

Patrícia Geittenes Tondelo

**FACHADAS INDUSTRIALIZADAS COM CÂMARA DE AR:
ANÁLISE DOS ASPECTOS PROJETUAIS, CONSTRUTIVOS E
DOS PROCESSOS DE INSPEÇÃO E MANUTENÇÃO EM DOIS
EDIFÍCIOS NO LITORAL DE SANTA CATARINA**

Dissertação submetida ao programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Santa Catarina para a obtenção do Grau de Mestre em Arquitetura e Urbanismo.
Orientador: Prof. Dr. Fernando Barth

Florianópolis
2018

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor através do
Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Tondelo , Patrícia Geittenes

Fachadas industrializadas com câmara de ar :
Análise dos aspectos projetuais, construtivos e dos
processos de inspeção e manutenção em dois edifícios
no litoral de Santa Catarina / Patrícia Geittenes
Tondelo ; orientador, Fernando Barth, 2018.

140 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de
Santa Catarina, Centro Tecnológico, Programa de Pós
Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Florianópolis,
2018.

Inclui referências.

1. Arquitetura e Urbanismo. 2. Fachadas
industrializadas. 3. Manifestações patológicas. 4.
Desempenho dos edifícios. 5. Obsolescência. I.
Barth, Fernando. II. Universidade Federal de Santa
Catarina. Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e
Urbanismo. III. Título.

Patrícia Geittenes Tondelo

**FACHADAS INDUSTRIALIZADAS COM CÂMARA DE AR:
ANÁLISE DOS ASPECTOS PROJETUAIS, CONSTRUTIVOS E
DOS PROCESSOS DE INSPEÇÃO E MANUTENÇÃO EM DOIS
EDIFÍCIOS NO LITORAL DE SANTA CATARINA**

Esta dissertação foi julgada adequada para obtenção do Título de “Mestre” e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo.

Florianópolis, 12 de junho de 2018.

Prof. Fernando Simon Westphal, Dr.
Coordenador do Curso

Banca Examinadora:

Prof.^a Fernando Barth, Dr.
Orientador
Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC

Prof.^a Lisiane Ilha Librelotto, Dr.^a
Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC

Prof.^a Janaíde Cavalcante Rocha, Dr.^a
Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC

Prof. Orestes Estevam Alarcon, Dr.
Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC

Este trabalho é dedicado à minha mãe e minhas irmãs que sempre me incentivaram a seguir meus sonhos e apoiaram todas as minhas decisões.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por ter me dado força, sabedoria e coragem para enfrentar os obstáculos encontrados desde que decidi me tornar Mestre.

Ao professor e orientador Fernando Barth, por ter aberto as portas para mim ainda no ano de 2015 quando fui aluna de disciplina isolada. Também agradeço por toda sua atenção, dedicação, incentivo e disponibilidade de tempo para revisar meus textos.

A todos os membros do PósArq, corpo docente e administrativo, por todas as dúvidas sanadas ao longo desses dois anos.

A todos os bons amigos que fiz durante as disciplinas que cursei do mestrado, a tal “Galera do Suco”, Roberta Menezes, Pedro Oscar Pizzetti Mariano, Ivana Righetto Moser, Roberto Macedo, Carolina Buonocore, Izabella Medeiros, Yuri Piffer, Alana Rizzardi e Thaize Costa.

Aos arquitetos Fábio Lunardelli e Rafaela Mafra, pela ética e confiança depositada ao disponibilizar seus projetos para realização deste estudo.

Aos meus amigos e colegas de profissão que carregou desde a graduação Franciele Águia, Júlia Mirales e Gabriel Singeski.

A minha família, em especial a minha mãe Iraci as minhas irmãs Tânia e Adriana que sempre me incentivaram a me tornar independente e a seguir atrás de meus sonhos e objetivos.

Aos demais familiares que sempre se fizeram presentes com palavras e incentivo e encorajamento.

Ao meu parceiro adorável Átila Viana Santos pelo pouso nos dias em precisei permanecer em Florianópolis e por sempre estar me fazendo rir.

Com carinho a todos, Patrícia

El hombre construyó siempre con lo que tuvo a mano: barro, piedras, árboles, en sus primeros tiempos. Con su imaginación inventó materiales nuevos y los usó: fundió y elaboró metales, los forjó y laminó, inventó hormigones, los pretensó, inventó estructuras y olvidó los pesados muros, soñó y alcanzó la posibilidad de cerramientos inverosímiles, muros cortina... Claro, añadió el transporte. Lo que fabrica aquí puede usarse allá.

Los cerramientos de paneles de chapas metálicas con aislantes plásticos permiten nuevas soluciones. Piensa el hombre con un sentido de liberación respecto a los grandes macizos y a los grandes pesos.

Así, liberado, podría olvidarse hasta de la Arquitectura heredada. Los cambios de estilos arquitectónicos fueron siempre culturales. Hoy son materiales; únicamente los nuevos materiales nos permiten hacer nuevas arquitecturas.

(Alejandro de la Sota, Tectonica, 1996)

RESUMO

Os subsistemas construtivos que compõem o invólucro das edificações podem apresentar níveis de degradação mais acelerada que as partes protegidas, pois estão mais expostos aos agentes climatológicos. Esta pesquisa de caráter exploratório tem por objetivo analisar os aspectos projetuais, construtivos e os processos de inspeção e manutenção das fachadas industrializadas com câmara de ar para melhoria do seu desempenho no âmbito da construção civil brasileira. Com enfoque qualitativo, o método apresenta um estudo analítico de edificações já consolidadas, sendo dividido em quatro etapas. A primeira etapa abrangeu uma revisão da literatura referente aos aspectos projetuais e construtivos e os processos de inspeção dos subsistemas que compõem as fachadas industrializadas com câmara de ar. Nesta etapa também foram levantados subsídios que auxiliaram na sistematização de um método de inspeção aplicado e testado nos estudos de caso. A segunda etapa abrangeu a elaboração dos critérios que delimitam e guiam a seleção das edificações objetos de estudo. A terceira etapa envolveu análises das particularidades referentes aos aspectos projetuais e construtivos das edificações selecionadas, assim como foi aplicado e testado método de inspeção. A quarta etapa abrangeu a sistematização das informações obtidas nas etapas anteriores por meio de quadros comparativos que visaram identificar as diferenças e similaridades com relação aos aspectos abordados nos estudos de casos. Nesta etapa também foram analisados os resultados obtidos com relação ao método testado. As análises dos estudos de caso mostraram que fatores relacionados às questões técnicas e à falta de conhecimento sobre os aspectos projetuais e construtivos do subsistema podem dar origem ao aparecimento de manifestações patológicas prematuras nas fachadas das edificações. Por fim, destaca-se a relevância do projeto e do detalhamento dos planos verticais como instrumento de orientação e montagem de fachadas industrializadas capazes de enfrentar processo natural de envelhecimento dos edifícios e evitar a obsolescência precoce.

Palavras-chave: Fachadas industrializadas. Manifestações patológicas. Desempenho dos edifícios. Obsolescência.

ABSTRACT

The construction subsystems that compose the envelope building could have levels of degradation that are faster than the protected parts because they are more exposed to weather agents. This exploratory research has the objective of analyzing the design and construction aspects and the inspection and maintenance processes of the industrialized facades with cavity air to improve their performance in the scope of Brazilian civil construction. This study has a qualitative approach, where the method presents an analytical study of already consolidated buildings that can be divided into four stages. The first stage covered a review of the literature regarding the design and construction aspects and the inspection processes of the subsystems that compose the industrialized facades with cavity air. In this step also subsidies were raised that helped in the systematization of an inspection method applied and tested in the case studies. The second stage covered the elaboration of the criteria that delimit and guide the selection of the buildings object of study. The third stage involved analyzes of the particularities regarding the design and construction aspects of the selected buildings, as well as the inspection method applied and tested. The fourth stage covered the systematization of the information obtained in the previous stages through comparative tables that aimed to identify the differences and similarities with respect to the aspects addressed in the case studies. In the phase were also analyzed the results found in relation to the method tested. The analyzes of the case studies showed that factors related to technical issues and the lack of knowledge about the design and construction aspects of the subsystem can give rise to the appearance of premature pathological manifestations in the façades of the buildings. Finally, the relevance of the design and detailing of the vertical plans as an instrument of orientation and assembly of industrialized façades that are capable of facing the natural process of aging of the buildings and avoiding the earlier obsolescence.

Keywords: Industrialized façades. Pathological manifestations. Building performance. Obsolescence.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Igreja de São Leopoldo em Viena, executada entre 1902 e 1905.	29
Figura 2 - Banco Postal de Viena, executada entre 1904 e 1912.....	29
Figura 3 - <i>Cavity wall</i> ilustrada por Warland em 1947.	30
Figura 4 - <i>Tabique pluvial</i> feita de tijolos maciços.	30
Figura 5 - Subsistemas que compõem as fachadas industrializadas com câmara de ar.	31
Figura 6 - Cortes esquemáticos ilustrando os orifícios de acesso e saída do ar pelo revestimento externo.	32
Figura 7 - Fixação do isolante térmico com buchas.	35
Figura 8 - Aplicação de membrana impermeabilizante.....	35
Figura 9 - Composição do isolante térmico <i>Ventirock Duo®</i>	36
Figura 10 - Resina impermeabilizante do isolante térmico <i>Ventirock Duo®</i>	36
Figura 11 - Revestimentos naturais.	37
Figura 12 - Revestimentos artificiais.....	38
Figura 13 - Tipos de juntas dos painéis de revestimento pétreo.	40
Figura 14 - Tipo de junta sugerida por Mas et al.....	40
Figura 15 - Fita adesiva dupla face e os adesivos em bisnaga.....	44
Figura 16 - Aplicação fita adesiva dupla face e os adesivos em bisnaga.	44
Figura 17 - Modelo conceitual dos processos inspeção e manutenção dos edifícios.	47
Figura 18 - Revestimento externo das fachadas industrializadas.	49
Figura 19 - Manifestações patológicas em revestimento pétreos.	52
Figura 20 - Rupturas placas de revestimento em cerâmica extrudada... 53	
Figura 21 - Principais manifestações patológicas nos painéis fenólicos.	54
Figura 22 - Principais manifestações patológicas nos painéis fenólicos associadas a manufatura do produto.	55
Figura 23 - Movimentação das juntas.	56
Figura 24 - Destacamento da cavilha.	60
Figura 25 - Cantoneira de sustentação.....	60
Figura 26 - Instrumentos de inspeção em regiões ocultas das fachadas com câmara der ar.	62
Figura 27 - Fluxograma do método da pesquisa.....	64
Figura 28 - Drone <i>Phantom 3 - Dji</i>	67
Figura 29 - Rotação do equipamento.....	67
Figura 30 - Método de Inspeção.....	68

Figura 31 - Alocação da varredura, distribuição dos pontos e arquivamento das imagens.	68
Figura 32 - Vista superior.	71
Figura 33 - Vista superior.	71
Figura 34 - Edifício antes da reforma.	71
Figura 35 - Edifício após a reforma.	71
Figura 36 - Planta baixa do pavimento térreo.	72
Figura 37 - Planta baixa do primeiro pavimento.	73
Figura 38 - Planta baixa do segundo pavimento.	73
Figura 39 - Planta baixa do terceiro pavimento.	74
Figura 40 - Planta baixa do quarto pavimento - cobertura.	74
Figura 41 - Seção longitudinal AA'	75
Figura 42 - Seção transversal BB'	75
Figura 43 - Seção longitudinal CC'	76
Figura 44 - Fachada Leste.	76
Figura 45 - Fachada Sul.	77
Figura 46 - Fachada Norte.	77
Figura 47 - Fachada Oeste.	77
Figura 48 - Fachada Leste - Área fachada industrializada: 134,48 m ² (26,8 %).....	78
Figura 49 - Fachada Sul - Área de fachada industrializada:180,70 m ² (36 %).....	78
Figura 50 - Fachada Norte - Área de fachada industrializada: 73,3 m ² (14,7 %).....	79
Figura 51 - Fachada Oeste - Área de fachada industrializada: 108,00 m ² (22,6 %).....	79
Figura 52 - Detalhe construtivo em planta e em seção transversal da fachada industrializada do estudo de caso A.....	81
Figura 53 - Detalhamento da fixação do revestimento externo na vedação interna.	81
Figura 54 - Execução da fachada industrializada no estudo de caso A.	82
Figura 55 - Detalhes construtivos dos arremates superiores.	83
Figura 56 - Materiais e acabamentos aplicados aos arremates superiores.	83
Figura 57 - Detalhe construtivo do arremate inferior.	84
Figura 58 - Detalhe construtivo em planta de encontro entre os painéis do revestimento externo.	84
Figura 59 - Arremates aplicados nos encontros entre os painéis.	85
Figura 60 - Detalhes construtivos dos arremates das juntas.	85
Figura 61 - Detalhes construtivos dos arremates nos peitoris das janelas.	86

Figura 62 - Arremates dos peitoris das janelas.....	86
Figura 63 - Alocação da varredura e distribuição dos pontos de captura das fotografias nas fachadas Leste.	88
Figura 64 - Manifestações patológicas na fachada Leste.	89
Figura 65 - Manifestações patológicas na fachada Sul.....	91
Figura 66 - Manifestações patológicas na fachada Oeste.	92
Figura 67 - Manifestações patológicas na fachada Norte.	94
Figura 68 - Vista panorâmica da edificação.	96
Figura 69 - Planta baixa do pavimento térreo.....	96
Figura 70 - Planta baixa pavimento de garagem.	97
Figura 71 - Planta baixa do pavimento tipo.....	97
Figura 72 - Planta baixa cobertura.....	98
Figura 73 - Planta baixa casa de máquinas.....	98
Figura 74 - Seção longitudinal AA'	99
Figura 75 - Seção transversal BB' e Seção transversal CC'	99
Figura 76 - Fachada Leste.	100
Figura 77 - Fachada Oeste.....	101
Figura 78 - Fachada Sul.....	101
Figura 79 - Fachada Norte.....	101
Figura 80 - Fachada Oeste.....	102
Figura 81 - Fachada Leste - Área de fachada industrializada: 799 m ² (48,2 %).....	102
Figura 82 - Fachada Norte - Área de fachada industrializada: 944,00 m ² (78,2 %).....	102
Figura 83 - Detalhe construtivo em planta e em seção transversal da fachada industrializada do estudo de caso B.	104
Figura 84 - Detalhamento da fixação do revestimento externo na vedação interna.....	105
Figura 85 - Execução da fachada industrializada do estudo de caso B.	106
Figura 86 - Detalhe construtivo em seção transversal do arremate superior.....	107
Figura 87 - Detalhes construtivos em seção transversal do arremate inferior.....	108
Figura 88 - Arremate superior.	108
Figura 89 - Arremate inferior.	108
Figura 90 - Detalhe construtivo em planta baixa de encontro entre os painéis.	109
Figura 91 - Arremate de encontro entre os painéis.....	109
Figura 92 - Recorte em 45° das peças aplicadas nos cantos.	109

Figura 93 - Detalhe construtivo em seção transversal do arremate das janelas.	110
Figura 94 - Arremate do peitoril das janelas em chapa metálica.	111
Figura 95 - Arremate do contorno das janelas em chapa metálica.	111
Figura 96 - Detalhes construtivos dos arremates das juntas.	111
Figura 97 - Recorte do projeto de fachada.	113
Figura 98 - Manchas de tintas provenientes do volume de escadas de incêndio.	116
Figura 99 - Manchas decorrentes de fezes de aves.	116
Figura 100 - Destacamento da placa cerâmica de arremate inferior. ..	117
Figura 101 - Microrganismo no arremate superior em concreto.	117
Figura 102 - Textura das peças cerâmicas aplicadas no projeto.	118
Figura 103 - Pingadeira metálica no peitoril das janelas.	118
Figura 104 - Porções lascadas de algumas peças cerâmicas.	119
Figura 105 - Técnicas testadas de obtenção das fotografias.	127
Figura 106 - Alocação da varredura e distribuição dos pontos de captura das fotografias no estudo de caso A.	128
Figura 107 - Obstáculos na inspeção da fachada Leste e da fachada Sul.	129
Figura 108 - Terraço entorno das duas torres do edifício.	130

