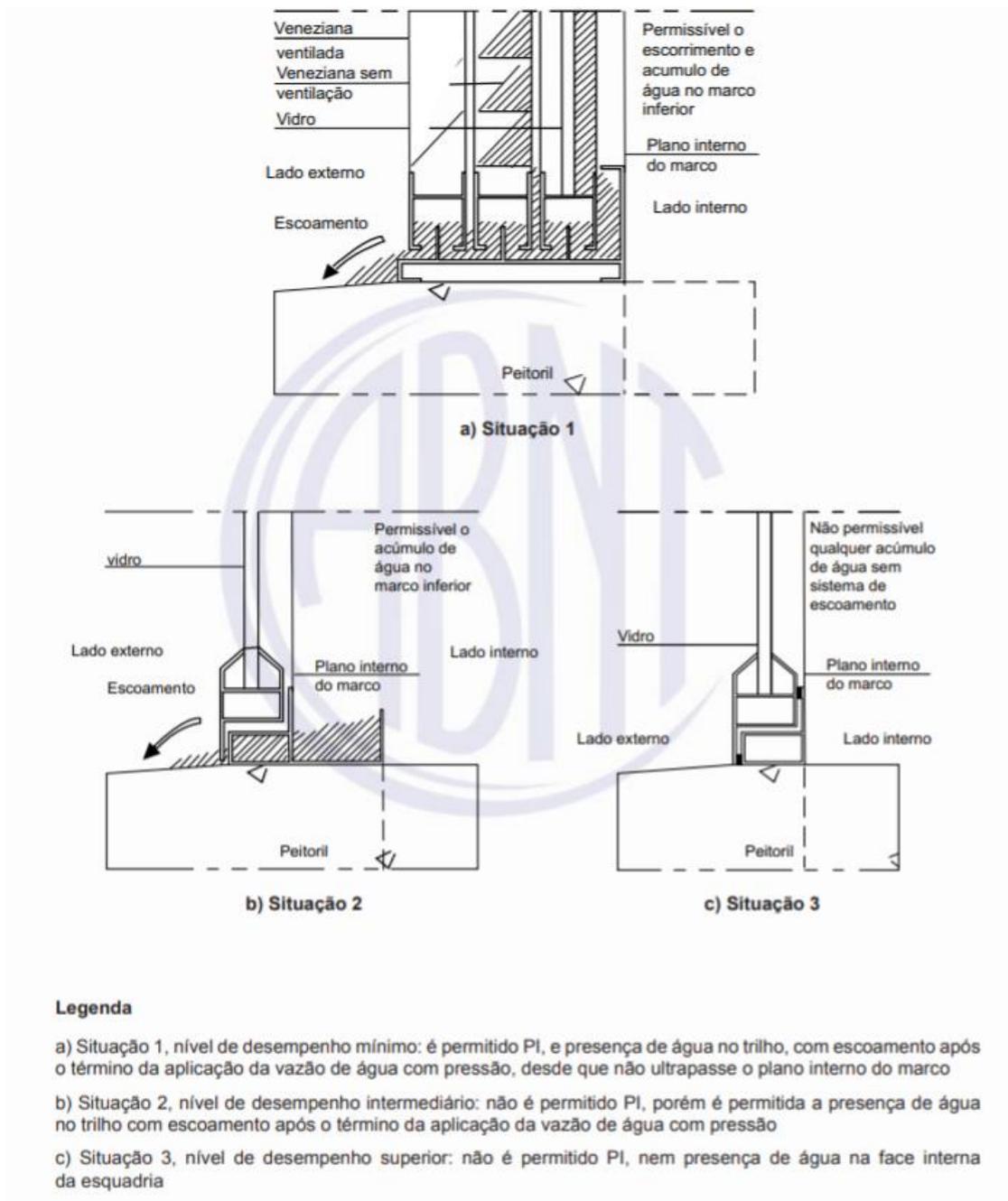
Superior (S): Não é permitida a passagem de água em qualquer parte da esquadria; deve ser estanque.

Quadro 2: Níveis de desempenho das esquadrias quanto ao seu uso (janelas)

Ensaio	Desempenho		
	Mínimo (M)	Intermediário (I)	Superior (S)
Permeabilidade ao ar	Ver Figura B.1 ^a Vazão por área $62,45 \text{ m}^3/\text{h} \times \text{m}^2$ a $163,52 \text{ m}^3/\text{h} \times \text{m}^2$ Vazão por comprimento $15,61 \text{ m}^3/\text{h} \times \text{m}$ a $40,88 \text{ m}^3/\text{h} \times \text{m}$	Ver Figura B.1 Vazão por área $6,66 \text{ m}^3/\text{h} \times \text{m}^2$ a $62,44 \text{ m}^3/\text{h} \times \text{m}^2$ Vazão por comprimento $1,66 \text{ m}^3/\text{h} \times \text{m}$ a $15,60 \text{ m}^3/\text{h} \times \text{m}$	Ver Figura B.1 Vazão por área $< 6,65 \text{ m}^3/\text{h} \times \text{m}^2$ Vazão por comprimento $< 1,65 \text{ m}^3/\text{h} \times \text{m}$
Estanqueidade à água	É permitido PI, conforme 3.7 da ABNT NBR 10821-3:2017, Figura 1. É permitida a presença de água no perfil inferior do marco ou água originada do PI, desde que ocorra escoamento após o término da aplicação da vazão de água com pressão. Não é permitido que a água ultrapasse o plano interno do marco.	Não é permitido PI, conforme 3.7 da ABNT NBR 10821-3:2017, Figura 1. É permitida a presença de água no perfil inferior do marco, desde que ocorra escoamento, após o término da aplicação da vazão de água com pressão. Não é permitido que a água ultrapasse o plano interno do marco.	Não é permitido PI, conforme ABNT NBR 10821-3:2017, 3.7 e Figura 1. Não é permitida a presença de água na face interna da esquadria.
Resistência às cargas uniformemente distribuídas	Ver os valores de pressão de acordo com altura da edificação e região do país da edificação – Tabela 1		
Operações de manuseio	Esforço aplicado conforme a ABNT NBR 10821-3, com avaliação da deformação residual obtida.		
Segurança nas operações de manuseio	Esforço aplicado conforme a ABNT NBR 10821-3, sem avaliação da deformação obtida, apenas da ruptura e queda de componentes da esquadria.		
^a Não aplicável a esquadrias instaladas em edificações localizadas na Região I, conforme a Figura 3. NOTA 1 No ensaio de estanqueidade à água, desde que não esteja especificado em contrato e/ou a esquadria não seja instalada em ambientes condicionados, é permitida a ocorrência de permeabilidade inicial (PI), conforme definido na ABNT NBR 10821-3. NOTA 2 O contratante deve determinar antes do ensaio, qual desempenho que deseja ensaiar.			

(fonte: ABNT, 2017)

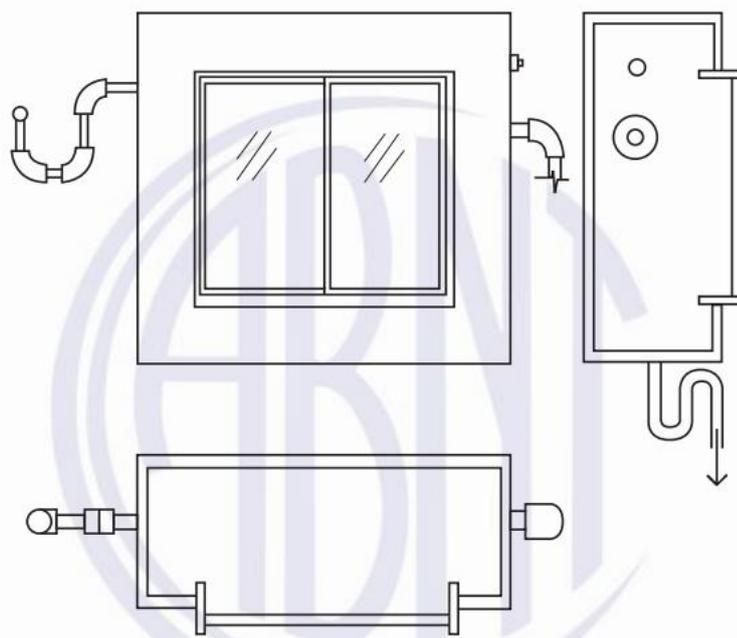
Figura 57: Situações de escoamento de água na esquadria



(fonte: ABNT, 2017)

A NBR 10821-3 Esquadrias externas e internas – Requisitos adicionais de desempenho (ABNT, 2017) especifica o método para verificar a resistência à penetração de água em ensaio de laboratório. O ensaio consiste em colocação da esquadria em uma câmara com fixação que garanta perfeita estanqueidade e estabilidade entre a esquadria e a câmara, que não interfira no resultado do ensaio, conforme Figura 58.

Figura 58: Vistas esquemáticas de uma câmara de ensaio

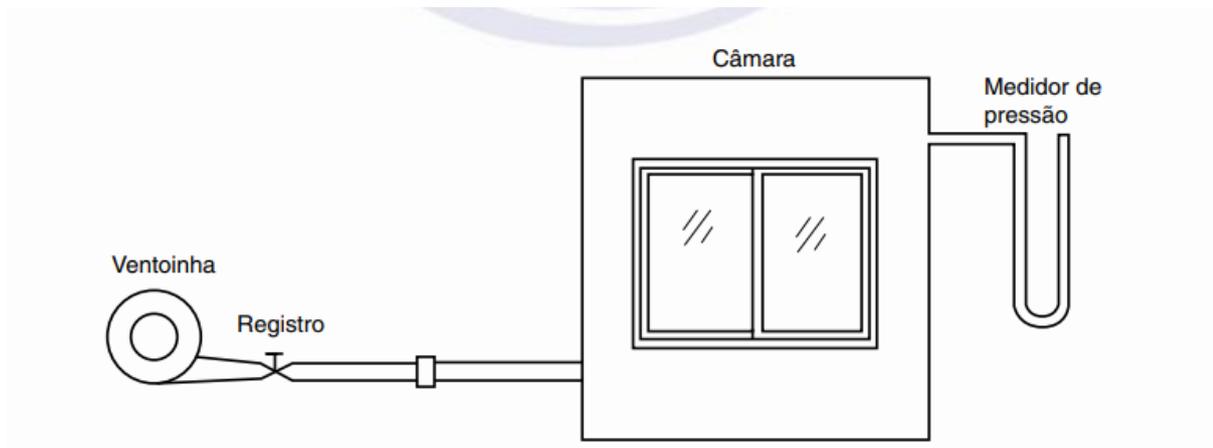


(fonte: ABNT, 2017)

São utilizados manômetros que permitam a medição das diferenças de pressão estática com exatidão (Figura 59). O sistema de aspersão de água pulveriza água de forma a aplicar uma lâmina de água contínua e regularmente aspergida a toda a superfície sujeita a ser molhada em condições de exposições reais, por meio de bicos cônicos e circulares com as seguintes características:

- ângulo de pulverização de 120°;
- variação da pressão de trabalho: 2,04 kg/cm² a 3,06 kg/cm²;
- vazão do bico: (2 ± 0,2) L/min por bico.

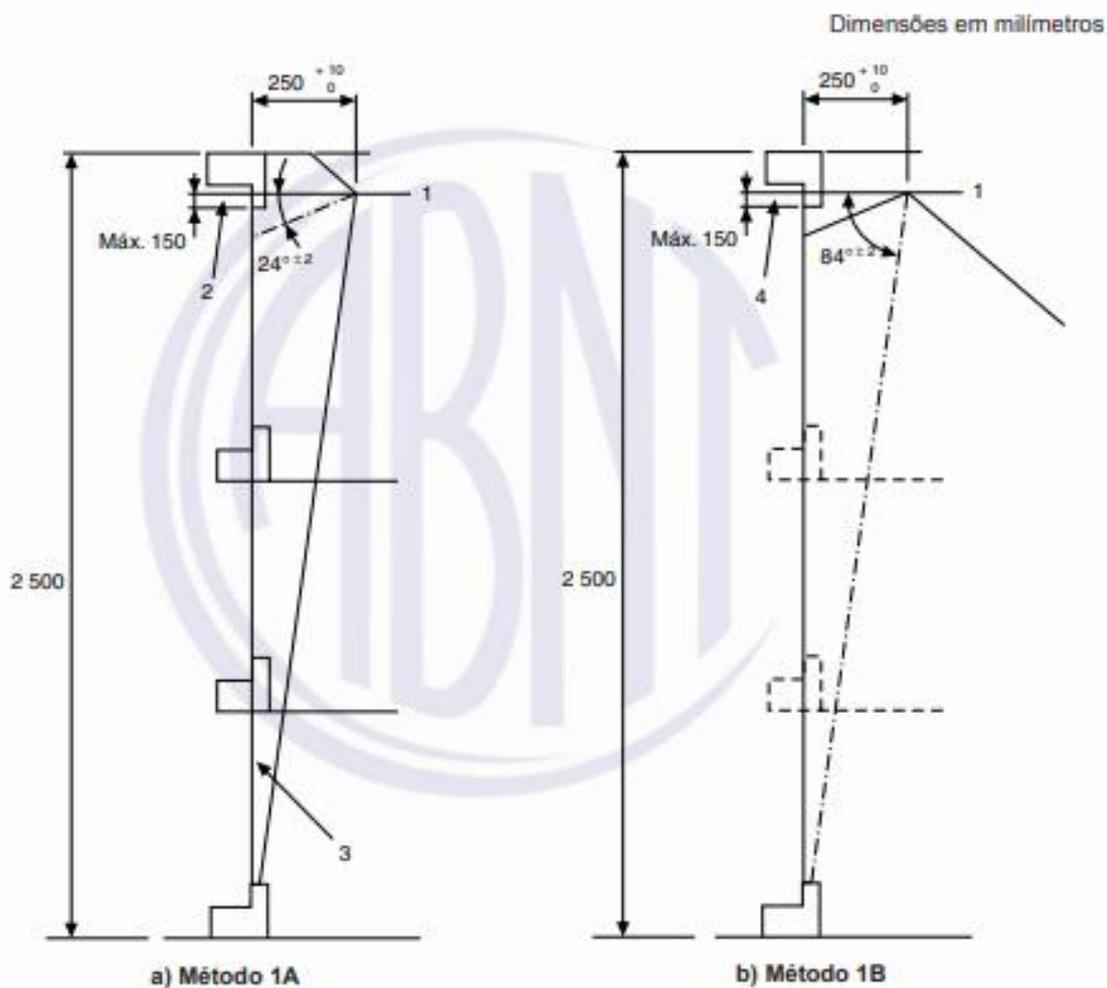
Figura 59: Esquema geral do sistema de pressurização



(fonte: ABNT, 2017)

O ângulo de inclinação dos bicos varia de acordo com a localização da esquadria na obra. Existem dois métodos de configuração de ensaio: o método A, que é adequado para esquadrias totalmente expostas, e o método B, que é adequado para esquadrias parcialmente protegidas, por projeções de lajes, por exemplo (Figura 60).

Figura 60: Representação do ensaio de estanqueidade à água para corpos de prova de até 2500 milímetros



Legenda

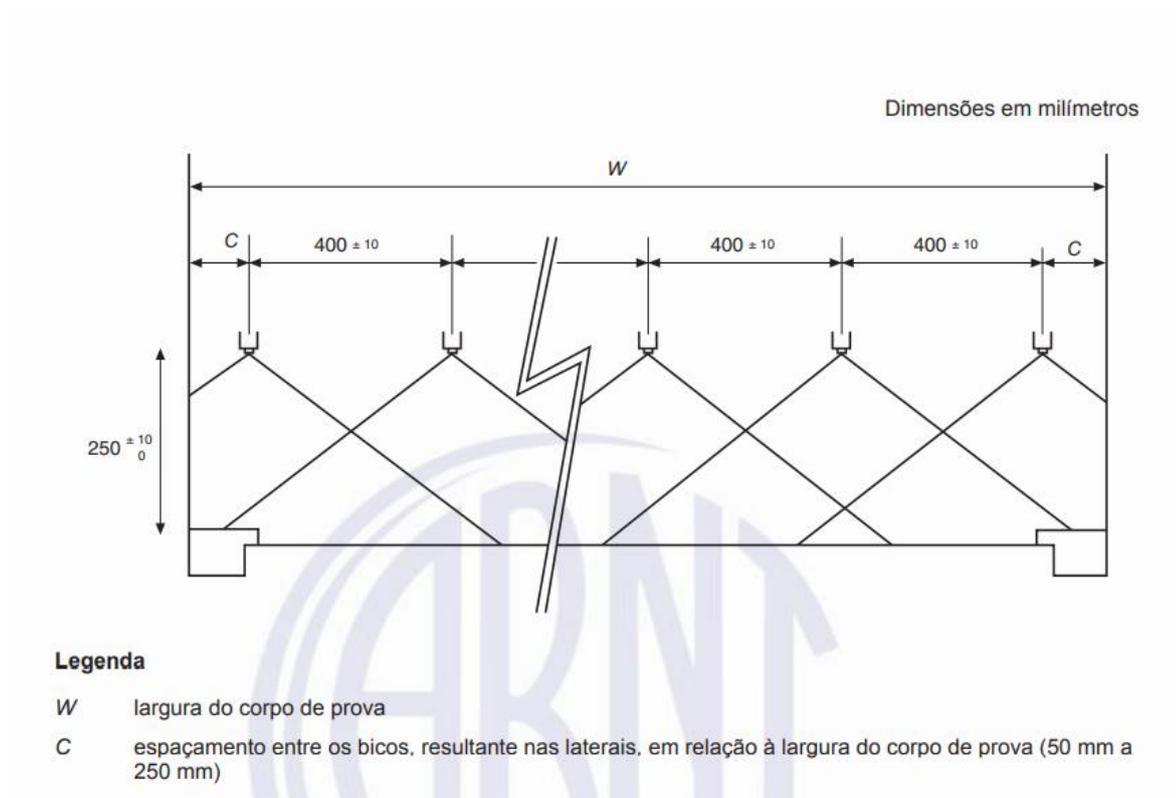
- 1 vazão de água por bico [$(2 \pm 0,2)$ L/min]
- 2 nível mínimo para a ponta do bico
- 3 plano mais afastado da junta externa ou do plano do vidro
- 4 nível mínimo para a ponta do bico

NOTA Convém que a ponta do bico esteja acima deste nível para pulverizar os componentes da parte superior por completo.

(fonte: ABNT, 2017)

A linha dos bicos deve ser posicionada no máximo a 150 mm acima da linha mais alta do protótipo da esquadria, para oferecer um umedecimento completo dos componentes da esquadria horizontal adjacente. A linha de bicos deve ser posicionada a uma distância de (250 ± 10) mm da face externa da esquadria. Os bicos devem ser posicionados ao longo do eixo da barra de pulverização, com um espaçamento de (400 ± 10) mm, sendo que o bico sempre deve estar posicionado no centro da largura da esquadria (Figura 61). O tempo de realização do ensaio é de 15 minutos.