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Fixadores pontuais.	41
Quadro 2 - Fixadores com subestrutura intermediária.	42
Quadro 3 - Pré-requisitos para composição de novos sistemas de fachada.	45
Quadro 4 - Manifestações patológicas mais frequentes nas juntas seladas.	57
Quadro 5 - Tipos de conexão entre fixador e placas de revestimento. ..	58
Quadro 6 - Métodos de inspeção de manifestações patológicas.....	61
Quadro 7 - Dados técnicos do estudo de caso A.	70
Quadro 8 - Famílias e tipos dos painéis fenólicos.	80
Quadro 9 - Dados técnicos do estudo de caso B.....	95
Quadro 10 - Famílias e tipos dos painéis de cerâmica extrudada.	103
Quadro 11 - Modelos de cantoneiras.....	112
Quadro 12 - Modelos de perfis horizontais.	112
Quadro 13 - Procedimentos de limpeza técnica da cerâmica extrudada.	114
Quadro 14 - Comparativo dos aspectos construtivos entre os casos A e B.	122
Quadro 15 - Síntese da manifestações patológicas no estudo de caso A.	124
Quadro 16 - Síntese da manifestações patológicas no estudo de caso B.	126

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Porosidade dos revestimentos pétreos.	51
Tabela 2 - Quantitativos dos subsistemas externos dos edifícios A e B.	120

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABIROCHAS - Associação Brasileira de Rochas Brasileiras

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

ACM - Material de Alumínio Composto

ASTM - American Society for Testing & Materials

FEUP - Faculdade de Engenharia do Porto

GPS - Global Positioning System

IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas

LabEEE - Laboratório de Eficiência Energética da UFSC

PVC - Policloreto de Vinila

RNA - Revestimento Não Aderido

SC - Santa Catarina

UFSC - Universidade Federal de Santa Catarina

VANT - Veículo Aéreo Não Tripulado

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	23
1.1	PROBLEMÁTICA E JUSTIFICATIVA	24
1.2	OBJETIVO	25
1.2.1	Objetivos Específicos.....	25
1.3	DELIMITAÇÃO DA PESQUISA.....	26
1.4	SÍNTESE DO MÉTODO DA PESQUISA.....	26
1.5	ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	28
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	29
2.1	BREVE HISTÓRICO.....	29
2.2	FACHADAS INDUSTRIALIZADAS COM CÂMARA DE AR.....	31
3	ASPECTOS PROJETUAIS E CONSTRUTIVOS	34
3.1	SUBSISTEMA DE VEDAÇÃO INTERNA	34
3.2	SUBSISTEMA ISOLANTE TÉRMICO	34
3.3	SUBSISTEMA DE REVESTIMENTO EXTERNO	36
3.3.1	Juntas do revestimento externo.....	39
3.4	SUBESTRUTURA INTERMEDIÁRIA E FIXADORES.....	40
4	PROCESSOS DE INSPEÇÃO E MANUTENÇÃO	47
4.1	INSPEÇÃO E MANUTENÇÃO.....	47
4.2	O CONCEITO DE MANIFESTAÇÃO PATOLÓGICA	49
4.2.1	Manifestações patológicas nos revestimentos externos	50
4.2.1.1	Revestimentos pétreos.....	50
4.2.1.2	Revestimentos cerâmicos	52
4.2.1.3	Revestimentos fenólicos.....	54
4.2.2	Manifestações patológicas nas juntas seladas	55
4.2.3	Manifestações patológicas nos fixadores.....	58
4.3	MÉTODOS DE INSPEÇÃO DE FACHADAS	60
4.3.1	Métodos de inspeção de fachadas auxiliados por ferramentas tecnológicas	62
5	MATERIAIS E MÉTODO	64
5.1	LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO	64
5.2	SELEÇÃO DOS ESTUDOS DE CASO	65
5.3	ANÁLISE DOS ESTUDOS DE CASO	66
5.3.1	Análise dos aspectos projetuais e construtivos.....	66
5.3.2	Análise dos processos de inspeção e manutenção	67
5.4	ANÁLISE DOS RESULTADOS	69

6	ESTUDOS DE CASO.....	70
6.1	ESTUDO DE CASO A: EDIFÍCIO DE ESCRITÓRIOS EM ITAJAÍ.....	70
6.1.1	Aspectos projetuais e construtivos da edificação.....	70
6.1.1.1	Aspectos projetuais e construtivos das fachadas	76
6.1.1.1.1	<i>Aspectos projetuais da fachada industrializada</i>	<i>78</i>
6.1.1.1.2	<i>Aspectos construtivos da fachada industrializada.....</i>	<i>80</i>
6.1.2	Processos de inspeção e manutenção	87
6.1.2.1	Inspeção da fachada Leste.....	88
6.1.2.2	Inspeção da fachada Sul.....	91
6.1.2.3	Inspeção da fachada Oeste	92
6.1.2.4	Inspeção da fachada Norte	93
6.2	ESTUDO DE CASO B: EDIFÍCIO DE ESCRITÓRIOS EM SÃO JOSÉ.....	95
6.2.1	Aspectos projetuais e construtivos da edificação.....	95
6.2.1.1	Aspectos projetuais e construtivos das fachadas	100
6.2.1.1.1	<i>Aspectos projetuais da fachada industrializada</i>	<i>101</i>
6.2.1.1.2	<i>Aspectos construtivos das fachadas industrializada.....</i>	<i>103</i>
6.2.2	Processos de inspeção e manutenção	114
7	ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	120
7.1	RESULTADOS QUANTO AOS ASPECTOS PROJETUAIS E CONSTRUTIVOS	120
7.2	RESULTADOS QUANTO AOS ASPECTOS DE INSPEÇÃO DE MANUTENÇÃO	124
7.3	RESULTADOS QUANTO AOS PROCESSOS DE INSPEÇÃO.....	126
8	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	131
8.1	CONSIDERAÇÕES QUANTO AOS ASPECTOS PROJETUAIS E CONSTRUTIVOS.....	131
8.2	CONSIDERAÇÕES QUANTO A INSPEÇÃO.....	132
8.3	CONSIDERAÇÕES QUANTO AOS PROCESSOS DE INSPEÇÃO	133
8.4	RECOMENDAÇÕES PARA PESQUISAS FUTURAS	134
	REFERÊNCIAS.....	136

1 INTRODUÇÃO

As coberturas e as fachadas compõem os elementos que separam o ambiente interno do externo, sendo responsáveis pelo desempenho técnico e ambiental da envoltória das edificações. Segundo Barth e Vefago (2016), as fachadas, ao funcionarem como interfaces de uma obra arquitetônica com o espaço urbano, constituem elementos representativos na composição e valorização estética dos edifícios. No entanto, a escolha dos sistemas construtivos que compõem as fachadas vai além da estética do edifício, pois abrange fatores climáticos como variação de temperatura e umidade, incidência de chuvas, ventos, poluição e outros agentes.

Os subsistemas construtivos que integram as fachadas devem ponderar fatores relacionados ao seu desempenho geral, incluindo outros fatores relacionados aos seus aspectos construtivos, como o nível de industrialização, automatização, flexibilização e adequação ambiental. A ponderação destes fatores resulta em projetos flexíveis, tanto em relação ao modo de construção quanto ao uso e a operação, produzindo edifícios adaptativos e mais resistentes à obsolescência. Barth (2017) afirma que a obsolescência é muitas vezes caracterizada pela falta de flexibilidade das estruturas e paredes, bem como pela atualização dos serviços que mudam rapidamente de acordo com as diferentes demandas e utilizações dos edifícios. Para esse autor, isso representa um entrave para a sustentabilidade das edificações, uma vez que um grande número de edifícios é demolido tendo ainda anos de vida útil.

O prolongamento da vida útil das edificações pode ser alcançado por meio de intervenções de reparo e manutenção nos sistemas construtivos para que estes continuem a desempenhar as funções para os quais foram projetados. A introdução de sistemas construtivos flexíveis e facilmente manipuláveis, aliada a aplicação de inspeções periódicas nos sistemas de vedações verticais, proporciona maior durabilidade ao invólucro das edificações.

Neste contexto, as convencionais fachadas monocamadas estão sendo aos poucos substituídas por fachadas tecnológicas, dinâmicas e flexíveis, com capacidade de se adequar às necessidades dos usuários e aos requisitos normativos. Simplificadamente, as fachadas industrializadas com câmara de ar podem ser definidas como um subsistema construtivo composto por duas ou mais camadas separadas por uma câmara de ar estática ou convectiva. Estas fachadas estão ganhando significativo espaço na construção civil, substituindo as fachadas tradicionais, tanto em edifícios novos como em projetos de reforma e *retrofit*.

Com relação a nomenclatura deste subsistema construtivo, pode-se encontrar artigos sobre as fachadas multicamadas que as tratam como *Rainscreen*¹, Revestimento Não Aderido (RNA)², *Opaque Double Skin*³, Fachada Cortina, Fachada Ventilada, Fachada Ventilada Opaca, Fachada Pré-fabricada, Fachada Industrializada, entre outros. Para esta pesquisa será adotado o termo Fachada industrializada com câmara de ar.

1.1 PROBLEMÁTICA E JUSTIFICATIVA

As paredes e coberturas definem a envoltória de uma edificação, representado a forma como o edifício se comunica com o ambiente externo. Segundo Barth e Vefago (2016), os sistemas construtivos que compõem as fachadas podem apresentar degradação mais acelerada que as outras partes protegidas da edificação, pois estão expostos aos agentes ambientais. A altura dos edifícios e a falta de inspeções são outros fatores que podem acelerar a degradação do invólucro das edificações, uma vez que a altura cria locais de difícil acesso que demandam gastos com a locação de equipamentos e ferramentas para realização de inspeções e manutenção.

A fim de contornar este quadro, observou-se a recente inserção no setor da construção civil dos Veículos Aéreos Não Tripulados, VANT, popularmente conhecidos como drones. Dentre os estudos que abordaram o uso de VANT como ferramenta de inspeção, destacam-se as pesquisas desenvolvidas por Eschmann et al. (2012), que abordaram análises das etapas que envolvem os métodos de inspeção com drones, e Guia e Pereira (2016), que buscaram mostrar a aplicação da robótica móvel no contexto de inspeção de fachadas. No entanto, observa-se a necessidade desenvolver pesquisas contribuam para a validação e o aperfeiçoamento destes métodos desenvolvidos.

Tanto a tecnologia de drones quanto a tecnologia de fachadas industrializadas com câmara e ar são recentes no Brasil. Com relação as fachadas industrializadas, diversos são os estudos que abordaram os aspectos relativos à durabilidade deste subsistema construtivo com enfoque nas manifestações patológicas dos revestimentos externos, porém pouco se tem tratado sobre os processos de inspeção e manutenção. Dentre as pesquisas relacionadas com a durabilidade, destacam-se os estudos realizados por pesquisadores europeus com escopo em países do

¹ Fachada com revestimento cortina ou ventilado.

² Entende-se como revestimento não aderido (RNA), os revestimentos cuja fixação ocorre por meio de subestruturas metálicas, insertes, parafusos, entre outros (SABBATINI; MEDEIROS,1999).

³ Fachada de dupla pele opaca.

hemisfério norte. Com relação as manifestações patológicas características dos materiais aplicados como revestimento externo, Gutiérrez et al. (2011) apresentaram algumas causas de degradação dos revestimentos pétreos em fachadas industrializadas convectivas. Yakub et al. (2012) e D’Orazio et al. (2014) estudaram a resistência à fratura de revestimentos cerâmicos utilizados em fachadas industrializadas com câmara de ar. Albuquerque (2013) realizou levantamentos de campo se elencou as manifestações patológicas características dos laminados fenólicos aplicados como material de revestimento. Thébault et al. (2014) realizaram pesquisas relacionadas aos defeitos típicos associados aos processos de manufatura das placas de laminados fenólicos. Com relação ao comportamento das juntas dos revestimentos de fachadas, Barth e Vefago (2016) estudaram a influência de fatores externos no desgaste dos selantes aplicados nas juntas de revestimento de fachadas. De modo similar, Mas et al. (2011) estudaram o comportamento das juntas abertas de fachadas industrializadas convectivas frente às chuvas. Neste segmento, porém com enfoque nos fixadores, Carramiñana et al. (2011) realizaram experimentos com fixadores metálicos aplicados em revestimento pétreos e elencaram características que devem ser consideradas na escolha de um bom sistema de fixação de revestimento externo de fachada.

Neste contexto, faz-se necessário desenvolver pesquisas que abordem a inserção das fachadas industrializadas com câmara de ar no setor da construção civil brasileira, direcionando os estudos para os aspectos relativos ao seu desempenho técnico, durabilidade e processos de inspeção e manutenção.

1.2 OBJETIVO

Analisar os principais aspectos projetuais e construtivos em edifícios e os processos de inspeção e manutenção das fachadas industrializadas com câmara de ar para melhoria do seu desempenho técnico no âmbito da construção civil brasileira.

1.2.1 Objetivos Específicos

a) Caracterizar os aspectos projetuais e construtivos das fachadas industrializadas com câmara de ar em dois edifícios situados no litoral do estado de Santa Catarina;

- b) Identificar as manifestações patológicas frequentes nos revestimentos externos, juntas e fixadores utilizados nas fachadas industrializadas com câmara de ar;
- c) Propor e testar um método inspeção que auxilie na identificação das manifestações patológicas em fachadas de edifícios de médio e grande porte;

1.3 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA

A pesquisa concentra-se em edificações construídas no litoral de Santa Catarina a partir do ano de 2000. Os principais critérios para seleção das edificações objeto de estudo são:

- a) Ser uma obra finalizada;
- b) Apresentar área de fachada industrializada com câmara de ar superior a 25 % do total de superfície de fachada do edifício;
- c) Localizar-se em cidades litorâneas do estado de Santa Catarina para facilitar o acesso e otimizar o tempo da pesquisa;
- d) Ser construída a partir do ano 2000, por ser o período em que se ampliou a inserção destes produtos no país.

1.4 SÍNTESE DO MÉTODO DA PESQUISA

O método adotado nesta pesquisa tem embasamento essencialmente qualitativo. Segundo Gil (2008), a pesquisa pode ser classificada com base na natureza, nos objetivos a serem alcançados e nos procedimentos técnicos adotados.

Quanto a natureza, esta pesquisa pode ser classificada como qualitativa, pois objetiva buscar a valorização do contato direto por meio de estudos de caso. Quanto aos objetivos a serem alcançados, a pesquisa pode ser classificada como exploratória e em alguns pontos explicativa. O caráter exploratório deve-se ao fato do estudo buscar a elucidação do objetivo traçado utilizando-se de artifícios como o levantamento bibliográfico e a análise de edificações já construídas, visando construir um esboço de como a tecnologia está sendo desenvolvida no Brasil. O caráter explicativo desta pesquisa está no ponto em que estudo busca elucidar os possíveis motivos que influenciam no modo como este subsistema construtivo está sendo inserido no setor construção civil, apresentando técnicas, disponibilidade de materiais e produtos, entre outros. Quanto aos procedimentos técnicos adotados, a coleta de dados está baseada, segundo Gil (2008, p. 50), em “aqueles que se valem das chamadas fontes de ‘papel’ e aqueles cujos dados são fornecidos por

pessoas”. No primeiro grupo estão as pesquisas bibliográfica e documental e no segundo estão os estudos de caso.

Os estudos de caso foram desenvolvidos de acordo com Yin (2001), pois visam explicar ‘o como’ o produto está sendo inserido no país, trazendo dados da realidade para a análise. Segundo esse autor, “questões do tipo ‘como’ e ‘por que’ são mais explanatórias e é provável que levem ao uso de estudos de casos”.

Segundo Richardson (1999), o método científico é a forma encontrada pela sociedade para legitimar um conhecimento adquirido empiricamente. Quando um conhecimento é obtido pelo método científico, qualquer pesquisador que repita a investigação, nas mesmas circunstâncias, poderá obter um resultado semelhante. Partindo da definição proposta por este autor, o método adotado na pesquisa pode ser dividido em quatro etapas sintetizadas abaixo:

a) Levantamento bibliográfico: Esta etapa consiste em uma revisão teórica referente aos aspectos projetuais e construtivos dos subsistemas que compõem as fachadas industrializadas com câmara de ar, bem como dos processos de inspeção e manutenção. Quanto aos aspectos projetuais e construtivos, buscou-se levantar informações referentes ao revestimento externo, isolamento térmico, vedação interna, juntas e sistemas de fixação. Quanto aos processos de inspeção e manutenção, buscou-se identificar as manifestações patológicas frequentes do revestimento externo, juntas e fixadores, bem como levantar subsídios para auxiliar na sistematização de um método para ser aplicado e testado nas inspeções técnicas dos estudos de caso.

b) Seleção dos estudos de caso: Esta etapa abrange a elaboração dos critérios que delimitam e guiam a seleção das edificações objetos de estudo.

c) Análise dos estudos de caso: Esta etapa engloba as análises das particularidades referentes aos aspectos projetuais, construtivos e os processos de inspeção e manutenção das edificações selecionadas como estudos de caso. A análise dos aspectos projetuais e construtivos aborda de uma descrição gráfica e escrita da fachada analisada, enquanto que a análise relativa aos processos de inspeção e manutenção tem a finalidade de sistematizar um método de inspeção a ser utilizado para identificar as manifestações patológicas.

d) Análise dos resultados: Esta etapa abrange a apresentação sistematizada das informações obtidas na primeira e na segunda etapa, no qual são apresentados quadros comparativos que visam identificar a diferenças e similaridades com relação aos aspectos abordados.