Figura 61: Configuração dos bicos



(fonte: ABNT, 2017)

6 ACOMPANHAMENTO DE EXECUÇÃO DOS SERVIÇOS

As esquadrias tiveram início efetivo de instalação no dia 31 de agosto de 2020. As Figuras 62 e 63 ilustram as primeiras esquadrias instaladas no empreendimento.

Figura 62: Primeiras esquadrias instaladas - Fachada principal



(fonte: foto da autora)

Figura 63: Primeiras esquadrias instaladas - Fachada secundária



(fonte: foto da autora)

6.1 TRANSPORTE E ARMAZENAMENTO DE MATERIAIS

Os materiais que compõem as esquadrias foram transportados por caminhões da fábrica até o local da obra, foram descarregados manualmente no sexto pavimento e organizados de forma a não danificar as esquadrias, em cima de madeiras, embalados e identificados, conforme Figura 64.

Figura 64: Armazenamento dos materiais em obra



(fonte: foto da autora)

O transporte horizontal é feito com apoio de um carrinho de quatro rodas até a torre residencial e o transporte vertical é feito através do balancim, pois as peças possuem dimensões excessivas para serem transportadas pelo elevador de serviço montado.

6.2 CRITÉRIOS DE EXECUÇÃO DOS SERVIÇOS

6.2.1 Execução de contramarco

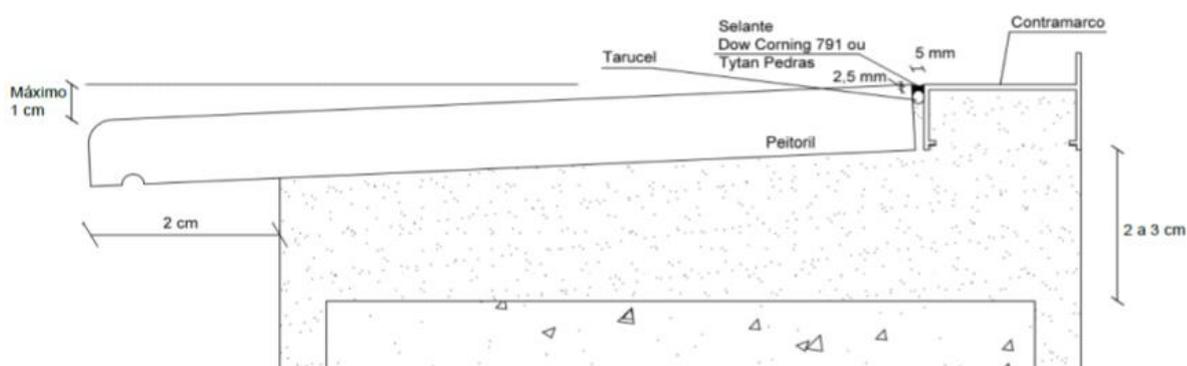
Os requisitos básicos para início do serviço são: alvenaria concluída em no mínimo quatro pavimentos; taliscamento nas paredes internas e externas. Inicia-se a instalação das esquadrias pelos andares inferiores.

Nos próximos itens serão detalhados os procedimentos de execução da instalação das esquadrias entre vãos, padronizados pela construtora responsável pela execução da obra analisada.

6.2.1.1 Instalação do peitoril

O peitoril deve ser de basalto, com declividade entre 0,5 e 1 centímetro (2,5 a 5%), com pingadeira ultrapassando 2 centímetros do revestimento finalizado da fachada, conforme Figura 65. A vedação entre a pedra e o contramarco deve seguir uma proporção de 2:1, ou seja, se há uma distância de dez milímetros entre a pedra e o contramarco, a altura de selante da vedação deve ser de cinco milímetros. Abaixo do selante deve existir o tarucel com a finalidade de fazer com que a junta seja separada da estrutura na parte de baixo e absorva as deformações.

Figura 65: Detalhe do peitoril

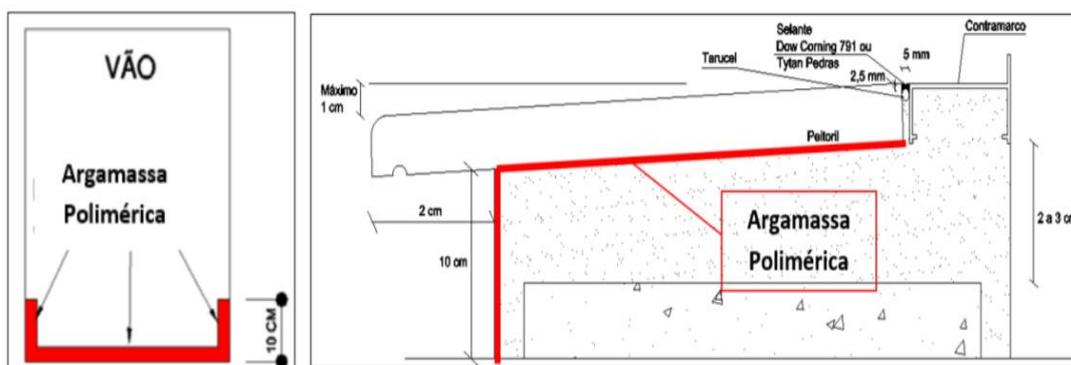


(fonte: Construtora)

6.2.1.2 Regularização e impermeabilização da base do peitoril

Antes da instalação dos peitoris é necessária a realização da impermeabilização com argamassa polimérica flexível da base do peitoril até o contramarco. Conforme padronização, na horizontal, deve ser executado rodapé de 10 cm, ou seja, subindo dez centímetros na parede lateral, e na vertical deve ser feito acabamento do canto vivo, descendo dez centímetros na face externa da parede da fachada, conforme detalhes (Figuras 66 e 67).

Figura 66: Impermeabilização da base do peitoril até o contramarco



(fonte: Construtora)

Figura 67: Impermeabilização da base do peitoril até o contramarco

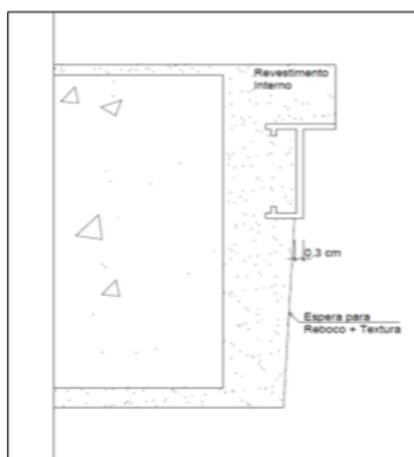


(fonte: Construtora)

6.2.1.3 Revestimento das laterais das janelas

No caso do revestimento da fachada externa ser composto por textura, deve-se prever rebaixo de 0,3 cm do reboco, conforme detalhe do corte apresentado na Figura 68.

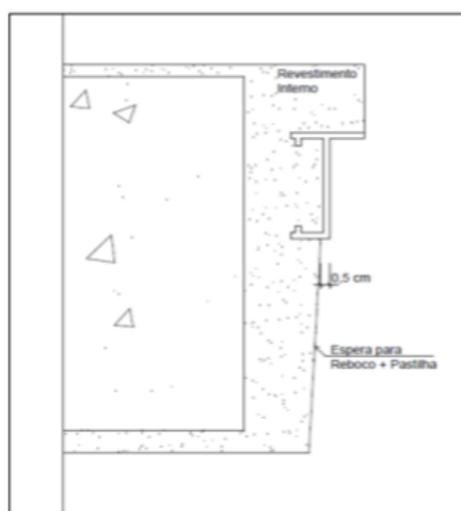
Figura 68: Rebaixo para caso de reboco e textura



(fonte: Construtora)

No caso de revestimento com pastilhas, deve-se prever rebaixo de 0,5 cm do reboco, conforme detalhe do corte apresentado na Figura 69.

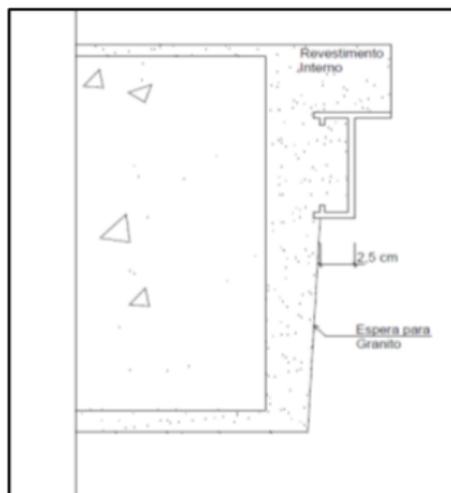
Figura 69: Rebaixo para caso de reboco e pastilha



(fonte: Construtora)

No caso de revestimento de placas coladas de granito, deve-se prever rebaixo de 2,5 cm do reboco, conforme detalhe do corte apresentado na Figura 70.

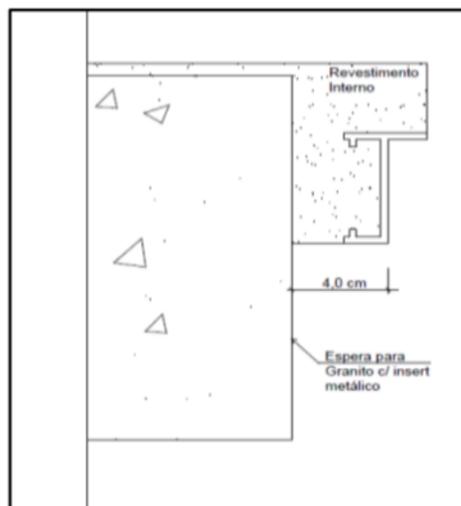
Figura 70: Rebaixo para caso de reboco e granito colado



(fonte: Construtora)

No caso de revestimento de granito fixado com inserte metálico, deve-se prever rebaixo de 4,0 cm do reboco, conforme detalhe do corte apresentado na Figura 71.

Figura 71: Rebaixo para caso de reboco e granito com inserte metálico

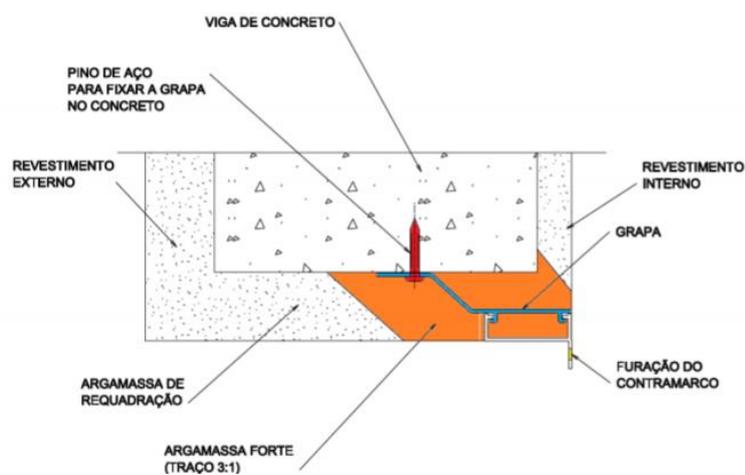


(fonte: Construtora)

6.2.1.4 Fixação do contramarco

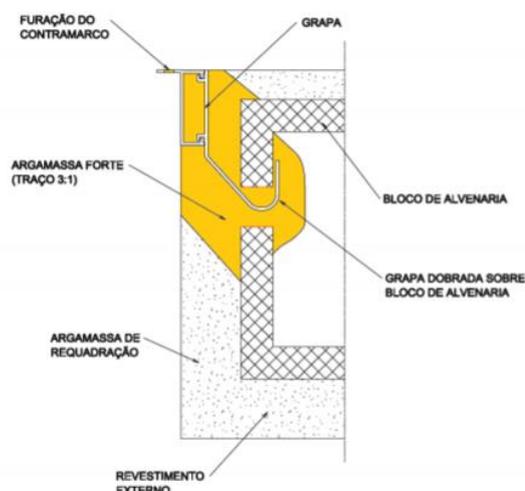
A fixação dos contramarcos deve ser feita através da cravação de pinos de aço (pistola) no caso de estrutura, ou seja, caso o local de fixação seja composto por uma peça de concreto armado. Tratando-se de fixação em alvenaria, esta poderá ser feita através de chumbamento da grapa com argamassa, sendo a argamassa opcional. A grapa consiste em uma peça de aço galvanizado utilizada na fixação dos contramarcos. As Figuras 72 e 73 ilustram os detalhes de fixação da grapa.

Figura 72: Detalhe contramarco com fixação de pino de aço na estrutura



(fonte: Construtora)

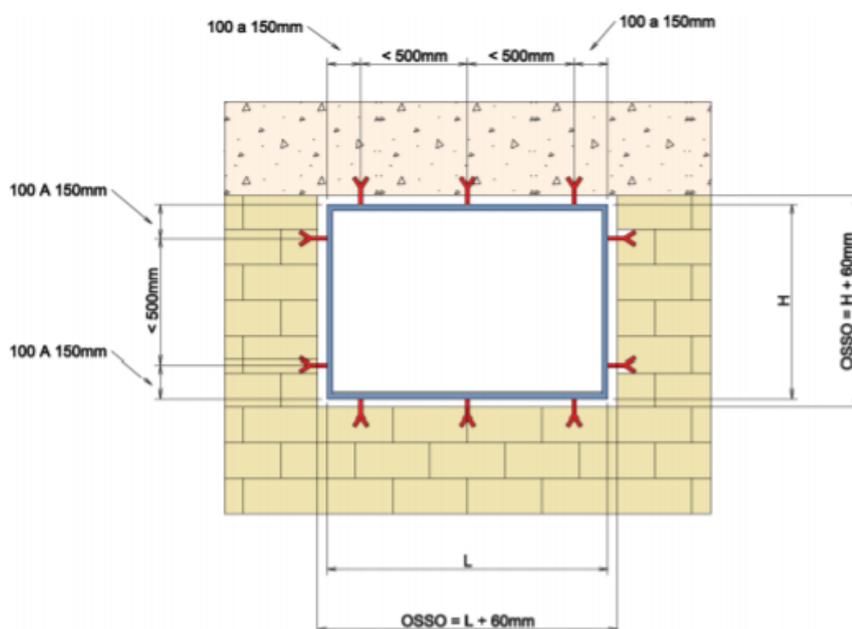
Figura 73: Detalhe contramarco com fixação em alvenaria (opcional)



(fonte: Construtora)

É necessária a verificação do alinhamento do contramarco em relação ao fio de prumo da fachada. As distâncias entre o contramarco em relação ao vão não devem ser superiores a três centímetros, ou seja, nenhuma das extremidades o vão pode ficar maior que três centímetros em relação ao contramarco. A distância entre contramarco e as laterais é preenchida com o chumbamento do contramarco e posterior requadro dos vãos (que consiste no uso de argamassa de revestimento com desempenadeira para dar o acabamento das arestas), e quando se executa um contramarco com distância maior que três centímetros em relação ao vão, cria-se um requadro muito espesso, criando-se um ponto fraco de revestimento interno e externo. Por isso é importante a conferência da alvenaria e dos vãos onde vão as esquadrias. A distância entre grapas nunca deve ser superior a cinquenta centímetros e a distância entre as grapas e os cantos do contramarco deve ser de quinze centímetros (Figura 74).

Figura 74: Detalhe das distâncias entre as grapas



(fonte: Construtora)

Para chumbamento das grapas e arremate dos vãos utiliza-se argamassa de cimento e areia com traço 1:3, conforme ilustrado na Figura 75.

Figura 75: Chumbamento do contramarco

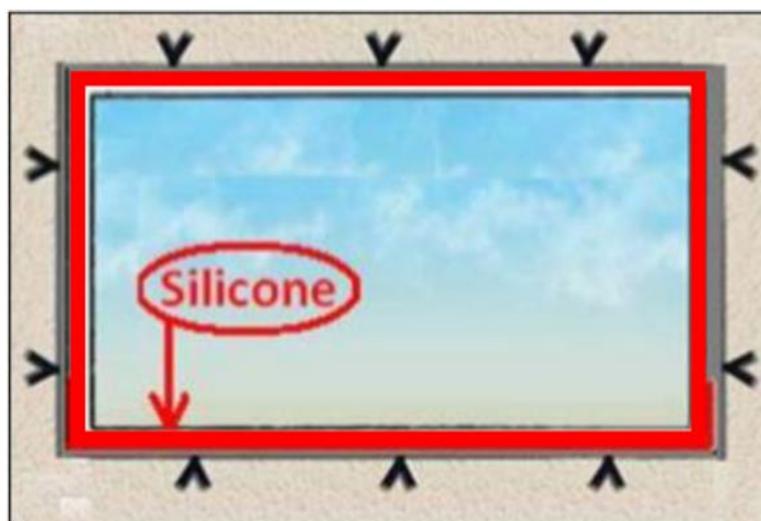


(fonte: foto da autora)

6.2.2 Instalação das esquadrias de alumínio

Os requisitos básicos para início do serviço são: revestimento externo (pastilha ou granito) concluído; instalação e vedação dos peitoris; primeira demão de pintura executada; requadros dos vãos executados. Antes do encaixe do caixilho no contramarco deve-se limpar o contramarco e aplicar selante de silicone em todo o perímetro interno, preenchendo o vão todo, conforme Figura 76.

Figura 76: Esquema de aplicação do selante de silicone no contramarco aplicado internamente

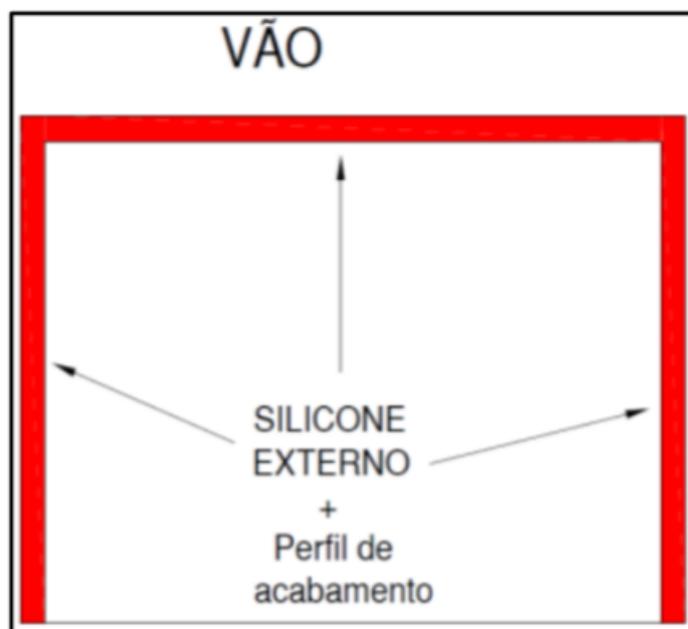


(fonte: Construtora)

A aplicação do selante deve ser feita de forma contínua, sob pressão, no ato da instalação, utilizando-se uma pistola adequada. O caixilho deve ser posicionado e encaixado no vão do contramarco, ajustando-se prumo, nível e esquadro. Sua fixação deve ser feita através de parafusos e porcas ou rebites de inox ou sob pressão. Deve ser passado selante em todos os parafusos que fixam o caixilho.

Deve-se aplicar selante de silicone no perímetro externo somente nas laterais e no topo do contramarco, antes da instalação da janela, conforme Figura 77.