1.5 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

A dissertação está estruturada em oito capítulos. O primeiro capítulo apresenta a introdução, a problematização, a justificativa, os objetivos e a delimitação do tema. Este capítulo inclui a apresentação sintetizada do método da pesquisa com a descrição dos passos realizados para atingir os objetivos traçados.

O segundo capítulo apresenta um breve histórico dos sistemas construtivos que podem ser considerados como os precursores das atuais fachadas industrializadas. Neste capítulo também é realizada a caracterização das fachadas industrializadas com câmara de ar estática e convectiva.

O terceiro capítulo aborda o levantamento bibliográfico dos aspectos projetuais e construtivos, apresentando dados relativos aos subsistemas que compõem estas fachadas: vedação interna, isolamento térmico, revestimento externo, juntas e sistemas de ancoragem e fixação do revestimento externo na vedação interna.

O quarto capítulo apresenta o levantamento bibliográfico dos processos de inspeção e manutenção do subsistema construtivo com apresentação das principais manifestações patológicas dos revestimentos, juntas e fixadores. Neste capítulo também são apresentados estudos relativos às ferramentas tecnológicas e aos métodos que contribuíram para o desenvolvimento do método de inspeção.

O quinto capítulo apresenta o método elaborado para aplicação nesta pesquisa, esclarecendo as suas etapas, delimitações e forma de análise dos resultados.

O sexto capítulo apresenta os estudos de caso. Com base na bibliografia levantada nos capítulos anteriores, são realizadas análises dos aspectos projetuais, construtivos e os processos de inspeção e manutenção das fachadas industrializadas das duas edificações selecionadas.

O sétimo capítulo apresenta os resultados e discussões dos aspectos levantados por meio de quadros comparativos. Neste capítulo também são apresentados os resultados da aplicação do método de inspeção proposto.

O oitavo capítulo apresenta as considerações e reflexões a respeito dos resultados mais significativos obtidos, bem como sugestões para pesquisas futuras.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Este capítulo apresenta um breve histórico a respeito dos subsistemas construtivos considerados os precursores das atuais fachadas industrializadas com câmara de ar.

2.1 BREVE HISTÓRICO

Os primeiros registros de uma técnica similar às fachadas industrializadas com câmara de ar datam do início do século XX. Segundo Patón (1996), Otto Wagner, arquiteto e professor da Escola de Belas Artes de Viena, foi precursor de uma técnica construtiva que contrapunha às técnicas existentes na época. As paredes maciças e rígidas de pedra davam lugar a um método moderno de construção capaz de reduzir gastos e tempo de execução. De acordo com esse autor, a técnica apresentada por Wagner consistia na aplicação de placas de espessuras finas como composição do revestimento externo dos edifícios. Com espessura menores, em torno de 2 cm, seria possível aplicar materiais mais nobres nas fachadas, como por exemplo o mármore. A ancoragem das placas seria realizada por meio de insertes de bronze. Para esse arquiteto, a aplicação desta técnica permitiria a redução da quantidade de pedra utilizada nas fachadas a um quinto ou um sexto da quantidade necessária, quando comparado ao sistema tradicional. As Figuras 1 e 2 ilustram, respectivamente, os projetos da fachada frontal da Igreja de São Leopoldo e a Banco Postal, ambos executados por Otto na cidade de Viena.

Figura 1 - Igreja de São Leopoldo em Viena, executada entre 1902 e 1905.



Fonte: Patón (1996).

Figura 2 - Banco Postal de Viena, executada entre 1904 e 1912.

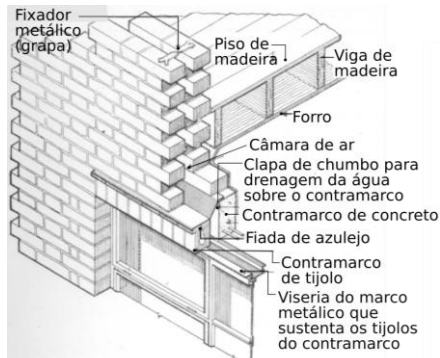


Fonte: Patón (1996).

Em 1898 o termo *cavity wall* foi empregado pela primeira vez no *Builder Journal*. O jornal definia a *cavity wall* como uma folha exterior, totalmente independente, que se unia a uma folha interior por meio ancoragens em ferro galvanizado. A folha externa funcionava como uma barreira que protegia a folha interna, uma vez que a quantidade de água que infiltrava dentro da câmara não entrava em contato com a folha interna, pois era evacuada por meio de orifícios e drenos de chumbo. Este conceito foi introduzido com o objetivo de controlar a temperatura e reduzir a umidade das superfícies das paredes internas das edificações da época (EIRAS, 1996). Segundo Ansuategui (1995), este sistema se tornou consolidado na Inglaterra a partir do ano de 1925. A Figura 3 apresenta a *cavity wall* desenhada por Warland em 1947 no livro *'La construcción moderna'*.

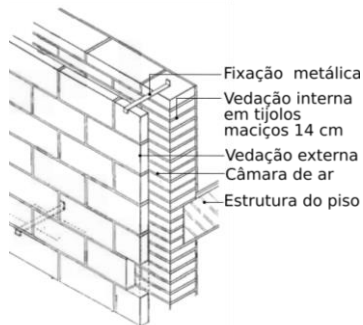
Outro precedente das fachadas evidenciado por Ansuategui (1995) é o sistema *tabique pluvial*. Originado em meados do século XX, o sistema era feito tradicionalmente com tijolos maciços. Os tijolos formavam pilastras que se sobressaiam 15 cm e apresentavam saliências onde o tabique era apoiado. O calor acumulado na câmara era evacuado por convecção permitindo que o elemento interno (parede interna) ficasse protegido da radiação solar direta, como pode ser observado na Figura 4.

Figura 3 - *Cavity wall* ilustrada por Warland em 1947.



Fonte: Ansuategui (1995).

Figura 4 - *Tabique pluvial* feita de tijolos maciços.



Fonte: Ansuategui (1995).

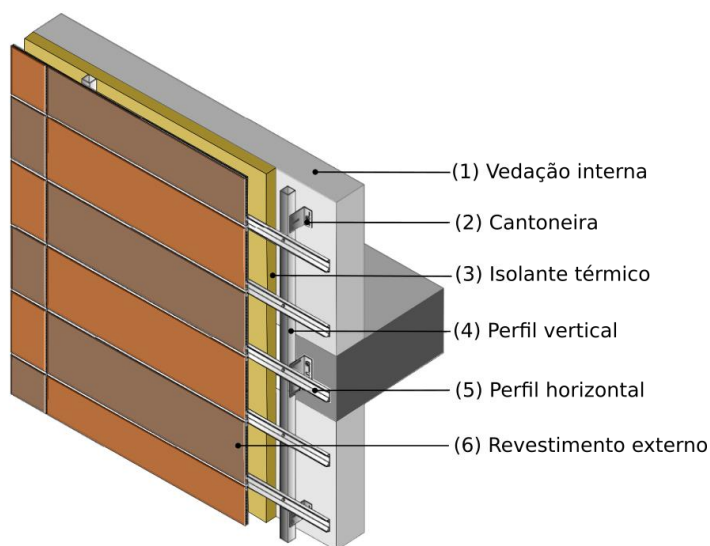
Tradicionalmente, as fachadas eram estruturas portantes que funcionavam como a estrutura e fechamento dos edifícios. Os avanços tecnológicos ocorridos ao longo do século XX no campo da construção civil e engenharia de materiais proporcionaram a dissociação dos sistemas de vedações das estruturas dos edifícios, fazendo com que a estrutura

tivesse a função de suportar as cargas e que as paredes tivessem a função de vedar o meio interno do externo. Neste contexto, é possível observar que a técnica de revestimento não aderido (RNA), a *cavity wall* (EIRAS, 1996; ANSUATEGUI, 1995) e o *tabique pluvial* (ANSUATEGUI, 1995) são sistemas construtivos desenvolvidos por processos de inovação tecnológica e que, devido as suas similaridades com as atuais fachadas industrializadas, podem ser considerados seus precursores.

2.2 FACHADAS INDUSTRIALIZADAS COM CÂMARA DE AR

As fachadas industrializadas com câmara de ar representam um tipo particular de subsistemas de vedações externas. Simplificadamente, este tipo de fachada é formado por uma estrutura composta por vários subsistemas que são dispostos de modo a criar uma câmara de ar interna. O subsistema externo (revestimento) é ancorado ao interno (vedação interna) por meio de insertes metálicos. A Figura 5 apresenta os múltiplos subsistemas construtivos que compõem as fachadas industrializadas, bem como sua sequência de montagem.

Figura 5 - Subsistemas que compõem as fachadas industrializadas com câmara de ar.

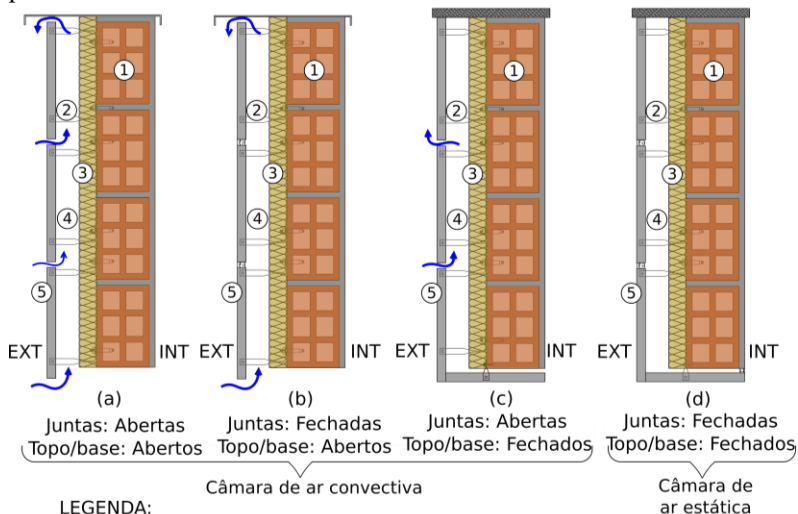


Fonte: Adaptado pela autora de Favegrup (2017)

Conforme a ilustrado, após concluída a vedação interna (1), inicia-se o processo de instalação da fachada, no qual, primeiramente, são fixadas as cantoneiras (2), para então fixar o subsistema isolante térmico (3). Em seguida, são fixados os perfis de sustentação do revestimento externo nas cantoneiras (4) (5), e por último são ancoradas as placas de revestimento nestes perfis (6).

A câmara de ar pode ser aberta ou fechada (ar convectivo ou estático), conforme ilustram os cortes esquemáticos da Figura 6. No caso da câmara aberta, o ar entra e sai da câmara por orifícios de ventilação localizados nas juntas e/ou no topo e na base do revestimento externo. As fachadas cujas aberturas para circulação do ar localizam-se nas juntas entre os painéis são classificadas como Fachadas Ventiladas de Juntas Abertas (a) e (c), enquanto que as fachadas cujas aberturas localizam-se apenas na parte inferior e superior do revestimento externo são classificadas como Fachadas Ventilada de Juntas Fechadas (b) (SANJUAN, et al. 2011; IBÁÑEZ-PUY, et al. 2017). No caso de fachadas industrializadas com câmara de ar cujas juntas e os orifícios superiores e inferiores são fechados (d), cria-se um núcleo de ar estático entre o revestimento externo e a vedação interna que não gera benefícios tanto para os períodos de verão como de inverno.

Figura 6 - Cortes esquemáticos ilustrando os orifícios de acesso e saída do ar pelo revestimento externo.



Fonte: Elaborado pela autora (2018).

A convecção natural do ar dentro da câmara, efeito chaminé, é a característica que confere às fachadas industrializadas uma resposta térmica mais eficiente quando comparadas às fachadas tradicionais monocamadas e as fachadas com câmara de ar estático (d). Este fenômeno ocorre devido à diferença de densidade entre o ar mais quente dentro da cavidade e o ar mais frio do lado de fora que entra na câmara. O ar entra pelos orifícios localizados na parte inferior do revestimento e expulsa o ar aquecido pela radiação solar dentro da cavidade pelos orifícios do topo do revestimento. Segundo Muller (2003), fluxo do ar no interior da câmara é ascendente devido às diferenças de pressão que renovam o ar e retardam o aquecimento da parede ligada aos ambientes internos. Ibañez-Puy et al. (2017) ainda acrescentam que o efeito chaminé também pode ocorrer pela ação dos ventos, o que explica a existência do fenômeno à noite, quando não há radiação solar. Os autores afirmam que a ventilação natural pode ser conduzida de duas formas: ventos e variação térmica. A ventilação provocada pelo vento é consequência das diferenças de pressão nas aberturas das fachadas, enquanto que a ventilação provocada por variação térmica é resultado das diferenças temperatura na parte superior e inferior da câmara de ar onde estão localizadas as aberturas.

3 ASPECTOS PROJETUAIS E CONSTRUTIVOS

A versatilidade das fachadas industrializadas faz com que este subsistema construtivo seja aplicável a vários tipos de edifícios e climas com possibilidade de atender diversas configurações compositivas e materiais empregados. Neste capítulo são abordados os aspectos projetuais e construtivos dos subsistemas e componentes integrantes das fachadas industrializadas: vedação interna, isolante térmico, revestimento externo, juntas, subestrutura intermediária e fixadores.

3.1 SUBSISTEMA DE VEDAÇÃO INTERNA

Os subsistemas construtivos aplicados como vedação interna das fachadas com câmara de ar devem atender a função de ancorar as placas do revestimento externo e satisfazer os requisitos e critérios de desempenho. A norma francesa CSTB - CTP 3450 (2003) recomenda que os componentes utilizados como parâmetros internos (vedação interna) devam apresentar baixa reação ao fogo e resistência ao fogo, segurança em caso de choques contra queda de objetos e pessoas (resistência estrutural contra impactos).

No Brasil, o sistema mais difundido nas fachadas dos edifícios é o de alvenaria de blocos cerâmicos. A ancoragem do revestimento externo é feita na estrutura portante no edifício, ou seja, pilares e vigas. Quanto mais extenso for o plano de fachada, maior será o peso próprio total do revestimento, e assim, mais resistentes devem ser as subestruturas de ancoragem e os pontos de fixação na vedação interna. O subsistema interno também é responsável por sustentar o material isolante térmico, o qual, devido ao baixo peso próprio, não exige pontos de fixação na estrutura portante do edifício.

3.2 SUBSISTEMA ISOLANTE TÉRMICO

A aplicação da camada isolante térmica em fachadas com câmara de ar ainda não é frequente no Brasil, porém, quando utilizada, costuma ser feita com fibra de vidro e lã de rocha. A fixação das mantas ou placas é feita por meio de parafusos e buchas de PVC próprias para ancorar o material isolante, conforme mostra a Figura 7. O isolante é aplicado junto a vedação interna e entre os perfis da subestrutura intermediária de ancoragem do revestimento. Deste modo, é necessária a fixação das cantoneiras de retenção e de sustentação antes de aplicar o isolante térmico. Moura (2009) recomenda que, antes da aplicação do material

isolante térmico, seja aplicada uma camada fina de impermeabilizante do tipo flexível (manta ou membrana). Devido a praticidade, é comum no Brasil o uso de emulsões asfáltica frias do tipo *primer*, conforme ilustra a Figura 8.

Figura 7 - Fixação do isolante térmico com buchas.



Fonte: Lunardelli (2017).

Figura 8 - Aplicação de membrana impermeabilizante.



Fonte: Lunardelli (2017).

A aplicação do isolante térmico também pode ser feita diretamente na vedação de alvenaria, sem necessidade de reboco e camada impermeabilizante mesmo nas fachadas com juntas abertas, pois atualmente existem isolantes térmicos com resina impermeáveis à água que são próprios para este tipo de fachada. As fibras desses isolantes são tramadas perpendicularmente entre si com intuito de oferecer maior resistência mecânica durante o manuseio e a fixação.

A Figura 9 mostra o isolante *Ventiock Duo*® cuja metade da placa é composta por tramas de fibras mais espaçadas entre si, e a outra metade é composta por tramas de fibras mais densas entre si. A camada menos densa deve ser aplicada na vedação de bloco cerâmico, pois é mais flexível e admite adaptabilidade a possíveis saliências ou reentrâncias existentes na vedação interna. A face mais rígida deve ser posicionada para o exterior (interior da câmara de ar), pois possui uma camada de resina que a torna impermeável à água, conforme ilustra a Figura 10.

Figura 9 - Composição do isolante térmico *Ventirock Duo*®.