Figura 77: Esquema de aplicação do selante no contramarco aplicado externamente



(fonte: Construtora)

A instalação dos vidros nos caixilhos deve vir pronta de fábrica ou realizada na obra em local limpo, sem umidade, cercado, isolado e apropriado caracterizando este espaço como uma central de produção do fornecedor. Os cantos dos vidros não podem apresentar trincas ou defeitos, principalmente fissuras nascentes, trincas ou defeitos de borda.

6.3 INCONFORMIDADES DE EXECUÇÃO ENCONTRADAS

Durante verificação inicial dos serviços executados, foram observadas muitas situações nas quais não foram cumpridos os requisitos para instalação das esquadrias de alumínio, ou seja, não houve terminalidade nos serviços de obra bruta. Identificaram-se problemas de execução em vedação entre peitoril, contramarco e revestimento externo realizadas nos três primeiros pavimentos da torre residencial. As Figuras 78 e 79 demonstram pontos onde o rejunte executado entre o contramarco e a pastilha apresenta falhas, podendo comprometer a vedação da esquadria.

Figura 78: Falha de vedação do revestimento externo



(fonte: foto da autora)

Figura 79: Falha de vedação do revestimento externo



(fonte: foto da autora)

Na Figura 80, por sua vez, identifica-se um problema ainda maior, uma esquadria instalada sem que o rejunte das pastilhas fosse executado corretamente e em definitivo, impossibilitando a execução do rejunte na interface pastilha e contramarco:

Figura 80: Falha na interface contramarco, peitoril e revestimento externo



(fonte: foto da autora)

Na Figura 81 outro vão no qual se identifica que o rejunte não apresenta terminalidade. Ela demonstra também a situação encontrada todos os vãos analisados: o encontro entre duas peças do peitoril não foi vedado.

Figura 81: Falha na interface peitoril e revestimento externo



(fonte: foto da autora)

Na Figura 82 identifica-se uma situação pontual de desconformidade em que o peitoril está embutido junto à alvenaria. Faz-se necessário nesse caso a retirada e ajuste do tamanho da pedra no vão indicado.

Figura 82: Falha na interface peitoril e revestimento externo



(fonte: foto da autora)

Na Figura 83 é possível perceber outra situação pontual identificada em um único peitoril: o desnível visível entre o contramarco e peitoril. Nesse caso a água da chuva ficará represada e, devido à ação do vento, poderá acarretar em infiltrações internas. Recomenda-se nesse caso pontual a retirada e adequação da altura das peças do peitoril. Percebe-se também na Figura 83 a falta de vedação no encontro entre duas peças do peitoril.

Figura 83: Falha na interface peitoril e contramarco



(fonte: foto da autora)

Segundo o procedimento da empresa e as boas práticas de execução, a vedação entre o peitoril e o contramarco deve seguir uma proporção de 2:1, ou seja, se há uma distância de dez milímetros entre o contramarco e o peitoril, a altura de selante da vedação deve ser de cinco milímetros. Abaixo do selante deve existir o tarucel com a finalidade de fazer com que a junta seja separada da estrutura na parte de baixo e absorva as deformações. A partir dessas informações, identificou-se que a vedação executada entre o peitoril e o contramarco não foi executada corretamente. A Figura 84 identifica a execução de uma camada muito fina de selante e falhas que deixam aparecer o tarucel, ficando em desacordo com o detalhe mostrado na Figura 66 que exemplifica o procedimento padrão adotado pela Construtora.

Figura 84: Falhas de vedação entre peitoril e contramarco



(fonte: foto da autora)

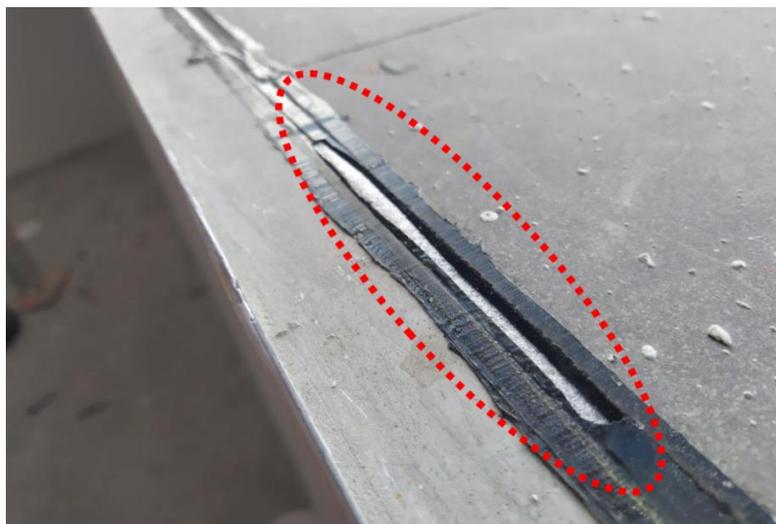
Foram realizados alguns cortes na vedação em esquadrias escolhidas aleatoriamente com autorização da empresa para verificação e identificação das não conformidades. Nas Figuras 85 e 86 é possível identificar uma camada superficial extremamente fina de selante sobre o tarucel, comprometendo toda a vedação do sistema.

Figura 85: Vedação entre peitoril e o contramarco



(fonte: foto da autora)

Figura 86: Aproximação vedação entre peitoril e o contramarco



(fonte: foto da autora)

Identificou-se também um volume insuficiente de selante aplicado na vedação entre o contramarco e a esquadria nas primeiras 28 esquadrias instaladas na primeira semana de execução dos serviços, ficando o serviço executado em desacordo com o detalhe do projeto executivo (Figura 87).

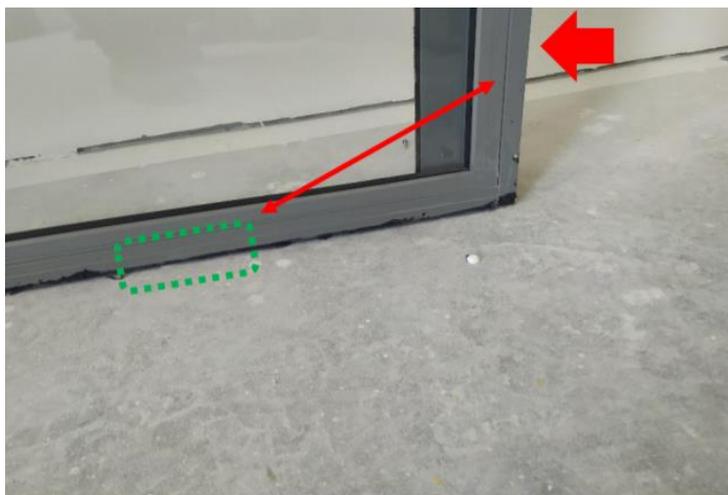
Figura 87: Vedação entre esquadria e o contramarco - Comparativo entre execução e projeto



(fonte: foto da autora e Construtora)

A partir dessa observação foi solicitada junto à construtora e ao fornecedor a retirada de forma aleatória de uma das esquadrias já instaladas. Um dos pontos a serem observados é o pouco volume de selante utilizado. Na Figura 88 é possível observar pontos com pouco ou nenhum selante.

Figura 88: Vedação entre esquadria e o contramarco



(fonte: foto da autora)

Na figura 89 foi realizada uma marcação com a finalidade de demonstrar a quantidade de selante que deveria aparecer ao retirar a esquadria instalada:

Figura 89: Vedação entre esquadria e o contramarco



(fonte: foto da autora)

A Figura 90 mostra falha de vedação entre peitoril e contramarco da esquadria retirada. Além disso, é possível perceber a utilização de dois tipos de selante no mesmo peitoril. Ao comparar as Figuras 90, 91, 92 e 93, percebe-se a utilização de selante na cor cinza e na cor preta na mesma esquadria.

Figura 90: Falhas de vedação entre peitoril e contramarco



(fonte: foto da autora)

As Figuras 91 a 94 demonstram cortes realizados com estilete na vedação entre peitoril e contramarco da esquadria retirada. Foi identificada a falta de tarucel como fundo da junta de dilatação, o que compromete o desempenho do selante e por consequência a vedação da interface peitoril e contramarco.

Figura 91: Demarcação falta de tarucel na vedação entre peitoril e contramarco esquadria retirada



(fonte: foto da autora)

Figura 92: Falta de tarucel na vedação entre peitoril e contramarco esquadria retirada



(fonte: foto da autora)

Figura 93: Aproximação falta de tarucel na vedação entre peitoril e contramarco esquadria retirada



(fonte: foto da autora)

Figura 94: Falta de tarucel na vedação entre peitoril e contramarco esquadria retirada



(fonte: foto da autora)

Em decorrência dos itens identificados na verificação, a empresa foi contatada com a finalidade de alinhar os critérios de verificação com a mão-de-obra de conferência, realizar um reparo nas 28 esquadrias já instaladas e ser assertiva na liberação de vãos para instalação das próximas esquadrias. Foi constatada falta de conferência e de liberação dos serviços, por isso precisou ser realizado um treinamento com a mão-de-obra de instalação e de conferência dos serviços. Para tanto foi feito um serviço acompanhado de vedação padrão, validado entre obra e empresa de instalação. A partir desse treinamento, apenas a equipe treinada ficou habilitada e responsável pelos serviços de vedação anteriores a instalação das esquadrias. As esquadrias já instaladas tiveram suas inconformidades ajustadas de acordo com o plano de correção realizado pela obra e as subsequentes instaladas em momento posterior à primeira vistoria foram acompanhadas de perto pela equipe de Engenharia da obra, não apresentando, portanto, os problemas identificados nas figuras anteriores.

6.4 CONFERÊNCIA DE EXECUÇÃO ESQUADRIAS DE ALUMÍNIO

A conferência da execução de serviços é responsabilidade da equipe de obra. É obrigatória e se faz muito importante para liberação por parte do gestor da obra do pagamento da mão-de-obra da empreiteira. Os dados das conferências realizadas pela obra não foram disponibilizados para apresentação nesse trabalho, apenas o modelo da planilha em Excel (Figura 95) em branco. A conferência é realizada por pavimento através desta planilha.

Os critérios de aprovação para liberação das esquadrias de alumínio são realizados em uma única verificação: aplicação do selante, defeitos aparentes de colocação ou fabricação, funcionamento da folha no trilho e persiana, regulagem do fecho / fechadura e limpeza. Com base nos problemas encontrados nas obras, é possível identificar alguns itens que poderiam ser analisados numa segunda conferência de regulagem das esquadrias, tais como: abertura total das folhas, barulhos nas roldanas, alinhamento das folhas, peso das folhas ao abrir (verificar uniformidade), funcionamento da fechadura, abertura da persiana, barulho ao abrir, vão de luz, manchas, riscos, vidros, borracha de vedação, estado dos acessórios, terminalidade e limpeza.

Figura 95: Planilha de Conferência – Esquadrias de Alumínio

OBRA:		EMPREITEIRO EXECUTANTE:						
PAVTO:		LOCAL:						
*Caso o serviço conferido esteja além da tolerância permitida, o valor encontrado na medição deve ser anotado.								
*Caso o serviço conferido esteja dentro da tolerância permitida, preencher com visto.								
JANELA AMBIENTE	Critérios:	A	B	C	D	E	F	OBSERVAÇÕES
	Tolerâncias	Aplicação de selante Visual	Defeitos aparentes de colocação ou fabricação Visual	Funcionamento da folha no trilho e persiana Visual	Regulagem do fecho / fechadura Visual	Terminalidade Visual	Limpeza Visual	
Data:		Ass. Eng ^o Responsável:						
<input type="radio"/> APROVAÇÃO OBRA <input checked="" type="radio"/> REPROVAÇÃO OBRA <input checked="" type="radio"/> APROVAÇÃO OBRA COM RETRABALHO		VISTORIAS OBRA Ass. Conferente Data 1ª VISTORIA: _____ 2ª VISTORIA: _____ 3ª VISTORIA: _____ Obs.: Na necessidade da terceira vistoria, aplicar multa .						

(fonte: Construtora)

7 TESTE DE ESTANQUEIDADE DE ESQUADRIAS

Os testes de estanqueidade de esquadrias consistem em testes realizados com a finalidade de garantir a estanqueidade das esquadrias das edificações executadas pela construtora. Normalmente ele está inserido no escopo de contratação da empresa que executa as esquadrias, pois ela tem obrigação de oferecer à construtora a garantia de desempenho à estanqueidade das esquadrias instaladas. Como já comentado no capítulo 5.3, atualmente não existe uma norma que regulamente o teste de estanqueidade de esquadrias *in loco*. A norma NBR 10821-3 (ABNT, 2017) por sua vez, especifica o método para verificar a resistência à penetração de água em ensaio de laboratório.

O teste precisa acontecer após as regulagens das esquadrias e antes da instalação das guarnições, pois, caso aconteça alguma infiltração, não é necessária a retirada das guarnições para visualização do local no qual a água infiltra, evitando assim, o retrabalho. Para realização dos testes deve-se utilizar balancim para acesso externo e lava jato. A Figura 96 ilustra um teste realizado com balancim e uso de pneus protetores entre os pontos em que o balancim pode ter contato com a fachada para garantir que o balancim não danifique a fachada e os vidros.

Figura 96: Teste realizado com balancim



(fonte: Construtora)

Alternativamente, pode ser realizado com rapel (Figura 97). Para pressurização da água, pode-se usar um lava jato ou uma bomba pressurizadora com a finalidade de simular uma situação mais crítica do que a de uma chuva forte e com vento incidindo na fachada. A vazão de água vai depender, portanto, da capacidade de pressurização do equipamento utilizado. Em média as máquinas lava jato possuem uma vazão de 6,0 L/min, já as bombas pressurizadoras possuem vazões entre 5 e 30 L/min.

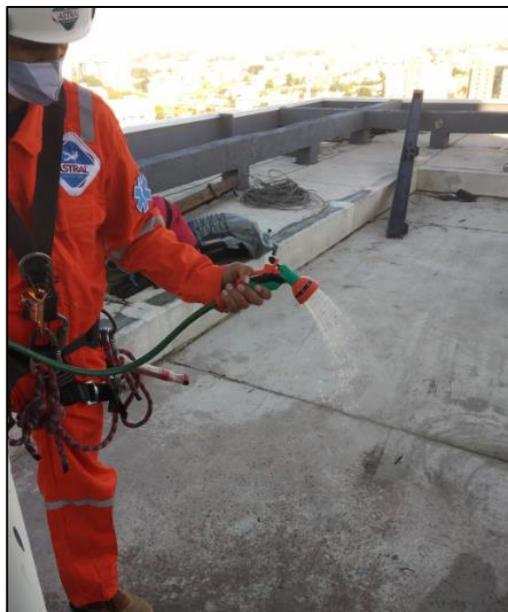
Figura 97: Teste realizado com rapel



(fonte: Construtora)

Antes do início dos testes de estanqueidade, recomenda-se que a obra e o empreiteiro responsável façam uma prévia, para verificar se há infraestrutura necessária à realização do mesmo, bem como alinhar os requisitos a serem verificados no teste (Figura 98).

Figura 98: Teste do esguicho de água

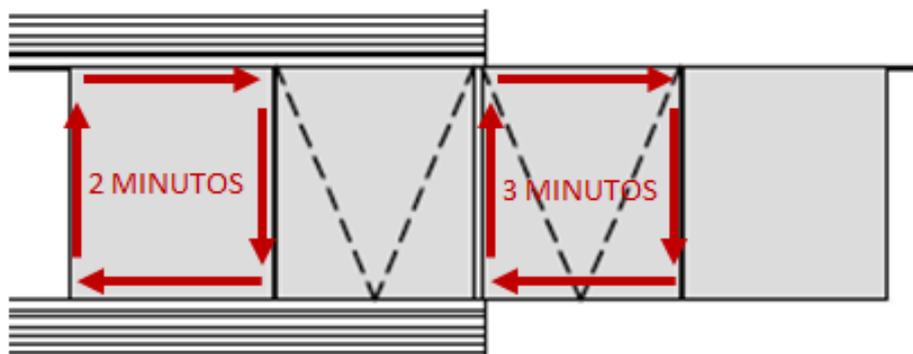


(fonte: Construtora)

Os requisitos para realização dos testes adotados pela empresa são:

- a amostragem deve ser de 100% da totalidade das esquadrias;
- o leque de água deve ser regulado com a máxima abertura possível;
- o jato de água deve seguir a orientação de cima para baixo e ser direcionado na fachada com uma distância entre 60 e 70 centímetros nos pontos de vedação;
- aplicação do jato pelas extremidades dos quadros, visando verificar se as interfaces tem vedação adequada, por 3 minutos em quadros móveis e 2 minutos em quadros fixos, conforme Figura 99;

Figura 99: Tempo de aplicação do jato em cada quadro



(fonte: Construtora)

- as persianas devem estar todas abertas;
- quando houver elementos junto à esquadria, como volumes de ACM, brises decorativos ou afins, devem ser testados os encontros entre a esquadria e este elemento. A Figura 100 ilustra um empreendimento realizado pela construtora que possui esquadrias do tipo maxim-ar e volumes de ACM integrados na fachada. Os encontros com outros materiais precisam ser testados, para verificação da estanqueidade. A Figura 101 ilustra uma infiltração em falha de vedação entre encontro de vidro e ACM em outra obra, diferente da Figura 100.

Figura 100: Fachada de vidro com volumes de ACM

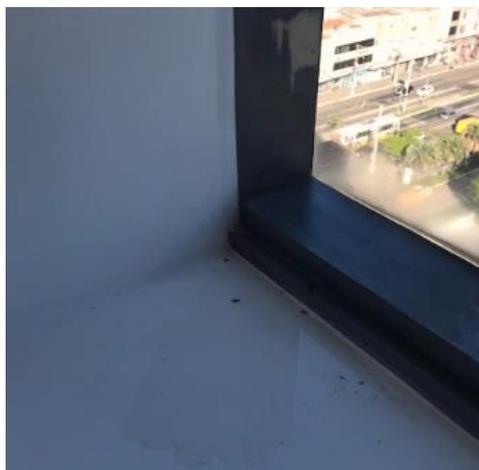


(fonte: foto da autora)

Realizando-se uma comparação entre o teste de estanqueidade realizado pela Construtora e o ensaio previsto na NBR 10821-3, percebe-se que o teste não segue as regulamentações previstas na norma, pois utiliza vazões muito maiores que a prevista na norma ($2 \pm 0,2$ L/min por bico). O teste de estanqueidade ainda aplica o jato de forma concentrada e direcionada nas extremidades (Figura 99), diferentemente do que a norma orienta: o sistema de aspersão de água pulveriza água de forma a aplicar uma lâmina de água contínua e regularmente aspergida a toda a superfície sujeita a ser molhada em condições de exposições reais. No entanto, entende-se que as esquadrias testadas pela empresa são sujeitas a situações piores às situações sugeridas no ensaio de estanqueidade previsto na NBR 10821-3 e, por isso não perdem seu valor, tendo-se em vista que se forem aprovadas no teste de estanqueidade *in loco*, certamente seriam aprovadas no ensaio de laboratório.