Fonte: Elaborado pela autora (2018).

Figura 10 - Resina impermeabilizante do isolante térmico *Ventirock Duo*®.



Fonte: Rockwool (2017).

3.3 SUBSISTEMA DE REVESTIMENTO EXTERNO

As fachadas industrializadas oferecem revestimentos externos modulares com grande variedade de materiais, cores, dimensões e espessuras de placas. A modulação possibilita a elaboração de paginações com dimensões, cores e texturas variadas, além de facilitar a montagem e a execução da fachada.

A paginação das fachadas é uma modalidade de projeto que busca componentizar as elevações, com intuito de compatibilizar os painéis e facilitar a montagem. Segundo Barth e Vefago (2016), a paginação possibilita a fragmentação da fachada em famílias e tipos de painéis. Segundo esses autores, a paginação pode ser discreta com juntas quase imperceptíveis, ou ainda pode ser expressiva, de modo a explicitar o processo projetual ou construtivo no qual a geometria, a cor dos painéis, as ranhuras e a conformação das juntas são elementos que se destacam no conjunto.

Na modularização das fachadas, as famílias correspondem aos conjuntos de elementos que possuem a mesma geometria e os tipos correspondem painéis pertencentes a uma mesma família, mas que passaram por alguma variação dimensional. Para aplicação deste conceito nos estudos de caso, considera-se que as famílias correspondem aos painéis que possuem a mesma geometria e materiais constituintes, enquanto que os tipos correspondem aos painéis que apresentam variações dimensionais em uma mesma família.

Além de atender a função estética, se faz necessário que as fachadas industrializadas com câmara de ar também atendam as funções relacionadas ao desempenho da edificação. A norma Francesa

CSTB - CTP 3450 (2003), recomenda que os parâmetros externos, ou seja, os componentes com função de revestimento externo, apresentem: resistência ao vento, estanqueidade à água, resistência aos choques externos, baixa reação ao fogo, baixa variação dimensional em função de gradientes higrótérmicos, facilidade de reparo e substituição, e durabilidade.

Os tipos de painéis aplicados como revestimentos externos podem ser classificados em dois grandes grupos de acordo com os materiais constituintes: naturais e artificiais. Os revestimentos externos naturais referem-se aos provenientes da natureza e que estão prontos para serem utilizados, necessitando de tratamentos simplificados, como lavagem, cortes em tamanhos padronizados, polimentos, entre outros. Dentre estes materiais, destacam-se os revestimentos pétreos provenientes de pedras naturais como granitos, mármore, ardósias e outras. Em contrapartida, os revestimentos externos artificiais são compostos por materiais obtidos por processos industriais que resultam em produtos com grande quantidade de energia incorporada⁴. Neste grupo estão os revestimentos feitos com pedras artificiais, cerâmicas compósitos de alumínio, laminados fenólicos e compósitos cimentícios.

As Figuras 11-a e 11-b ilustram a aplicação dos revestimentos naturais pétreos de granito e ardósia em fachadas. As Figuras 12-a, 12-b, 12-c, 12-d, 12-e e 12-f demonstram os principais revestimentos artificiais aplicados à arquitetura.

Figura 11 - Revestimentos naturais.

a) Pedra de granito.



Fonte: Archiexpo (2017).

b) Pedra ardósia.



Fonte: Cupapizarras (2017).

⁴ Energia incorporada ou embutida do produtos envolve a quantificação dos custos econômicos, ambientais e sociais da energia utilizada desde a extração de matérias-primas até à reciclagem e/ou reutilização dos seus produtos finais (DING, 2004).

Figura 12 - Revestimentos artificiais.

a) Mármore artificial ou composto.



Fonte: Favegrup (2017).

b) Placa de porcelanato cerâmico.



Fonte: Marazzistoneware (2017).

c) Placa de cerâmica extrudada.



Fonte: Lunardelli (2017).

d) Placa fenólico.



Fonte: Sotecnisol (2017).

e) Placa de compósito de alumínio.



Fonte: Gouveia e Sposto (2015).

f) Placa cimentícia.



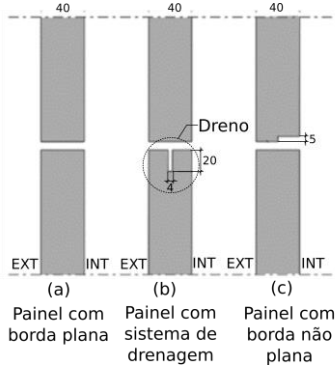
Fonte: AECweb (2017).

3.3.1 Juntas do revestimento externo

As juntas do revestimento externo das fachadas industrializadas podem ser abertas ou fechadas (seladas). Quando fechadas, os materiais aplicados no selamento devem absorver as tensões causadas pela movimentação das edificações e variações dimensionais dos diferentes materiais aplicados no revestimento externo. Diferentemente das fachadas monocamada, as fachadas industrializadas com câmara de ar possuem revestimento externo desconectados da estrutura. Com relação a este aspecto, observa-se que as juntas abertas facilitam a movimentação entre as placas do revestimento externo. No caso de fachadas com juntas fechadas, a selagem pode ser feita com silicones e delimitadores de profundidade ou com outros elementos que garantam a estanqueidade. Os delimitadores são colocados sob pressão nas juntas de modo a controlar a profundidade da aplicação dos selantes. O perfil regulador de profundidade deve ser no mínimo 20 % maior que a largura nominal da junta para garantir que acompanhe a movimentação dos painéis.

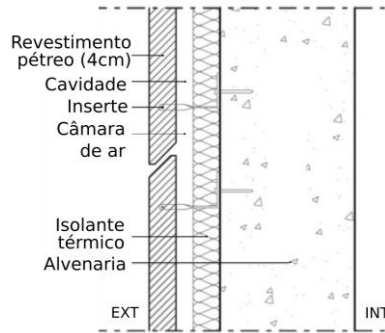
Mas et al. (2011) estudaram o comportamento das juntas abertas em fachadas industrializadas revestidas por placas pétreas expostas à chuva, propondo algumas recomendações técnicas e construtivas com intuito de garantir a estanqueidade. Os autores realizaram comparações entre as três formações de juntas abertas ilustradas na Figura 13 (a), (b) e (c). Para cada uma das formações tipológicas, eles testaram quatro larguras de juntas (4, 6, 8 e 10 mm), a fim de identificar as dimensões mais adequadas. Os autores concluíram que o tipo (b) é o mais adequado dos três, tendo em vista que a penetração por água das chuvas foi consideravelmente menor para este tipo, independentemente da largura adotada. O tipo (c) apresentou bons resultados para as juntas de 4 e 5 mm. Além destas considerações, os autores desmistificaram a teoria de que aumentando a espessura do painel, diminui-se a penetração da água da chuva. Para juntas com abertura maior que 8 mm, a influência da espessura dos painéis passa a se tornar insignificante como forma de evitar a penetração de água da chuva. Com base nos três tipos analisados, os autores desenvolveram a junta ilustrada na Figura 14 que apresenta a configuração considerada mais adequada para possibilitar a ventilação da câmara em fachadas com juntas abertas e garantir estanqueidade.

Figura 13 - Tipos de juntas dos painéis de revestimento pétreo.



Fonte: Mas et al. (2011).

Figura 14 - Tipo de junta sugerida por Mas et al.



Fonte: Mas et al. (2011).

3.4 SUBESTRUTURA INTERMEDIÁRIA E FIXADORES

A fixação mecânica do revestimento externo pode ser feita diretamente na vedação interna ou por meio de uma subestrutura que pode conter elementos verticais e horizontais. A hipótese de fixação sem recorrer a uma subestrutura é utilizada essencialmente em ancoragem por cavilhas ou insertes. Este tipo de ancoragem permite fixação das placas externas de forma pontual, placa por placa. Na hipótese de fixação por meio de subestrutura intermediária, a fixação do revestimento ocorre por meio de uma subestrutura intermediária constituída por materiais duráveis e resistentes aos agentes externos, sendo usual a aplicação de metais inoxidáveis.


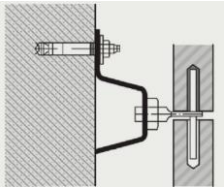


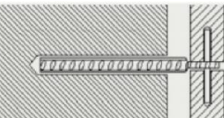




Tanto a fixação pontual como a composta por subestrutura intermediária possibilitam a utilização de sistemas de fixação aparentes ou ocultos. Os sistemas aparentes são constituídos por parafusos que atravessam as placas de revestimento externo ou por grampos que envolvem os painéis de revestimento ao longo do seu perímetro. De outro modo, os sistemas ocultos são constituídos por elementos de fixação parafusados ou encaixados atrás das placas de revestimento externo.

Alguns fabricantes desenvolvem o produto por inteiro, incluindo os painéis externos, a subestrutura e insertes metálicos de fixação no edifício. Outros, denominados ‘sistemistas’, fazem a conexão entre os fixadores e os revestimentos externos disponíveis no mercado. Neste último caso, o cliente escolhe o revestimento desejado e os ‘sistemistas’

ajustam o produto ao modo mais adequado de fixação, que geralmente é condicionado pelo tipo de placas do revestimento externo.

Fatores como os materiais constituintes, a espessura, as dimensões das placas, assim como questões projetuais (oculto ou aparente) condicionam a escolha da fixação mais apropriada, sendo que um mesmo tipo de placa pode admitir a aplicação de mais de uma solução de fixação. Os Quadros 1 e 2 apresentam os tipos de fixadores mais usuais, de acordo com a bibliografia internacional. A partir destas configurações são criados novos produtos que se adequam aos materiais e diversas técnicas de fabricação.

Quadro 1 - Fixadores pontuais.

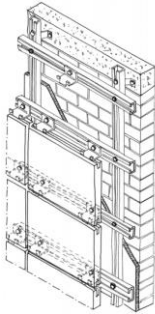
Sistemas de fixação pontual (insertes)		
a) Cavilha com pata mecânica - Fixação oculta		
		
Fonte: Dpsfix (2017)	Fonte: Sampedras (2017)	Fonte: Archiexpo (2017)
b) Cavilha com parafuso hélice de avião - Fixação oculta		
		
Fonte: Dpsfix (2017)	Fonte: Sampedras(2017)	Fonte:Dpsfix (2017)
c) Grampos - Fixação aparente		
		
Fonte: Wfixsf (2017)	Fonte: Eucassel (2017)	Fonte: Eucassel (2017)

Fonte: Elaborado pela autora (2018).

Quadro 2 - Fixadores com subestrutura intermediária.

Sistema de fixação com subestrutura intermediária

a) Grampos ou clips - Fixação oculta



Fonte: Bazzocchi (200-).

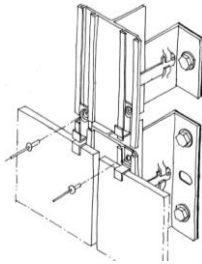


Fonte: Sbfijaciones (2017).



Fonte: Sbfijaciones (2017).

b) Grampos ou clips - Fixação aparente



Fonte: Bazzocchi (200-).

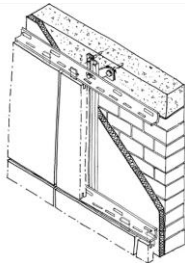


Fonte: Sbfijaciones (2017).



Fonte: Sbfijaciones (2017).

c) Linear contínua com cavilhas - Fixação oculta



Fonte: Bazzocchi (200-).



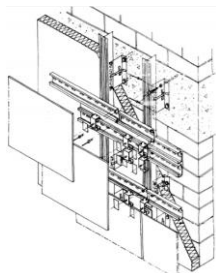
Fonte: Arbizzani (2015).



Fonte: Arbizzani (2015).

continua

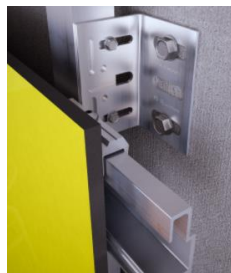
d) Linear contínua soldada atrás do revestimento - Fixação oculta



Fonte: Bazzocchi (200-)

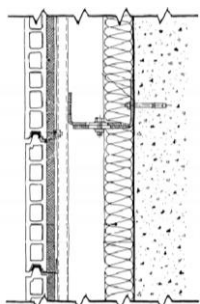


Fonte: Favegrup (2017)



Fonte: Favegrup (2017)

e) Linear contínua com entalhe no revestimento - Fixação oculta



Fonte: Bazzocchi (200-).



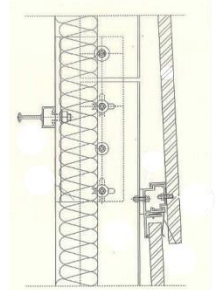
Fonte: Favegrup (2017).



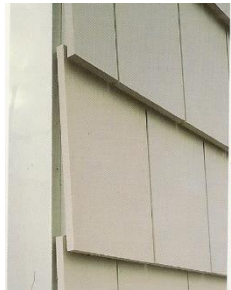
Fonte: Arbizzani (2015).

f) Outras formas de fixação com subestrutura intermediária

Fixação com placas sobrepostas



Fonte: Tectonica, 2003.



Fonte: Elaborado pela autora (2018).

Fixação com rebites

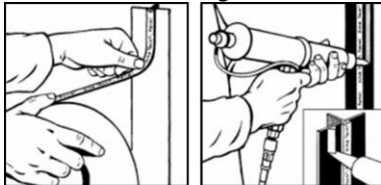


Fonte: Favegrup (2017).

O contato com o ambiente externo expõe as placas de revestimento aos agentes agressores, tais como o sol, a chuva e o vento. O calor e o frio são responsáveis pelos movimentos de dilatação e contração das placas, enquanto que o vento é o agente causador de trepidações e ruídos, em especial nos pavimentos mais altos, onde a velocidade do vento é maior. Com objetivo de atenuar estes possíveis ruídos, elementos com flexibilidade são colocados nos pontos de encontro entre as placas do revestimento externo a subestrutura intermediária.

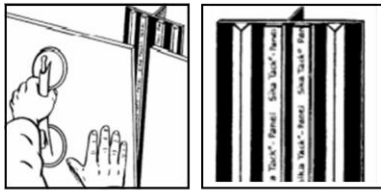
As Figuras 15 e 16 apresentam os elementos elásticos que são comumente utilizados para suavizar os esforços gerados pelos agentes em fachadas industrializadas com câmara de ar: guarnições de borracha, fitas adesivas dupla face e adesivos em bisnaga com cordão triangular. Alguns destes elementos, como as fitas e os adesivos, também são chamados de fixação química.

Figura 15 - Fita adesiva dupla face e os adesivos em bisnaga.



1- Aplicação da fita adesiva

2- Aplicação da cola bisnaga



3- Aplicação do revestimento

4- Detalhe da fita e da cola

Fonte: Sika (2017).

Figura 16 - Aplicação fita adesiva dupla face e os adesivos em bisnaga.



Fita adesiva dupla face

Cola bisnaga com cordão triangular

Fonte: Techlam (2014).

Com base na bibliografia internacional e no estudo do mercado brasileiro, observa-se que um fixador pode admitir uma gama de revestimentos externos diferentes, e vice-versa. Deste modo, com base nos fixadores e materiais de revestimento externo estudados, elaborou-se o Quadro 3, que estabelece alguns pré-requisitos que devem ser observados para composição 'sistema de fixação e fixadores' com 'materiais constituintes dos revestimentos externos'.

Quadro 3 - Pré-requisitos para composição de novos sistemas de fachada.

Sistemas de fixação pontual (insertes)			
Sistema de fixação e fixadores		Materiais constituintes do revestimento	Pré-requisito para aplicação da composição fixador/revestimento
Oculto	Cavilha com pata mecânica Cavilha com parafuso hélice de avião	Pedra natural Pedra artificial Cimentícios	Possui uma espessura mínima de 15 a 20mm para engastar a cavilha.
Aparente	Grampos	Pedra natural Pedra artificial Porcelanato Cerâmico Fenólico Cimentícios	Espessura do revestimento varia de acordo com o tipo de grampo (espaço entre os dentes do grampo).
Sistema de fixação com subestrutura intermediária			
Oculto	Grampos ou clips Linear contínua com entalhe no revestimento	Pedra natural Pedra artificial Cerâmica extrudada Cimentícios	Possuir dimensão mínima para que possa existir reentrância na borda superior e inferior para fixação do grampo ou clip, em torno de 10 a 15 mm.
	Linear contínua com cavilhas	Pedra natural Pedra artificial Cimentícios	Possui uma espessura mínima de 15 a 20 mm para produzir o entalhe com será introduzida a cavilha.
	Linear contínua soldada atrás do revestimento	Pedra artificial Porcelanato Cerâmico Fenólico ACM Cimentícios	Indicado para peça que possuam peso próprio leve e espessura fina (até 10 mm). Para revestimentos pétreos e cimentícios, o controle do peso próprio elevado deve ser realizado com espessuras finas.

continua

continuação

Aparente	Grampos ou clips	Pedra natural Pedra artificial Porcelanato Cerâmico Fenólico Cimentícios	Para revestimentos com peso próprio elevado, as peças devem possuir espessura fina (indicado até 10 mm). Para revestimentos com peso próprio baixo, as peças podem admitir espessuras maiores (indicado até 20 mm).
	Fixação com rebite	ACM Fenólico	Indicado para revestimentos com peso próprio baixo, espessura fina (até 5 mm) e com boa capacidade de perfuração.
	Placas sobrepostas	Pedra natural Pedra artificial Porcelanato Cerâmico Cerâmica extrudada Fenólico Cimentícios	Indicado para revestimentos com espessuras finas (até 10 mm). Espessuras maiores poderão tornar a fachada com aspecto grosseiro.