Para realização do controle dos testes de estanqueidade realizados, utiliza-se de uma planilha de controle apresentada nas Figuras 104 e 105. Nota-se que a planilha é pouco intuitiva e não identifica o tipo de vazamento, apenas indica se a esquadria está aprovada ou reprovada. Existem, no entanto, vários locais por onde a água pode estar infiltrando. Nesse sentido, faz-se necessário realizar um registro do problema, a fim de facilitar o plano de ação corretivo e também identificar visualmente quais os principais problemas encontrados num determinado empreendimento. As Figuras 101, 102 e 103 mostram exemplos de diferentes locais de infiltração.

Figura 101: Falha na vedação do vidro com ACM



(fonte: Construtora)

Figura 102: Falha na regulagem da Maxim-ar



(fonte: Construtora)

Figura 103: Falha na vedação do quadro fixo da esquadria



(fonte: Construtora)

O acompanhamento dos resultados do teste é realizado pelo lado de dentro da edificação por algum responsável da construtora através da planilha de controle de teste de estanqueidade de esquadrias, conforme Figuras 104 e 105.

Figura 104: Controle – Teste de estanqueidade de Esquadrias

Obra: _____ Fachada _____

Responsável pelo preenchimento: _____ Data de início: _____ Data de término: _____

PAVTO	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33			
1ª																																				
2ª																																				
3ª																																				
4ª																																				
5ª																																				
6ª																																				
7ª																																				
8ª																																				
9ª																																				
10ª																																				
11ª																																				
12ª																																				
13ª																																				
14ª																																				
15ª																																				
16ª																																				
17ª																																				
18ª																																				

Ass. Gestor da Obra: _____

Responsável Preenchimento: _____

(fonte: Construtora)

Figura 105: Instrução de utilização da planilha de controle

Obra: _____ Fachada: **FACHADA INSPECIONADA**

Responsável pelo preenchimento: **PAVIMENTO INSPECIONADO DE ACORDO COM A FACHADA INSPECIONADA** Data de início: _____ Data de término: _____

PAVTO	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	
1ª																																		
2ª																																		
3ª																																		
4ª																																		

NÚMERAÇÃO DA ESQUADRIA DE ACORDO COM A LEGENDA

- Legenda:**
- 1 - *Final 01 - esquadria sala*
 - 2 - *Final 01 - esquadria lavanderia*
 - 3 - *Final 01 - esquadria dormitório 1*
 - 4 - *Final 01 - esquadria dormitório 2*
 - 5 - *Final 01 - esquadria dormitório 3*
 - 6 - ...
 - 7 - ...
 - 8 - ...
- DESCRIÇÃO DA LOCALIZAÇÃO DA ESQUADRIA INSPECIONADA**

(fonte: Construtora)

8 RESULTADOS E ANÁLISE

8.1 ACOMPANHAMENTO E VERIFICAÇÃO DOS SERVIÇOS

Com o acompanhamento por parte da autora dos serviços de instalação de esquadrias executadas, identificou-se falta de conferência e devida liberação dos serviços anteriores à etapa de execução das esquadrias por parte da equipe técnica de obra da construtora, composta por um contramestre e um assistente técnico de engenharia, responsáveis pela conferência dos serviços da torre em estudo e também pelo Engenheiro responsável pela obra. Verificou-se também falta de conferência dos serviços de instalação das esquadrias.

8.1.1 Problemas identificados devido à falta de devida liberação de serviços anteriores à instalação de esquadrias:

- falhas de rejunte nas pastilhas externas (praticamente todos os vãos);
- falta de vedação dos peitoris (todos os vãos);
- peitoril instalado com dimensão superior ao vão, avançando na alvenaria (caso pontual encontrado);
- peitoril não nivelado com o contramarco (caso pontual encontrado)

8.1.2 Problemas identificados devido à falta de conferência do serviço de instalação de esquadrias:

- falhas de vedação entre peitoril e contramarco;
- falta de limitador de profundidade em vedação entre peitoril e contramarco;
- falta de selante na parte interna do contramarco, aplicada no momento da instalação da esquadria.

Após o acompanhamento por parte da autora e o apontamento das falhas, foi realizado um reparo nas 28 esquadrias já instaladas, ou seja, 28 esquadrias foram retiradas, refeitas as

vedações entre o peitoril e o contramarco e realizada nova fixação dos caixilhos. Para que este erro não se repetisse, precisou ser realizado um treinamento com a mão-de-obra de instalação e de conferência dos serviços pela equipe técnica. Para tanto foram feitas uma execução de vedação entre peitoril e contramarco e fixação de caixilho considerados como padrão, validado entre obra e empresa de instalação, acompanhado pelas equipes de instalação e técnica da obra. As 28 esquadrias instaladas tiveram suas inconformidades ajustadas e as instaladas em momento posterior a esta primeira vistoria foram acompanhadas de perto pela equipe de engenharia da obra, não apresentando, portanto, os problemas identificados e não ocorrendo a repetição dos erros.

A falta de conferência dos serviços anteriores à instalação das esquadrias e propriamente da instalação das mesmas permite que existam erros de execução que afetam o desempenho das esquadrias, principalmente quando se trata de estanqueidade. Nesse sentido, faz-se essencial a conferência dos serviços a fim de que não se deixem passar problemas como os identificados nesse trabalho. Além da importância da padronização de todos os passos de execução somada ao treinamento da equipe de instalação.

8.2 TESTE DE ESTANQUEIDADE DE ESQUADRIAS

Em virtude da falta de detalhes na planilha de verificação do teste de estanqueidade usada pela Construtora, mostrada no Capítulo 7 e ilustrada nas Figuras 104 e 105, foi criada pela autora uma planilha que faz a identificação do tipo de vazamento por meio de cores (Figura 106). Esta modificação foi realizada possibilitando uma melhor visualização do resultado dos testes de estanqueidade, visando a retroalimentação do sistema de execução de esquadrias.

Os testes de estanqueidade do empreendimento em estudo não foram acompanhados por questão de cronograma, ficando, portanto, a possibilidade de um estudo futuro realizar o acompanhamento dos testes de estanqueidade e utilizar a planilha de conferência criada pela autora para validação da sua utilidade. Caso os testes fossem anteriores a finalização desse trabalho e tivessem sido acompanhados sem o reparo das 28 primeiras esquadrias instaladas, haveria grande probabilidade de ser encontrados problemas de vedação ligados aos erros de execução aqui identificados.

A planilha foi criada e utilizada pela autora em outro empreendimento da mesma construtora que estava em fase de realização dos testes de estanqueidade de esquadrias. Os problemas listados foram verificados em uma única fachada acompanhada. Com essa planilha é possível identificar visualmente os principais problemas encontrados nos empreendimentos e criar assim, um plano de ataque para ajustes no processo de instalação das próximas obras que tenham o mesmo tipo de esquadrias e também para correção das vedações das obras analisadas que apresentarem problema.

Com a aplicação dessa planilha é possível que se realize a retroalimentação de dados dos empreendimentos para evitar ocorrências das falhas em futuras obras, ou seja, impedir que os mesmo erros construtivos se repitam. Além disso, a planilha pode ser utilizada como documento de registro de realização de testes de estanqueidade de esquadrias e aprovação das mesmas. Quando uma obra é finalizada, é realizada a passagem de um custo para a assistência técnica da própria empresa, pois durante o período de garantia do empreendimento, pode ser necessária a atuação da assistência técnica para reparo de algum item coberto por garantia. Para manutenção geral do empreendimento é deixado um valor que corresponde a 1,5% do valor total previsto para o empreendimento no momento do seu lançamento. Nesse sentido, a empresa poderia utilizar a planilha de controle de estanqueidade de esquadrias e criar um valor que poderia ser suprimido do custo da passagem para a assistência técnica para os empreendimentos que finalizarem e garantirem a estanqueidade em 100% das esquadrias.

9 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho acompanhou a execução de um projeto de esquadrias em um edifício localizado na Zona Sul de Porto Alegre e verificou alguns casos em que os serviços executados não seguiam o projeto de esquadrias ou o procedimento de instalação proposto pela empresa. Por isso, houve um retrabalho em 28 esquadrias que poderia ser evitado se o serviço de conferência de instalação das esquadrias fosse realizado de forma adequada. O retrabalho é um serviço que não é novamente remunerado e faz com que a produção de qualquer serviço diminua, portanto a fiscalização dos serviços deve ocorrer em simultaneidade com a execução, a fim de que se identifique o erro antes da repetição. Se existir necessidade de reparos, que sejam em uma ou duas unidades, não em um número tão elevado como o ocorrido no empreendimento em estudo (28 unidades reinstaladas).

Com a realização do acompanhamento de execução das esquadrias do empreendimento em estudo, constatou-se a importância de haver um planejamento de execução dos serviços antes de iniciar efetivamente os mesmos; existir um projeto que proporcione a maior quantidade de detalhes a respeito das esquadrias; haver um treinamento da equipe de mão-de-obra bem como um treinamento da equipe responsável pela conferência dos serviços executados. Nesse sentido, entende-se que o objetivo principal deste trabalho, que é mostrar a importância da elaboração de um projeto de esquadrias e atendimento do projeto na execução de uma edificação que possui esquadrias de alumínio do tipo entre vãos e fachada do tipo *structural glazing (stick)*, foi cumprido, pois a existência do projeto possibilita a melhor visualização e entendimento das esquadrias, facilitando a fabricação, montagem, instalação e conferência dos serviços executados.