Fonte: Elaborado pela autora (2018).

Observa-se que os sistemas de fixações ocultos exigem peças com materiais constituintes e espessuras adequadas para acomodar possíveis entalhamentos. Por outro lado, sistemas de fixações aparentes admitem maior variedade de tipos de materiais e espessuras. No entanto, para o caso de combinações que levem placas com espessuras mais grossas, deve-se tomar precaução para que a subestrutura de ancoragem possa suportar o peso do revestimento.

4 PROCESSOS DE INSPEÇÃO E MANUTENÇÃO

Este capítulo aborda conceitos relativos a inspeção e a manutenção com intuito de investigar estratégias que auxiliem na melhoria do desempenho das fachadas industrializadas com câmara de ar. Primeiramente, realizou-se um levantamento das manifestações patológicas mais frequentes nos revestimentos, nas juntas e nos fixadores. Posteriormente, buscou-se levantar subsídios para a proposição de um método de inspeção para aplicação nos estudos de caso.

4.1 INSPEÇÃO E MANUTENÇÃO

A palavra obsolescência tem origem etimológica no latim *obsolescere*, que significa envelhecer. Obsolescência significa o processo de torna-se obsoleto, cair em desuso ou tornar-se desatualizado. O objetivo principal da inspeção em edifícios é identificar de modo sistemático a origem e as causas das manifestações patológicas com o intuito de fornecer subsídios suficientes para o diagnóstico, intervenções de reparo e manutenção que possam impedir a obsolescência precoce e prolongar a vida útil do subsistema construtivo. O Figura 17 expressa relação conceitual cíclica destes fatores ligados aos processos de inspeção e manutenção dos edifícios.

Figura 17 - Modelo conceitual dos processos inspeção e manutenção dos edifícios.



Fone: Elaborado pela autora (2018).

A finalidade das técnicas de inspeção é a determinação das falhas, anomalias ou manifestações patológicas consequentes do uso, operação ou manutenção que possam afetar algum dos aspectos relevantes à vida útil de uma edificação (GOMIDE et al., 2006). As inspeções podem ser classificadas como preventivas e corretivas. A inspeção preventiva é caracterizada por vistorias programadas e periódicas com o objetivo de evitar que as manifestações patológicas adquiram proporções que possam reduzir significativamente o desempenho do subsistema. Por outro lado, a inspeção corretiva caracteriza-se pela verificação do subsistema após a observação da manifestação patológica.

Segundo Barth (2017) a obsolescência dos edifícios é muitas vezes caracterizada pela falta de flexibilidade nas estruturas, nos elementos de suporte ou ainda nos serviços que tendem a alterar sucessivamente o uso dos edifícios ao longo do tempo. O autor ainda pontua que a obsolescência resulta no declínio do desempenho dos edifícios por processos físicos que podem ser internos ou diretamente relacionados ao próprio edifício, como a qualidade inicial baixa dos materiais e a degradação física acelerada destes. Os aspectos relativos à obsolescência estão muitas vezes inter-relacionados, o que dificulta a identificação se o processo de deterioração é devido à falta de manutenção, um aspecto comportamental ou se deriva da escolha inadequada do material adotado na fase de projeto.

Segundo Thomsen e Van der Flier (2011), os edifícios são compostos por uma infinidade de elementos e materiais com diferentes ciclos de vida que dificultam a identificação das possíveis causas que podem originar a obsolescência. Com relação as fachadas industrializadas, observa-se que pelo lado interno é comum o emprego de subsistemas rígidos que causam maior dificuldade em possíveis intervenções, como o caso da alvenaria de blocos cerâmicos. Por outro lado, a camada externa destas fachadas caracteriza-se pelo emprego de componentes flexíveis e desmontáveis, que favorecem os processos de intervenção e manutenção. As características relativas à flexibilidade do revestimento externo das fachadas industrializadas com câmara de ar podem ser observadas nas Figuras 18-a e 18-b.

Figura 18 - Revestimento externo das fachadas industrializadas.

a) Sistema de encaixe do revestimento externo. b) Retirada pontual das peças.



Fonte: Tectonica (2003).



Fonte: Tectonica (2003).

As intervenções em subsistemas construtivos com pouca flexibilidade construtiva geram produtos remanescentes com baixa reciclabilidade, que na maioria das vezes se tornam resíduos descartados em aterros. Segundo Barth (2017), diferentemente dos sistemas rígidos, os sistemas flexíveis caracterizam-se pela facilidade de desmontagem, propiciando a separação dos diferentes materiais e sua reciclagem efetiva. Esta desconstrução, quando realizada de modo que os materiais remanescentes possam ser reciclados e reutilizados, contribui para o aumento da sustentabilidade do edifício.

4.2 O CONCEITO DE MANIFESTAÇÃO PATOLÓGICA

Segundo Carrió (1997, p.19), a palavra *patologia* tem sua origem etimológica das palavras ‘*pathos*’, que significa doença, enfermidade, e ‘*logos*’, que significa estudo. Esse autor define patologia construtiva como “a ciência que estuda os problemas construtivos que aparecem no edifício, ou em algumas de suas unidades, depois da execução”. Devido à generalidade do termo ‘*patologia*’, neste estudo serão utilizadas as definições manifestação patológica ou fenômeno patológico para designar as enfermidades levantadas na bibliografia e as observadas nos estudos de caso.

Carrió (1997) define também os termos lesão patológica e causa da lesão. Lesão pode ser definida como uma manifestação observável de um problema construtivo. As lesões podem ser divididas em primárias e

secundárias, sendo esta última, consequência da primeira. O estudo das causas busca identificar a origem do problema, para então poder tratá-lo. De acordo com esse autor as causas podem ser divididas em dois grandes grupos: diretas e indiretas. As causas diretas constituem a origem imediata da manifestação patológica, como por exemplo, esforços mecânicos, agentes atmosféricos, contaminação, entre outros. Por outro lado, as causas indiretas abrangem os erros e os defeitos de projeto e execução, tais como erros de detalhes construtivos, escolha de materiais inadequados, ou ainda, defeitos durante a fabricação e a aplicação destes materiais. A partir da identificação da lesão e sua causa, é possível indicar um diagnóstico da manifestação patológica e propor a correção necessária.

4.2.1 Manifestações patológicas nos revestimentos externos

As manifestações patológicas geradas por infiltração das águas pluviais e insolação direta são as mais frequentes causas da deterioração das fachadas. Nas fachadas industrializadas com câmara de ar, o revestimento externo tem a função de proteção, pois é o subsistema que está diretamente exposto às intempéries. Deste modo, as manifestações patológicas como fissuras, rupturas, destacamento das placas, diferenças de tonalidade e manchas estão entre as principais anomalias que afetam o revestimento externo. Além dessas manifestações patológicas, existem outras específicas, que variam de acordo com as propriedades físicas, químicas ou mineralógicas de cada material utilizado no revestimento externo. De acordo com D' Orazio et al. (2013), a depender da frequência das operações de manutenção, as fissuras e as rupturas dos painéis podem se tornar os defeitos mais perigosos e onerosos para recuperação das fachadas industrializadas.

4.2.1.1 Revestimentos pétreos

Segundo Avellaneda e Marzo (1995), boa parte dos materiais pétreos utilizados na execução das fachadas apresenta um comportamento característico frente às precipitações, absorvendo rapidamente a água por capilaridade e eliminando-a, ao contrário, de maneira muito lenta por meio da evaporação. A retenção da água nos poros da pedra pode afetar a durabilidade do revestimento de duas formas: eflorescências e rupturas por congelamento. A água tem o poder de dissolver as substâncias constituintes da pedra transformando-as em sais que cristalizam quando transportados para a superfície, dando origem às eflorescências. Em

climas onde o frio é severo, as baixas temperaturas podem provocar o congelamento da água acumulada nos capilares, provocando desagregação e ruptura da pedra.

De acordo com Gutiérrez, et al. (2011), a argila é geralmente o menor componente da composição das pedras usadas em fachadas de edifícios, podendo ser encontrada como componentes primários em algumas pedras sedimentares, tais como as calcárias. As partículas de argila quando em contato com a água apresentam variações dimensionais e tensões internas que podem levar à ruptura do material. A Tabela 2 apresenta os índices aproximados de porosidade das principais pedras utilizadas como revestimento externo de fachada no Brasil.

Tabela 1 - Porosidade dos revestimentos pétreos.

Pedra	Porosidade (%)
Granito	0,5 a 1,5 % ⁽¹⁾
Mármore	5 % ⁽¹⁾
Calcário	5 a 12 % ⁽¹⁾
Ardósia	0,5 a 1,5 % ⁽²⁾
Argila	45 a 50 % ⁽¹⁾

Fontes:

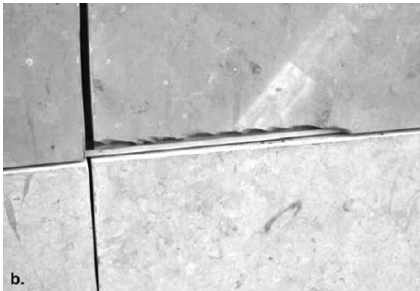
⁽¹⁾ Propriedades índice e classificação das rochas. Faculdade de Engenharia do Porto (FEUP).

⁽²⁾ Ensaios realizados pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT S/A para o Catálogo de Rochas Ornamentais do Brasil – ABIROCHAS, 2002.

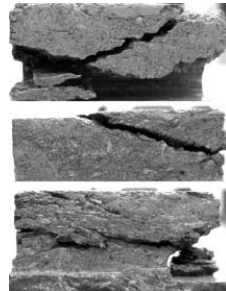
A grande porcentagem de porosidade do material associada a ação de agentes externos agressivos carregados pelas chuvas e ventos, tais como poluentes emitidos por veículos e indústrias, pode levar ao aparecimento de manchas e degradações que comprometem tanto a estética como a durabilidade das fachadas. Gutiérrez et al. (2011) afirmam que em construções com painéis de pedra de espessura entre 3 a 4 cm, a presença de rachaduras profundas e a delaminação podem levar rapidamente ao colapso do painel e perdas na estabilidade do sistema, conforme mostram as Figuras 19-a, 19-b, 19-c e 19-d.

Figura 19 - Manifestações patológicas em revestimento pétreos.

a) Destacamento ao longo do perfil b) Delaminação horizontal.



Fonte: Gutiérrez, et al. (2011).



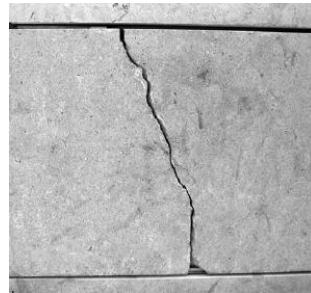
Fonte: Gutiérrez, et al. (2011).

c) Destacamento entorno no inserte de ancoragem.



Fonte: Gutiérrez, et al. (2011).

d) Fissuras e rupturas transversais.



Fonte: Gutiérrez, et al. (2011).

4.2.1.2 Revestimentos cerâmicos

Segundo Neto e Brito (2012), estudos baseados na inspeção visual de edifícios localizados em Portugal e na Itália identificaram que o desprendimento e a fissuração dos painéis de fachada devido às ações ambientais estão entre as maiores causas de manifestações patológicas em revestimentos cerâmicos de fachadas industrializadas com câmara de ar. As observações realizadas nos edifícios da Itália mostraram que as fissuras e as rupturas nas placas cerâmicas destas fachadas podem alcançar até 25 % dos danos totais. Esse estudo também identificou manifestações patológicas como manchas, movimento dos painéis, mudança de cor, eflorescência e crescimento de vegetais nas fachadas.

Yakub et al. (2012) analisaram a resistência à fratura de placas de cerâmica cozida com uma porosidade de 36 a 47 % constatando que

resistência à fratura diminui quando a porosidade aumenta. D’Orazio et al. (2014) estudaram a relação entre a resistência à fratura e a porosidade de revestimentos cerâmicos utilizados em fachadas industrializadas com câmara de ar e identificaram que a resistência à fratura está fortemente relacionada com o tamanho dos poros e com a porosidade total. Segundo estes autores, é possível aumentar da resistência mecânica dos materiais de revestimentos cerâmicos reduzindo a porosidade total ou tamanho dos poros durante os processos de produção das placas. As Figuras 20-a, 20-b e 20-c apresentam os tipos de manifestações patológicas encontradas nos painéis de cerâmica extrudada.

Figura 20 - Rupturas placas de revestimento em cerâmica extrudada.

a) Fratura no cantos.



Fonte: D’ Orazio et al. (2014).

b) Fratura no fixador.



Fonte: D’ Orazio et al. (2014).

c) Ruptura da peça.



Fonte: D’ Orazio et al. (2014).

Pode-se observar que em alguns casos as rupturas ocorreram nos pontos de encaixe com a subestrutura situados nos locais de maior fragilidade das peças devido às reentrâncias e entalhes para ancoragem das placas.

4.2.1.3 Revestimentos fenólicos

Segundo Albuquerque (2013), as principais manifestações patológicas que atingem os revestimentos fenólicos são delaminação da película protetora, despigmentação de cor e aparecimento manchas, desprendimento dos fixadores (rebites) e ruptura de peças, conforme ilustram as Figuras 21-a, 21-b, 21-c e 21-d.

Figura 21 - Principais manifestações patológicas nos painéis fenólicos.

a) Descolamento da película de proteção.



Fonte: Albuquerque (2013).

b) Desprendimento do rebite painel.



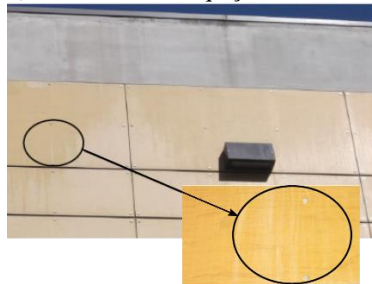
Fonte: Albuquerque (2013).

c) Fissuras e rachaduras.



Fonte: Albuquerque (2013).

d) Manchas esbranquiçadas.

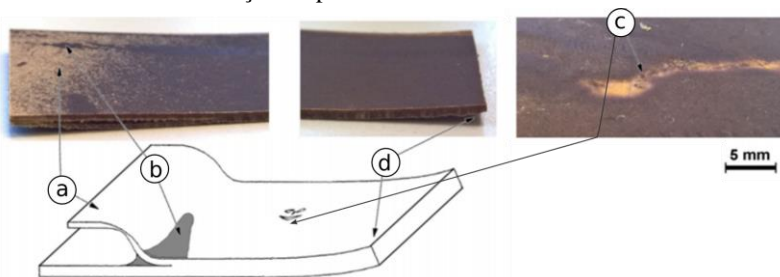


Fonte: Albuquerque (2013).

De acordo com Albuquerque, o descolamento da película protetiva se deve à intensidade de radiação solar. Deste modo, os painéis fenólicos para uso em fachadas com câmara de ar devem ter película com proteção contra os raios ultravioletas. Quanto às rupturas dos painéis fenólicos, o autor afirma que estas são causadas pela tensão interna e podem ser prevenidas por meio do correto dimensionamento do tipo de painel e da disposição dos fixadores.

Thébault et al. (2017) elencaram quatro defeitos típicos associados a fase de fabricação dos laminados de alto desempenho, que são apresentados na Figura 22: (a) problemas de fluxo de resina, (b) regiões pobres em resina; regiões ricas em resina; (c) vazios e (d) problemas de encurvamento da placa. A impregnação incompleta ou heterogênea da resina fenol formaldeído pode causar perda da resistência mecânica e a delaminação do painel.

Figura 22 - Principais manifestações patológicas nos painéis fenólicos associadas a fabricação do produto.



Fonte: Thébault et al. (2017).

Outra questão importante é a previsão de folgas e isolantes nos pontos de fixação dos rebites com a vedação interna. A fixação de painéis fenólicos é geralmente por meio de rebites, sendo um ponto denominado fixo, pois garante o posicionamento da peça no local desejado, e os demais pontos são denominados deslizantes, pois possuem uma folga que permite que a placa movimente-se quando exposta aos agentes externos. Observa-se também, que estes pontos de conexão funcionam como pontes térmicas, uma vez que favorecem a transmissão do calor do ambiente externo para o ambiente interno. Deste modo, mostra-se necessário a aplicação de materiais isolantes com a função de atenuar os de índices de transmitância térmica nestas regiões.

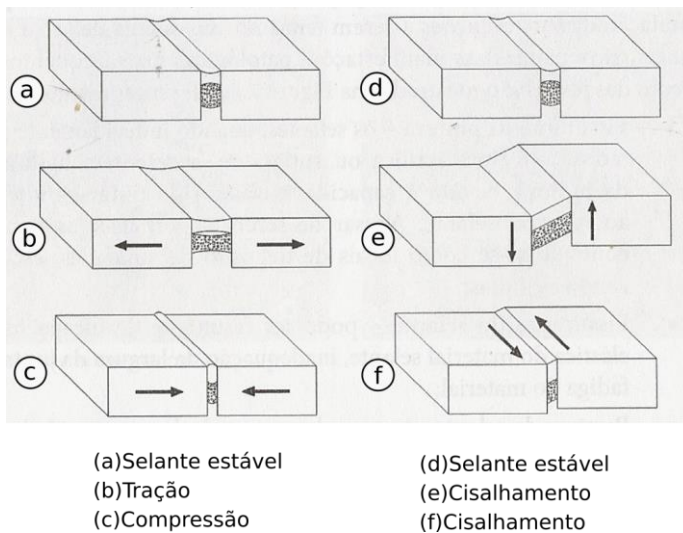
4.2.2 Manifestações patológicas nas juntas seladas

Assim como os revestimentos externos, os selantes também sofrem desgaste em função das intempéries climáticas. A durabilidade dos selantes pode ser menor que a das fachadas devido aos constantes movimentos e degradações físicas e químicas observadas nos selantes. Segundo Barth e Vefago (2016), os selantes têm a propriedade de se deformarem com as variações de temperatura e umidade, além da

deformação induzida pelo movimento dos painéis que conformam as juntas.

A durabilidade dos selantes está diretamente ligada às variações do clima, às características mecânicas dos painéis e às propriedades químicas do material selante. Segundo Barth e Vefago (2016), a durabilidade dos selantes pode variar segundo alguns fatores, tais como a exposição à radiação solar, aos raios ultravioletas, aos poluentes atmosféricos e as perdas das características do selante em função do calor. Os autores ainda pontuam que dimensões das juntas que excedam a capacidade elástica do selante e a instalação inadequada dos componentes da junta selada podem interferir no seu desempenho. Segundo estes autores, as juntas seladas podem estar submetidas aos esforços de tração, compressão e de cisalhamento, ou ainda, à combinação destes, conforme apresenta a Figura 23.

Figura 23 - Movimentação das juntas.

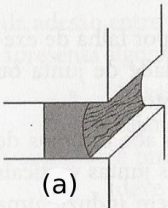
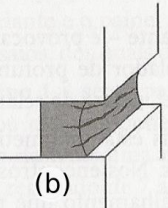
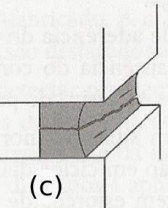
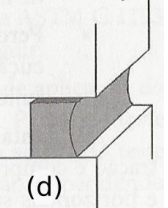


Fonte: Woolman (1994, apud Barth e Vefago, 2016).

Outro ponto importante com relação a aplicação do selantes diz respeito à coloração e à compatibilidade entre o material selante e os painéis externos. Segundo Barth e Vefago (2016), revestimentos mais escuros podem gerar temperaturas superficiais mais elevadas, acelerando o tempo de cura do selante e consequentemente resultando em um tempo mais reduzido para aplicação do produto na fachada. Essa condição pode

ser amenizada com a aplicação de selantes em dias nublados. Com relação à compatibilidade, esses autores observam que negligenciá-la pode gerar manifestações patológicas como a perda de aderência do material selante à placa, assim como mudança na coloração em função de sujidades e poluentes decorrentes do transporte, do estoque e de recortes das peças. O Quadro 4 apresenta as figuras das manifestações patológicas mais frequentes em juntas seladas encontradas na bibliografia, bem como a explicação de cada fenômeno.

Quadro 4 - Manifestações patológicas mais frequentes nas juntas seladas.

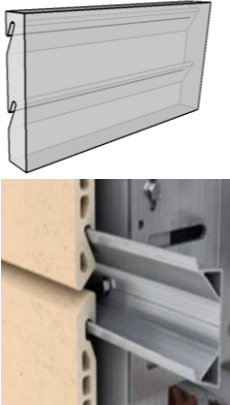

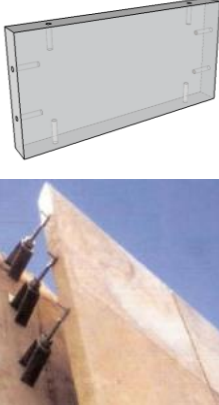
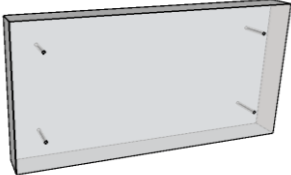

 <p>(a)</p>	 <p>(b)</p>	 <p>(c)</p>	 <p>(d)</p>
<p>(a) Fissuração da pinturas</p>	<p>Os selantes, quando indevidamente pintados com tinta acrílica ou antigrafito, apresentam fissuração da pintura, devido à capacidade elástica da tinta ser inferior ao material selante. Apesar de serem superficiais, as fissuras configuram-se como locais de depósito de sujidades, escurecendo as juntas</p>		
<p>(b) Fissuração do selante</p>	<p>Pode ser resultante de incapacidade elástica do material selante, inadequação da largura da junta ou fadiga do material.</p>		
<p>(c) Ruptura do selante</p>	<p>Trata-se de uma perda da estanqueidade que pode ser provocada pela profundidade insuficiente do material selante, incapacidade elástica do material ou estágio avançado de fadiga.</p>		
<p>(d) Perda de aderência do selante</p>	<p>É provocada por falha de execução, ausência de controlador de profundidade de junta ou sujidade excessiva do painel na fase do selamento.</p>		

Fonte: Adaptado pela autora de Barth e Vefago (2016).

4.2.3 Manifestações patológicas nos fixadores

Os pontos fixação da subestrutura metálica ou insertes às placas externas caracterizam-se como as regiões de maior fragilidade, em especial nos tipos de peças mais pesadas como as pétreas, cerâmicas e cimentícias. Reentrâncias, entalhes e furos que atravessam toda a placa configuram-se como pontos mais propensos às fissuras, rupturas, acúmulo e entrada de agentes agressores, tais como microrganismos, sujidades entre outros. O Quadro 5 apresenta alguns tipos de placas de revestimentos e os principais padrões de furação realizados para acoplar os fixadores.

Quadro 5 - Tipos de conexão entre fixador e placas de revestimento.

a) Reentrâncias lineares.	b) Entalhes pontuais e lineares.	c) Furos verticais e horizontais.
 <p>Diagrama e fotografia de uma placa com reentrâncias lineares. O diagrama mostra uma placa com uma ranhura profunda ao longo de sua borda. A fotografia mostra uma seção transversal da placa com uma ranhura profunda e um fixador metálico instalado nela.</p>	 <p>Diagrama e fotografia de uma placa com entalhes pontuais e lineares. O diagrama mostra uma placa com uma ranhura profunda e um entalhe pontual. A fotografia mostra uma seção transversal da placa com uma ranhura profunda e um entalhe pontual, com um fixador metálico instalado.</p>	 <p>Diagrama e fotografia de uma placa com furos verticais e horizontais. O diagrama mostra uma placa com furos verticais e horizontais. A fotografia mostra uma placa com furos verticais e horizontais, com um fixador metálico instalado.</p>
Fonte: Favegrup (2017).	Fonte: Dpsfix (2017).	Fonte: Dpsfix (2017).
d) Furos que atravessam as peças (rebites).		
 <p>Diagrama de uma placa com furos que atravessam as peças (rebites). O diagrama mostra uma placa com furos que atravessam a placa, com rebites instalados.</p>		 <p>Fotografia de uma placa com furos que atravessam as peças (rebites). A fotografia mostra uma placa com furos que atravessam a placa, com rebites instalados.</p>
Fonte: Fundermax (2017)		Fonte: Elaborado pela autora (2018).

A maioria dos fixadores são confeccionados com metais. A qualidade do material utilizado para a fabricação é um ponto relevante, pois a degradação das placas pela ação dos agentes climáticos pode gerar diversos problemas. Outros fatores que acarretam o desprendimento das placas externas são o dimensionamento incorreto das ancoragens e a fixação das placas em locais inadequados.

O destacamento das peças nos pontos de fixação, seja pela ação dos agentes climáticos ou pelo mau dimensionamento do sistema, resulta em prejuízos financeiros e até mesmo possíveis acidentes graves, caso as placas desprendidas venham atingir pessoas. Os danos financeiros podem resultar na perda das placas, quando estas se rompem por inteiro, ou ainda em danos generalizados que comprometem a integridade dos fixadores e dos elementos que compõem as fachadas.

Carramiñana et al. (2011) estudaram os fixadores associados aos revestimentos pétreos e constataram que a escolha do sistema de ancoragem deve levar em conta não apenas as cargas que serão transmitidas, mas também as características de resistência do elemento em que será fixado o sistema. Para os autores, os fixadores devem permitir alguns ajustes de distância entre as paredes e as placas, resistindo aos esforços de tração e compressão, assim como à corrosão. Devem ser estáveis com relação à ação da gravidade, do vento, do impacto gerado por objetos, das vibrações e movimentos sísmicos e da ação do fogo em caso de incêndio. A Figura 24 mostra o teste de destravamento da cavilha em uma placa pétrea realizado pelos autores.

O sistema de fixação do tipo pontual exige atenção redobrada quanto ao dimensionamento e quanto à ancoragem na parede, tendo em vista que a colocação dos insertes na vedação interna deve suportar o peso do revestimento ancorado. Por outro lado, os sistemas de fixação com subestrutura não exigem a fixação de todos os pontos em uma estrutura portante. Neste último caso, as cantoneiras de sustentação devem ser em uma região portante da vedação interna (vigas e pilares), pois são responsáveis por suportar o peso próprio da estrutura de ancoragem e do revestimento externo, enquanto que os pontos em que são fixadas as cantoneiras de retenção podem ser fixados diretamente na parede, pois possuem apenas a função de manter o revestimento externo estável contra a ação dos ventos. Segundo Carramiñana et al. (2011), as paredes de alvenaria de blocos cerâmicos não fornecem elementos suficientemente homogêneos e resistentes para as tensões transmitidas pelos fixadores, sendo por isso considerados elementos desaconselhados para uso como uma estrutura de ancoragem do revestimento das fachadas com câmara de ar.

A existência de uma folga dimensional entre os fixadores e as vedações de ancoragem possibilita a movimentação dos subsistemas. As cantoneiras são fixadas em furos oblongos, de forma que um ponto seja fixo e os demais deslizantes, conforme ilustra a Figura 25. Os pontos deslizantes possuem folga dimensional de 1 a 1,5 mm permitindo a movimentação do sistema frente a ação de ventos, abalos sísmicos, entre outros agentes.

Figura 24 - Destacamento da cavilha.



Fonte: Carramiñana et al. (2011).

Figura 25 - Cantoneira de sustentação.



Fonte: Elaborado pela autora (2017).

4.3 MÉTODOS DE INSPEÇÃO DE FACHADAS

A avaliação das condições das vedações verticais pode ser realizada por métodos que podem ser destrutivos ou não-destrutivos. Os métodos destrutivos envolvem ensaios realizados em amostras removidas da fachada, enquanto que os métodos não-destrutivos são realizados com instrumentos específicos que não agridem a fachada analisada.

Dentre as técnicas utilizadas para inspecionar os edifícios, a visual caracteriza-se como a mais difundida devido ao seu caráter não-destrutivo, simplicidade de execução e imediatez dos resultados. Lichtenstein (1985) pontua que para aplicação desta técnica, mostra-se essencial que o pesquisador utilize os cinco sentidos, em especial a visão, aliados aos equipamentos disponíveis. Para esse autor, os equipamentos, quando bem utilizados, funcionam como uma espécie de prolongamento da capacidade do técnico de apreender a realidade.

No que tange os equipamentos, inúmeros são os instrumentos tecnológicos que podem ser utilizados para auxiliar às inspeções visuais, tais como o uso da máquinas fotográficas tradicionais e o uso de instrumentos específicos, como as câmeras termográficas, os lasers, os

escanners e atualmente os Veículos Aéreos Não Tripulados, VANT, também conhecidos como drones (ESCHMANN et al., 2012).

De acordo com Carrió (1997), a análise dos fenômenos patológicos deve ser metódica e exaustiva de modo a gerar conclusões que permitam elaborar uma proposta de atuação e reparação. De acordo com esse autor, esta análise envolve as seguintes etapas: (a) observação; (b) tomada de dados; (c) diagnóstico; e (d) proposta de atuação. De outro modo, Lichtenstein (1985) divide a análise dos fenômenos patológicos em três etapas: (a) levantamento de subsídios; b) diagnóstico da situação; e c) definição de conduta. O Quadro 6 sintetiza os métodos de inspeção elaborados por esses dois autores.

Quadro 6 - Métodos de inspeção de manifestações patológicas.

Autor	Etapas	Descrição
Carrió (1997)	Observação	Identificar e especificar as manifestações que afetam cada lesão analisada;
	Tomada de dados	Visitar a edificação com intuito realizar ensaios com instrumentos específicos em cada lesão detectada e eegistar de modo gráfico as lesões e seus sintomas;
	Diagnóstico	Dar um parecer definitivo sobre a manifestação patológica e seu processo de formação;
	Proposta de atuação	Realizar uma proposta concreta de atuação que que contemple procedimentos de reparação e de manutenção.
Lichtenstein (1985)	Levantamento de subsídios	Realizar vistorias no local; levantar o histórico do problema e do edifício; realizar análises e ensaios complementares;
	Diagnóstico da situação	Reduzir as incertezas iniciais pelo progressivo levantamento de dados;
	Definição de conduta	Prescrever o trabalho a ser executado para resolver o problema.

Fonte: Adaptado pela autora de Lichtenstein (1985) e Carrió (1997).

Observa-se que os métodos descritos acima são compostos por etapas que abrangem desde a observação da manifestação patológica até a definição da conduta de atuação, no qual é prescrito o trabalho que deve realizado pelo profissional da área de patologias para solucionar o problema detectado. No entanto, a fim de concentrar os estudos no objetivo desta dissertação, optou-se pelo desdobramento baseado na identificação das manifestações patológicas e definição de um diagnóstico (suas prováveis causas), sem efetuar uma proposta de atuação sobre a anomalia.

4.3.1 Métodos de inspeção de fachadas auxiliados por ferramentas tecnológicas

Segundo Barth e Vefago (2016), para o caso de fachadas com câmara de ar, existem ensaios específicos para determinar as características internas da vedação. Segundo esses autores, neste tipo de vedação os insertes e fixadores, que ficam ocultos após a aplicação do revestimento externo, tornam difícil a inspeção dos componentes internos. A inspeção das regiões ocultas destes tipos de fechamento pode ser realizada por meio de aparelhos como endoscópio do tipo rígido ou flexível, equipado em seu interior com fibra ótica, que ilumina e transmite a imagem de um extremo ao outro. Com este aparelho é possível a inspeção interna sem que haja a necessidade de retirar o revestimento externo. As Figuras 26-a e 26-b ilustram o endoscópio do tipo rígido e flexível, respectivamente.

Figura 26 - Instrumentos de inspeção em regiões ocultas das fachadas com câmara de ar.

a) Endoscópio de cabo rígido.



Fonte: PCE instrumentos (2017).

b) Endoscópio de cabo flexível.



Fonte: Teslong (2017).

A verticalização das fachadas cria locais de difícil acesso que requerem o auxílio de dispositivos para realização das inspeções e posterior manutenção, como andaimes, cintos paraquedistas e guindastes. Segundo Guia e Pereira (2016), inspecionar as fachadas envolve uma metodologia de deslocamento vertical, assim, a robótica móvel apresenta-se como um método que pode ser utilizado com sucesso na inspeção de fachadas, devido a sua capacidade de deslocamento vertical, horizontal e oblíquo, bem como a capacidade de portar uma câmera fotográfica.