Não foi realizado o acompanhamento dos testes de estanqueidade das esquadrias do empreendimento em estudo por questão de cronograma, mas é possível constatar que realização do teste de estanqueidade de esquadrias se faz importante para garantir a estanqueidade das esquadrias entregues pela construtora. No empreendimento em estudo, foram apontados vários erros de execução que, se não fossem corrigidos, provavelmente culminariam em não aprovação das esquadrias no teste de estanqueidade. Havendo um registro claro das causas de não aprovação no teste de estanqueidade e disponibilização para toda a empresa, é possível que se utilizem os dados para melhorar as execuções futuras e não

permitir repetição de erros. Nesse sentido, faz-se necessária não só a realização dos testes de estanqueidade por parte da construtora, mas também a documentação da realização dos testes bem como o controle através de uma planilha de verificação, como a proposta pela autora neste estudo. Entende-se, portanto, que o objetivo secundário que é mostrar como é feita a realização de testes de estanqueidades e sua importância na retroalimentação de dados para melhoria dos serviços que serão executados futuramente em outros empreendimentos, também foi cumprido com êxito.

10 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABCI – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA CONSTRUÇÃO INDUSTRIALIZADA. **Manual técnico de caixilhos, janelas:** aço, alumínio, vidros, PVC, madeira, acessórios, juntas e materiais de vedação. 1, ed. São Paulo: Pini, 1991.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10821-1:** Esquadrias para edificações - Parte 1: Esquadrias externas e internas — Terminologia. Rio de Janeiro, 2017.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10821-2:** Esquadrias para edificações - Parte 2: Esquadrias externas — Requisitos e classificação. Rio de Janeiro, 2017.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10821-3:** Esquadrias para edificações - Parte 3: Esquadrias externas e internas — Métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2017.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10821-4:** Esquadrias para edificações - Parte 4: Esquadrias externas — Requisitos adicionais de desempenho. Rio de Janeiro, 2017.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10821-5:** Esquadrias para edificações- Parte 5: Esquadrias externas — Instalação e manutenção. Rio de Janeiro, 2017.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-4:** Edificações habitacionais - Desempenho Parte 4: Sistemas de vedações verticais internas e externas. Rio de Janeiro, 2013.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15737:** Perfis de alumínio e suas ligas com acabamento superficial – Colagem de vidros com selante estrutural. Rio de Janeiro, 2009.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15919:** Perfis de alumínio e suas ligas com acabamento superficial – Colagem de vidros com fita dupla-face

estrutural de espuma acrílica para construção civil. Rio de Janeiro, 2011.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6599**: Alumínio e suas ligas – Processos e produtos – Terminologia. Rio de Janeiro, 2013.

AFAEL, 2020. Disponível em: <<http://afeal.com.br/rev/psq/noticias-psq/voce-conhece-o-structural-glazing>> Acesso em: 02 abr. 2020.

ARRUDA, T. S. **Estudos de Modalidades para a Execução de Fachada Cortina**. 2010 54f, Monografia, Departamento de Construção Civil, Escola de Engenharia Civil, Instituto Politécnico da UFRJ Disponível em

ASA ALUMÍNIO. Disponível em: <<http://www.asaaluminio.com.br/site/br/home/>>. Acesso em: 25 mai. 2020.

BUENO, C. F. H. **Tecnologia de matérias de construção**. Universidade Federal de Viçosa. 2000. Disponível em: <http://www.ufv.br/dea/ambiagro/arquivos/materiais_construcao.pdf > Acesso em: 13 mai 2020.

Câmara Brasileira da Indústria da Construção C177e **Esquadrias para edificações, desempenho e aplicações: orientações para especificação, aquisição, instalação e manutenção** – Brasília CBIC/SENAI, 2017. 184p.:il. 1.Edificação 2.Esquadria – especificação 3. Instalação de esquadria 4. Manutenção de esquadria I. José Carlos Martins-Coord. II. Título CDD:624.05.

CEBRACE. **Tipos de vidros**. Disponível em: <<http://cebrace.com.br/v2/vidro/tipos-vidros>> Acesso em: 26 set. 2020.

D'ÁVILA, N. D. **Com ou sem tijolos, a história das políticas habitacionais em Porto Alegre**. Porto Alegre: Unidade Editorial da Secretaria Municipal da Cultura, 2000.

DECORSALTEADO, 2019. Disponível: <<http://www.decorsalteado.com/2015/09/fachadas-de-casas-com-cobogos-veja.html>> Acesso em: 14 mar. 2020.

FERNANDES, A. G. **Esquadrias Residenciais em Madeira: Contextualização de Variáveis para otimização de projetos**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do

Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2004.

GODOI, A. F. D. **Esquadrias em PVC**. Trabalho de Conclusão de Curso para obter o grau de Engenheiro Civil. Universidade Anhembi Morumbi, São Paulo, SP, 2005.

HUTH, P. **Análise da relação custo-benefício de esquadrias externas para edificações residenciais com diferentes materiais**. Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Civil como requisito parcial para obtenção do grau de Engenheiro Civil. Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Ijuí, RS, 2007.

IHU UNISINOS, 2019. Disponível em: <<http://www.ihu.unisinos.br/78-noticias/590702-edificios-corporativos-com-fachadas-de-vidro-geram-alto-impacto-ambiental>> Acesso em: 08 jul. 2020.

JOHNSON, H. **La mader**a. Barcelona: Blume, 1994.

JONSSON, A. & ROOS, A. 2010. **Evaluation of control strategies for diferent smart window combinations using computer simulations**. Solar Energy 84: 1–9.

JORGE, L. A. **O Desenho da Janela**. São Paulo: AnnabluTME, 1995.

KHOURY, J. Curtain Walls. In: KOHN, A. E, KATZ, P. **Building type basics for office buidings**. New York: John Wiew & Sons, 2002. P139-181.

LUDWIG, B. Z. **Análise entre sistemas de fachadas cortina à luz dos princípios de projeto para manufatura e montagem**. 2014. 23p. Monografia (Especialização em Gestão do Desenvolvimento de Produtos) – Diretoria de Pesquisa e Pós-Graduação do Câmpus Curitiba, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Disponível em <http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/8656/1/CT_CEGDP_2013_1_4.pdf> Acesso em 24 mar. 2020.

MARTINS, M. G. **A inovação tecnológica na produção de edifícios impulsionada pela indústria de materiais e componentes**. São Paulo, 2004. 139p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

MEDEIROS, J. S. **Tecnologias de vedação e revestimento para fachadas** / Jonas Silvestre Medeiros... et al. – Rio de Janeiro: Instituto Aço Brasil / CBA, 2014. 128p.; -- (Série Manual

de construção em Aço).

MUSEU DO AMANHÃ, 2018. Disponível em: <<https://museudoamanha.org.br/>> Acesso em: 14 mar. 2020.

NAKAMURA, J. Envelope transparente. **Revista Arquitetura e Urbanismo**, edição n. 166, Jan de 2008.

OLIVEIRA, C. T. **Aplicação do policloreto de vinila (PVC) em substituição aos materiais convencionais da Construção Civil e Arquitetura**. Monografia apresentada no curso de Tecnologia de Produção com ênfase em Polímeros como requerido parcial para obter o Título de Tecnólogo em Polímeros, FATEC Sorocaba, Sorocaba, SP, 2012.

ORSE. **Especificações de esquadrias de ferro**. 2002. Disponível em: <<http://187.17.2.135/orse/especificacoes.asp>>. Acesso em: 9 mai. 2020.

PATTERSON, M. **Structural glass façades and enclosures**. Ed. John Willey & Sons, Inc. Hoboken, 2011.

PORTAL SOLAR, 2020. Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/paineis-solares-integrados-a-construcao---bipv.html>> Acesso em: 26 jul. 2020.

RAUBER, C. **Análise da viabilidade para uma empresa de esquadrias de PVC**. Trabalho de conclusão de curso apresentado no curso de Ciências contábeis do departamento de economia e contabilidade da Unijuí. Ijuí-RS. 2012.

REVISTA PROJETO, 2020. Disponível em: <<https://revistaprojeto.com.br/acervo/sistemas-de-fachadas-dez-anos-de-fachadas-unitizadas/>> Acesso em: 02 abr. 2020.

RODRIGUES, Jonas Vieira. **Esquadrias usadas na construção civil brasileira – Características e execução**. Trabalho de Conclusão de Curso para obter o grau de Engenheiro Civil. Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2015.

ROSSO, S. Cortina de Vidro, **Revista Techne**, edição 122, pag 1 a 8, Mai. de 2007. Disponível em: <<http://techne.pini.com.br/engenharia-civil/122/artigo286403-1.aspx> > Acesso em: 25 mar. 2020.

RÜTHER, R. **Edifícios solares fotovoltaicos: o potencial da geração solar fotovoltaica integrada a edificações urbanas e interligada à rede elétrica no Brasil** /Ricardo Rütther. –

SANTOS, W. B. D. **A Inovação do PVC em janelas Estudo Comparativo entre PVC e alumínio, segundo normas técnicas.** Trabalho de Conclusão de Curso para obter o grau de Engenheiro Civil. Universidade Anhembi Morumbi, São Paulo, SP, 2004.

SILVA, C. C.; SILVA, J. C. **Esquadrias em madeira para portas e janelas: Dossiê Técnico.** Curitiba: Instituto Tecnológico do Paraná, 2007. 22p.

SISTEMA METALLAR, 2020. <<https://www.sistemametallar.com.br/produtos/>> Acesso em: 08 jul. 2020.

TECNOSYSTEM, 2020. Disponível em: <<http://www.tecnosystem.com.br/?produto=spider-glass>> Acesso em: 02 abr. 2020.

ZILLES, R. & OLIVEIRA, S.H.F. **Integração de edifícios fotovoltaicos na Universidade de São Paulo.** 17ª Conferência Europeia de Energia Solar Fotovoltaica, Munique, Alemanha, 2001.