Neste contexto, os drones estão ganhando espaço como ferramenta de auxílio na identificação de manifestações patológicas em locais de difícil acesso nas edificações. Recentemente, a aplicação dos VANT

como ferramenta de auxílio às inspeções de fachadas ganhou força e credibilidade no mercado internacional com a publicação do ‘Guia de inspeção visual em fachadas de edifícios utilizando drones’ (WK52572) pela *American Society for Testing & Materials - ASTM*. Segundo Petermann (2016), o guia objetiva normalizar e melhorar a qualidade da aplicação dos drones como ferramentas de inspeção de fachadas.

Com relação as vantagens da aplicação dos drones como ferramenta de inspeção, Yasin et al. (2016) pontuam que sua aplicação permite economia de tempo de inspeção, redução do número de pessoas envolvidas, economia com o aluguel de ferramentas especiais, como andaimes e guindastes, diminuição dos riscos em altura, além do que proporciona confiabilidade dos dados coletados. Por outro lado, esses autores pontuam alguns requisitos necessários e que devem ser atendidos para aplicação de drones como ferramentas de auxílio na identificação de manifestações patológicas: conhecimento e prática por parte do operador, condições climáticas favoráveis, treinamento técnico e conhecimento de normas e regulamentos aplicados para os VANT, adoção medidas de segurança para o público, assim como o conhecimento do método de inspeção.

Neste sentido, Eschmann et al. (2012) elaboraram um método de inspeção de fachadas auxiliada por drones. Este método é dividido em duas etapas: Aquisição dos dados e Processamento digital. A aquisição de dados envolve a alocação da varredura, horizontal ou vertical, e a aquisição das imagens, seja por vídeo ou fotografia. As fotografias podem ser obtidas por disparo manual ou automático (três fotos por segundo). O processamento digital abrange o pós-vo. Esta etapa envolve a reconstrução digital da fachada por meio das fotos. Para realização desta etapa, faz-se necessário a aplicação de softwares específicos que possibilitam a reconstrução das fachadas por meio de técnicas de mosaicos ou costura de imagens.

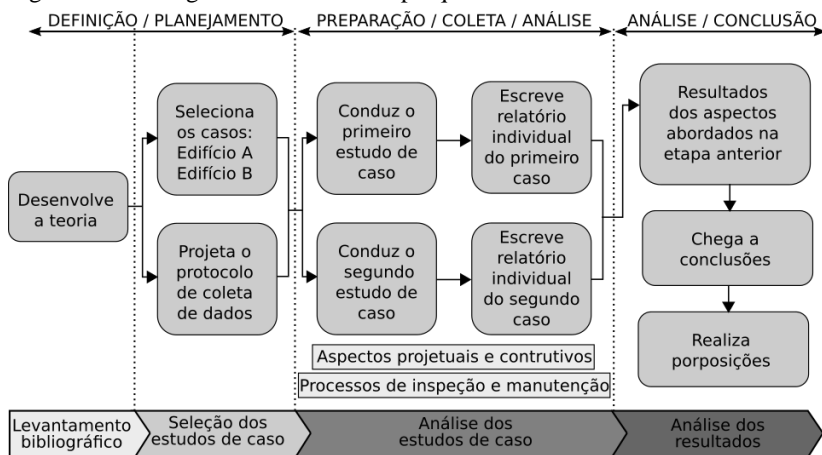
Observa-se que tanto a tecnologia do VANT, bem como sua aplicação na área da construção civil são recentes, porém já é possível encontrar estudos na literatura testaram a aplicação dos drones como ferramenta de inspeção de fachadas. No entanto mostra-se necessário realizar pesquisas que aperfeiçoem estes métodos desenvolvidos.

5 MATERIAIS E MÉTODO

Segundo Yin (2001), os estudos de caso podem ser utilizados como ferramenta de pesquisa quando se pretende conhecer as características de eventos. Para esse autor, os estudos de caso são a estratégia metodológica mais escolhida quando se busca responder questões do tipo “como” e “por quê” dos eventos pesquisados.

Para esta pesquisa, optou-se pela utilização de um método de caráter exploratório e enfoque qualitativo baseado no método proposto por Yin (2001), o qual foi realizado por meio de estudos de caso e cujas etapas encontram-se descritas na Figura 27.

Figura 27 - Fluxograma do método da pesquisa.



Fonte: Adaptado pela autora de COSMOS Corporation *apud* Yin (2001).

5.1 LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO

Esta etapa abrangeu a realização de uma revisão teórica referente aos aspectos projetuais e construtivos dos subsistemas que compõem as fachadas industrializadas com câmara de ar, bem como dos processos de inspeção e manutenção. Para tanto, foram utilizados livros, artigos técnicos, teses e dissertações de países em que este subsistema encontra-se mais difundido.

Primeiramente, foi criado um panorama sobre o sistemas construtivos que podem ser considerados os precursores das atuais fachadas industrializadas com câmara de ar, para então apresentar a atual composição construtiva deste tipo de vedação externa. Nesta etapa,

também foram apresentadas as características inerentes as possíveis configurações de câmara de ar.

Com relação aos aspectos projetuais e construtivos, foram levantadas informações técnicas referentes aos múltiplos subsistemas das fachadas industrializadas: vedação interna, isolamento térmico, revestimento externo, juntas e sistemas de fixação.

- a) Subsistema de vedação interna: apresentação das características técnicas do subsistema mais difundido no Brasil;
- b) Subsistema isolante térmico: apresentação das características técnicas e forma de aplicação dos isolantes térmicos;
- c) Subsistema de revestimento externo: apresentação dos principais materiais aplicados como revestimentos externo;
- d) Juntas: apresentação das características técnicas das configurações de juntas que o subsistema possibilita;
- e) Subestrutura intermediária e fixadores: apresentação dos tipos de fixação mecânica e química utilizados para ancoragem do revestimento externo; e levantamento de pré-requisitos para composição 'sistema de fixação e fixadores' com 'materiais constituintes dos revestimentos externos'.

Com relação aos processos de inspeção e manutenção, primeiramente, foi construída uma relação conceitual referente a finalidade das técnicas de inspeção e manutenção. Em seguida, foram realizadas pesquisas que buscaram identificar as manifestações patológicas frequentes do revestimento externo, juntas e fixadores. E por último, realizou-se o levantamento bibliográfico referente aos métodos de inspeção de manifestações patológicas, assim como das ferramentas tecnológicas que podem ser aplicadas para auxiliar estes métodos.

5.2 SELEÇÃO DOS ESTUDOS DE CASO

Nesta etapa foram elaborados de critérios para seleção das edificações objeto de estudo. Para tanto elencaram-se quatro critérios que devem ser atendidos.

- a) Ser uma obra finalizada e do qual seja possível realizar visitas técnicas e acessar o projeto arquitetônico e demais documentos relacionados com a obra.
- b) Apresentar área de fachada industrializada com no mínimo 25 % do total de superfície de fachada do edifício, uma vez que este quantitativo se mostrou significativo para realização das análises referentes aos aspectos projetuais, construtivos, bem como para realização das inspeções;

- c) Localizar-se em cidades litorâneas do estado de Santa Catarina para facilitar o acesso e otimizar o tempo da pesquisa;
- d) Ser construída a partir do ano 2000, por ser o período em que se ampliou a inserção deste produto no país.

5.3 ANÁLISE DOS ESTUDOS DE CASO

Nesta etapa foram realizadas análises referentes aos aspectos projetuais e construtivos e os processos de inspeção e manutenção deste subsistema construtivo seguindo o protocolo pré-estabelecido e descrito abaixo.

5.3.1 Análise dos aspectos projetuais e construtivos

Definidas as edificações estudo de caso e de posse dos projetos arquitetônico e de fachada, primeiramente foi realizada a caracterização dos aspectos projetuais e construtivos seguindo os seguintes tópicos:

a) Estudo de caso: elaboração da ficha técnica da edificação: endereço, autores dos projetos arquitetônico, executivo e de fachadas, quando houver; área total construída; área de fachada industrializada; e ano de construção.

b) Aspectos projetuais e construtivos da edificação: caracterização do edifício por meio da apresentação das plantas baixas, seções e fotografias atuais e da época de execução da fachada.

c) Aspectos projetuais e construtivos das fachadas: caracterização dos subsistemas construtivos e elementos de fachada que compõem as vedações verticais da edificação.

d) Aspectos projetuais da fachada industrializada: paginação e catalogação dos painéis de fachada industrializada separando-os em famílias e tipos, em que as famílias correspondem aos painéis com a mesma geometria e materiais constituintes e os tipos correspondem aos painéis que possuem a mesma variação dimensional.

e) Aspectos construtivos da fachada industrializada: apresentação dos detalhes construtivos em perspectiva, planta e seção transversal dos subsistemas que compõem a fachada analisada. Apresentação das plantas e seções dos arremates superiores, inferiores, das juntas, das janelas e do encontro entre os painéis.

5.3.2 Análise dos processos de inspeção e manutenção

Nesta etapa foram feitas análises dos manuais e catálogos dos fabricantes dos revestimentos externos aplicados nas edificações com o objetivo de verificar a existência de procedimentos e prazos para execução de manutenção. A partir dos métodos e ferramentas tecnológicas levantados na bibliografia, foi elaborado o método de inspeção para ser testado e aplicado das fachadas dos estudos de caso.

Para otimização do trabalho, a inspeção foi restringida à parte externa do revestimento com análise individual das fotografias. Os equipamentos utilizados na inspeção estão descritos nas Figuras 28 e 29. Para a inspeção utilizou-se o Drone *Phantom 3* com câmera fotográfica de resolução de 12 megapixels acoplada e um celular *smartphone*. Observa-se que a câmera do drone garante rotação máxima de 180° entre a parte frontal e posterior do equipamento.

Figura 28 - Drone *Phantom 3* - Dji. Figura 29 - Rotação do equipamento.



Fonte: A autora (2017).



Fonte: Adaptado pela autora de Dji (2017).

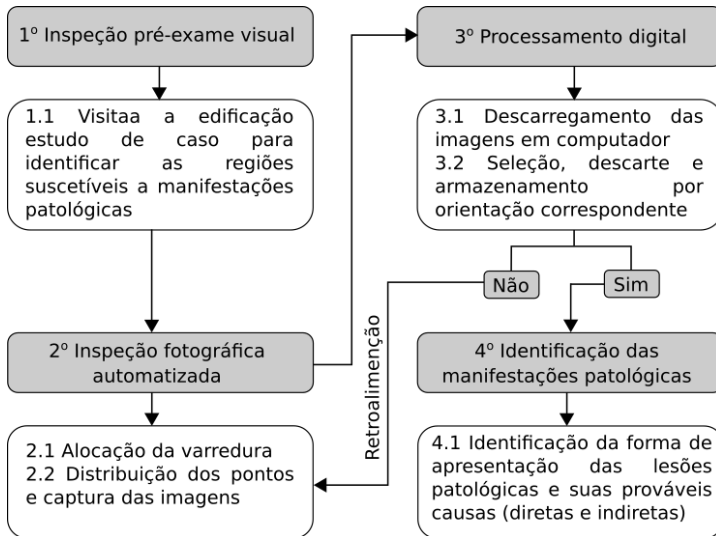
A Figura 30 apresenta o método de inspeção aplicado nos estudos de caso. A primeira etapa denominada 'Inspeção pré-exame visual', consistiu em visitas técnicas à edificação selecionada para a identificação das regiões suscetíveis a manifestações patológicas. Nesta etapa, foi realizada a apuração visual das manifestações patológicas existentes, as quais serviram de subsídio para definição da viabilidade de implementação das próximas etapas do método.

A segunda etapa, 'Inspeção fotográfica automatizada', consistiu na distribuição dos pontos de captura das fotografias e a alocação da varredura de modo vertical ou horizontal. Em seguida, foi executado o registro fotográfico da fachada com o Drone *Phantom 3*. O VANT foi operado por um técnico qualificado e orientado pelo profissional responsável pela inspeção. Entre a segunda e a terceira etapa, foi prevista uma fase intermediária denominada retroalimentação, que pode ser

aplicada nos casos em que as fotografias obtidas são pouco esclarecedoras ou insuficientes para identificação das manifestações patológicas.

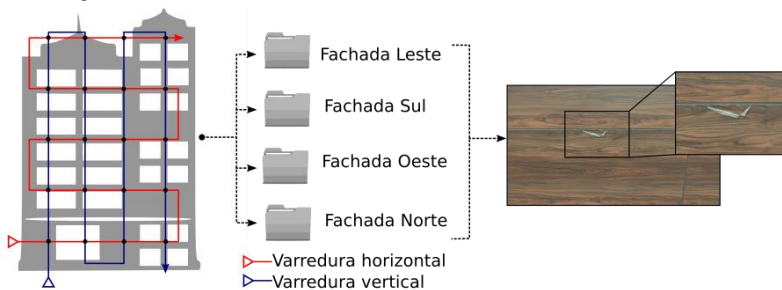
A terceira etapa englobou o ‘Processamento digital’, que consistiu no descarregamento das fotos da câmara, seguido da seleção, descarte e arquivamento sistematizado por fachada correspondente. Por fim, a quarta etapa abrangeu a ‘Identificação das manifestações patológicas’ por meio da análise individual e minuciosa das fotos visando detectar as anomalias e sua forma de apresentação. A Figura 31 sintetiza a segunda, terceira e quarta etapa.

Figura 30 - Método de Inspeção.



Fonte: Adaptado pela autora de Eschmann et al. (2012)

Figura 31 - Alocação da varredura, distribuição dos pontos e arquivamento das imagens.



Fonte: Elaborado pela autora (2017).

5.4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Esta etapa abrangeu a apresentação sistematizada das informações obtidas na etapa ‘Análise dos estudos de caso’. Para tanto foram utilizados quadros e tabelas com objetivo de identificar as diferenças e as similaridades com relação aos aspectos abordados. Deste modo os resultados foram divididos em:

- a) Resultados quanto aos aspectos projetuais e construtivos;
- b) Resultados quanto aos processo de inspeção e manutenção;
- c) Resultados quanto ao método de inspeção.

Os resultados referentes aos aspectos projetuais e construtivos foram apresentados por meio de quadros comparativos que sintetizaram as características técnicas dos múltiplos subsistemas que compõem as fachadas analisadas, tais como espessuras, dimensões, materiais, sistema de fixação, entre outros.

Os resultados referentes aos processo de inspeção e manutenção foram apresentados por meio de quadros específicos para cada edificação. Estes quadros composto por itens que sintetizam as manifestações patológicas quanto à sua forma de apresentação, prováveis causas e orientação de fachada recorrente. Com relação as prováveis causas, foi adota a divisão em causas de origem direta e indireta.

Por fim, os resultados referentes ao método de inspeção proposto abordaram análises relativas das particularidades encontradas em cada estudo de caso. A síntese destas especificidades permitiram traçar proposições para aperfeiçoamento do método.

6 ESTUDOS DE CASO

Neste capítulo são apresentadas as análises dos estudos de caso seguindo o método desenvolvido para esta pesquisa. As duas obras selecionadas estão localizadas no litoral de Santa Catarina, sendo uma em Itajaí, cidade litorânea localizada a 70 quilômetros da capital Florianópolis, e a outra em São José, região metropolitana da capital.

6.1 ESTUDO DE CASO A: EDIFÍCIO DE ESCRITÓRIOS EM ITAJAÍ

A primeira obra selecionada para análise é um edifício de escritórios situado na cidade de Itajaí. Os dados técnicos do projeto estão descritos no Quadro 7.

Quadro 7 - Dados técnicos do estudo de caso A.

	Projeto arquitetônico	Arbos Arquitetura
	Projeto de fachada	Formica®
	Revestimento externo	Laminado Fenólico
	Área construída	2787,14 m ²
	Área de fachada industrializada	501,82 m ²
Localização: Itajaí - SC	Ano de construção	2009 - 2011

Fonte: Elaborado pela autora (2018).

6.1.1 Aspectos projetuais e construtivos da edificação

O edifício de médio porte é sede uma empresa prestadora de serviços de exportação e importação, a qual possui mais nove escritórios distribuídos no país. Esta empresa conta com 198 funcionários, sendo que deste total, 148 estão alocados no escritório localizado na cidade de Itajaí. Observa-se nas Figuras 32 e 33, que o edifício se difere dos projetos comumente encontrados no setor corporativo, em que o uso do vidro nas fachadas prevalece sobre os demais materiais. Cerca de 29 % da fachada da edificação é composta por fachada industrializada com câmara de ar revestida por placas de laminado fenólico. Os locais com pele de vidro são protegidos da incidência solar direta por meio de brises. A cobertura é composta por telhado verde e telha sanduíche com sistema de captação e armazenamento de água das chuvas para irrigar o telhado verde. O entorno conta com áreas de jardim e revestimento de seixo rolado que permitem a permeabilidade das águas pluviais.

Figura 32 - Vista superior.



Fonte: A autora (2017).

Figura 33 - Vista superior.



Fonte: Hillmann (2017).

Entre 2009 e 2011, o edifício passou por uma reforma de ampliação, ganhando um novo bloco conectado ao antigo e mais um pavimento. A Figura 34 apresenta a edificação antes da reforma e a Figura 35 apresenta a edificação após concluída a reforma.

Figura 34 - Edifício antes da reforma.



Fonte: Mafra (2009).

Figura 35 - Edifício após a reforma.



Fonte: A autora (2017).

As Figuras 36, 37, 38, 39 e 40 apresentam as plantas baixas dos pavimentos da edificação, no qual a região vermelha compreende o área pré-existente e o restante a área ampliada. As linhas tracejadas amarelas são as paredes que foram demolidas na reforma.

A partir da análise das plantas, verifica-se que a parte pré-existente é caracterizada pela compartimentação dos espaços, enquanto que a área ampliada possui ambientes mais amplos. Outra diferença bastante expressiva diz respeito às cargas de pessoas e mobiliário para cada ambiente. A área ampliada é formada por salas de trabalho que comportam grande quantidade de funcionários e fluxo intenso de circulação, enquanto que a área pré-existente comporta ambientes mais reservados e com menor quantidade de pessoas circulando.

A Figura 36 apresenta o pavimento térreo, no qual são apresentados os acessos, as áreas de ajardinamento, o estacionamento e a guarita. A edificação possui três acessos principais, sendo dois para pedestres e um para veículos. O acesso principal localiza-se na rua Camboriú, deslocado 6 metros à esquerda da caixa envidraçada. O estacionamento compreende uma área coberta pelo edifício e outra ao ar livre, regiões 14 esquerda e 14 direita, respectivamente. A guarita posiciona-se junto ao acesso de funcionários e de veículos na rua Sete de Setembro.

Figura 36 - Planta baixa do pavimento térreo.



Fonte: Adaptado pela autora de Mafra (2011).

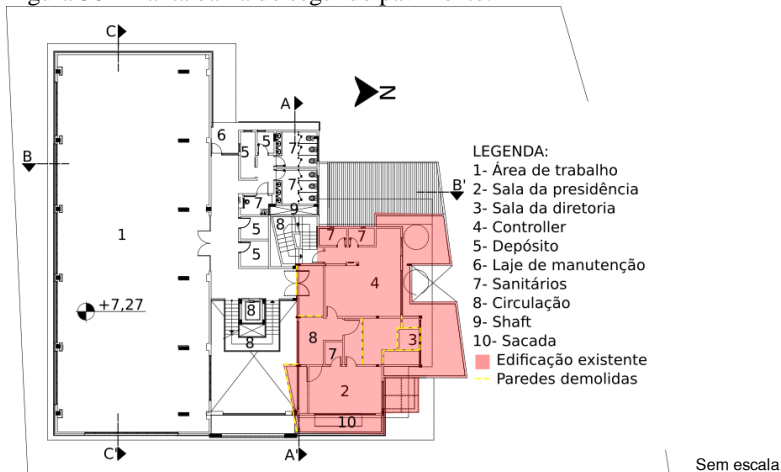
As Figuras 37 e 38 apresentam, respectivamente, o primeiro e o segundo pavimento. O primeiro pavimento comporta ambientes amplos e que acomodam grande quantidade de funcionários. O segundo pavimento é caracterizado por uma ampla sala de trabalho na região esquerda e pela locação da sala da presidência e diretoria no lado oposto. Nestas figuras também é possível observar as regiões de circulação, vertical e horizontal. O edifício possui duas escadas, sendo uma enclausurada e a outra aberta com elevador panorâmico centralizado.

Figura 37 - Planta baixa do primeiro pavimento.



Fonte: Adaptado pela autora de Mafra (2011).

Figura 38 - Planta baixa do segundo pavimento.

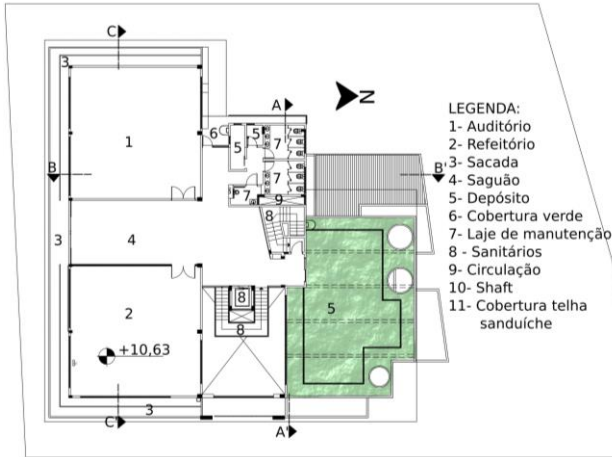


Fonte: Adaptado pela autora de Mafra (2011).

As Figuras 39 e 40 apresentam, respectivamente, o terceiro e o quarto pavimento. O terceiro pavimento abrange ambientes de uso compartilhado pelos funcionários como o refeitório e o auditório, assim como uma cobertura verde que permite o tráfego de pessoas por meio de um deck de madeira. O quarto pavimento mostra a planta de cobertura da edificação composta por telha sanduíche e cobertura vegetal. O telhado

verde encontra-se em um nível abaixo da cobertura de telha sanduíche e é sobreposto por um pergolado.

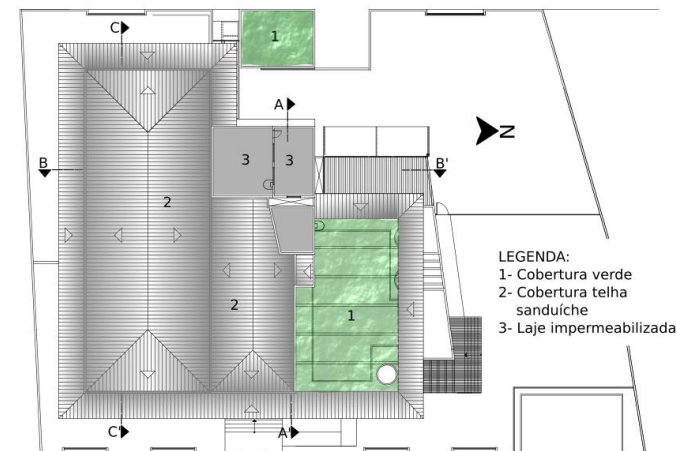
Figura 39 - Planta baixa do terceiro pavimento.



Sem escala

Fonte: Adaptado pela autora de Mafra (2011).

Figura 40 - Planta baixa do quarto pavimento - cobertura.

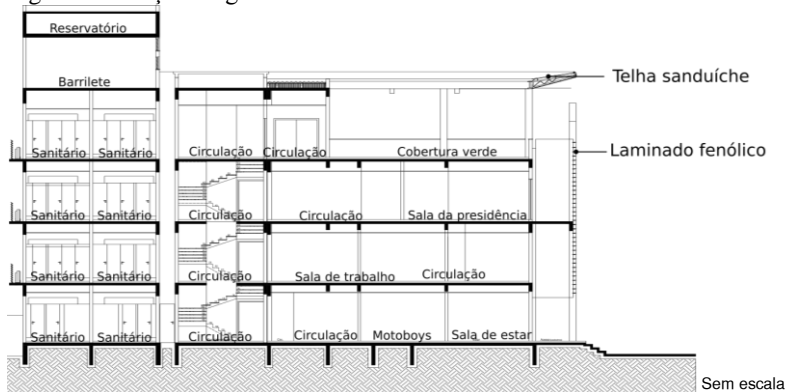


Sem escala

Fonte: Adaptado pela autora de Mafra (2011).

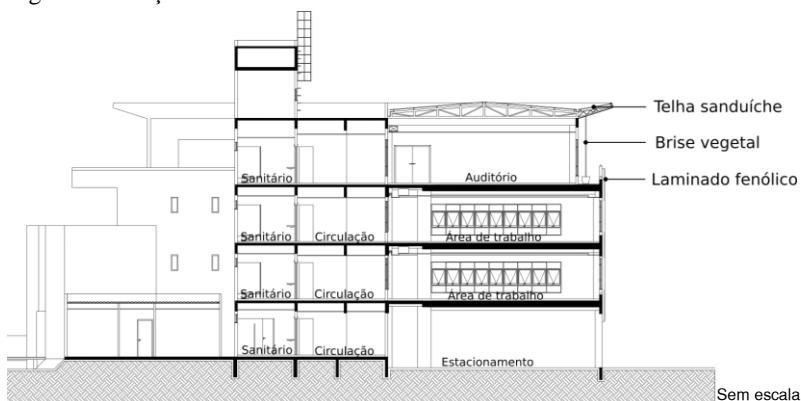
As Figuras 41, 42 e 43 apresentam, respectivamente, as seções longitudinais e transversais da edificação. A seção AA' mostra a circulação vertical, em que é possível notar a escada enclausurada e o elevador. A seção BB' apresenta o auditório e as áreas de trabalho que comportam grande concentração de funcionários. A seção CC' mostra o estacionamento coberto e as salas de trabalho que abrangem todo o sentido longitudinal da seção.

Figura 41 - Seção longitudinal AA'.



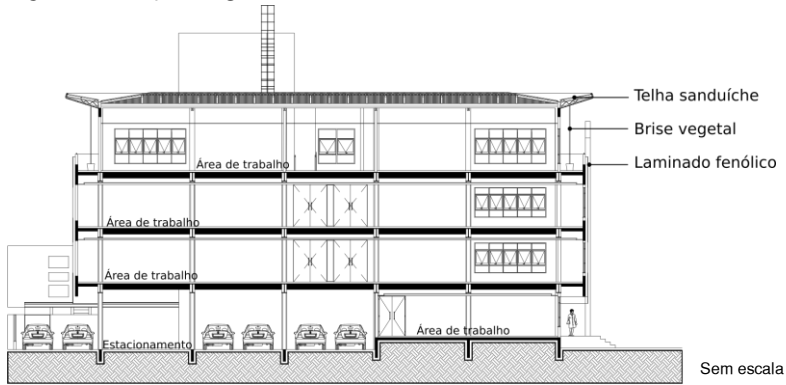
Fonte: Adaptado pela autora de Mafra (2011).

Figura 42 - Seção transversal BB'.



Fonte: Adaptado pela autora de Mafra (2011).

Figura 43 - Seção longitudinal CC'.

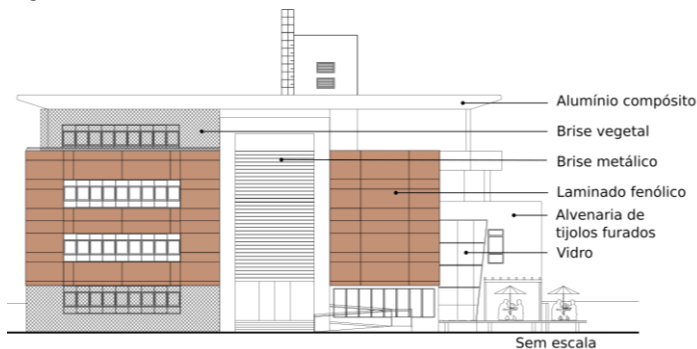


Fonte: Adaptado pela autora de Mafra (2011).

6.1.1.1 Aspectos projetuais e construtivos das fachadas

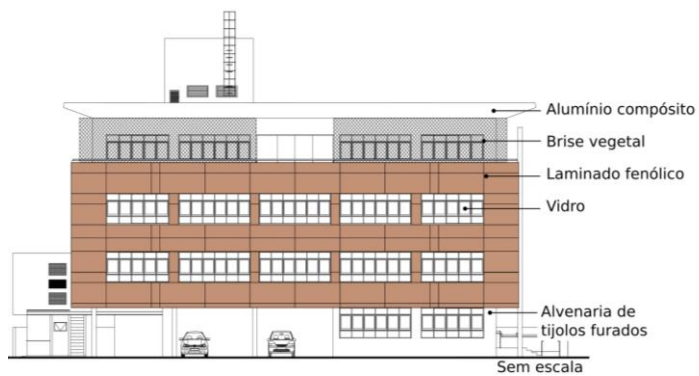
As fachadas da edificação mesclam o uso de fachada industrializada com câmara de ar estática, sistema tradicional de alvenaria em bloco cerâmico e vidro nas aberturas, sendo que a maior parte do vidro é recoberto por brises metálicos e vegetais. As quatro fachadas somam 1724,12 m² de área, sendo deste total 501,82 m² (29 %) é fachada industrializada, 349,79 m² (20 %) é vidro e 872,51 m² (51 %) é alvenaria de bloco cerâmico rebocada. As Figuras 44, 45, 46 e 47 apresentam as fachadas com a indicação dos subsistemas construtivos que compõem as vedações verticais. Os brises metálicos encontram-se dispostos no pórtico principal e na fachada Norte, enquanto que os brises vegetais abrangem as fachadas Leste, Oeste e Sul.

Figura 44 - Fachada Leste.



Fonte: Adaptado pela autora de Mafra (2011).

Figura 45 - Fachada Sul.



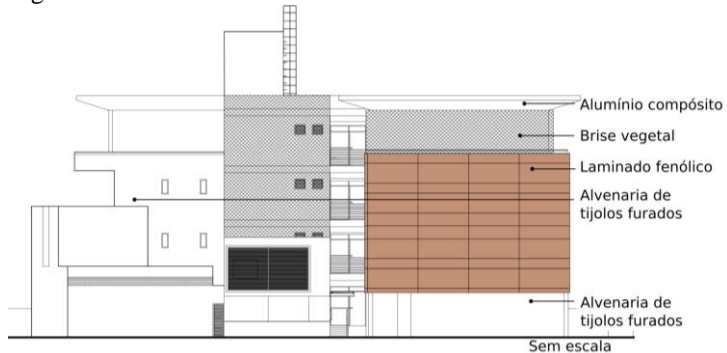
Fonte: Adaptado pela autora de Mafra (2011).

Figura 46 - Fachada Norte.



Fonte: Adaptado pela autora de Mafra (2011).

Figura 47 - Fachada Oeste.

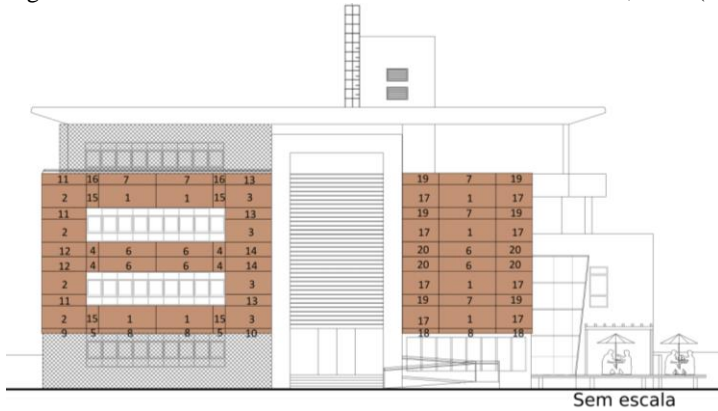


Fonte: Adaptado pela autora de Mafra (2011).

6.1.1.1 Aspectos projetuais da fachada industrializada

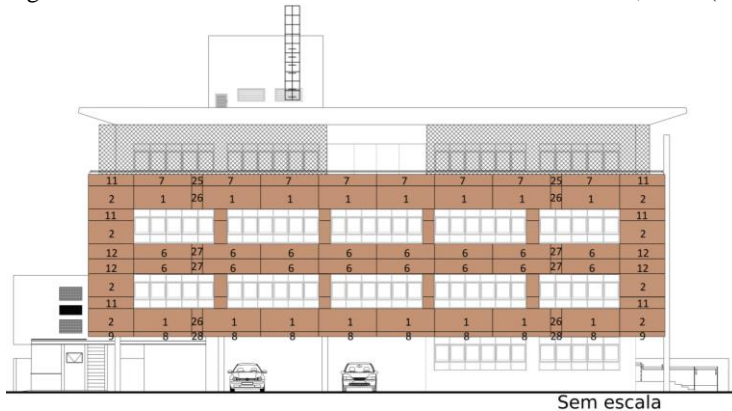
As Figuras 48, 49, 50 e 51 apresentam as paginações das fachadas da edificação com os respectivos quantitativos de fachada industrializada existentes em cada orientação solar. O revestimento externo é formado por placas de laminado fenólico (TS Exterior) da marca Formica®, com coloração carvalho real e sem textura. A dimensão padrão de placa tem 1,22 m de altura e 3,07 m de comprimento por 1 cm de espessura, porém para composição da paginação das fachadas, algumas placas tiveram suas dimensões reduzidas e adaptadas.

Figura 48 - Fachada Leste - Área fachada industrializada: 134,48 m² (26,8 %).



Fonte: Adaptado pela autora de Mafra (2011).

Figura 49 - Fachada Sul - Área de fachada industrializada: 180,70 m² (36 %).



Fonte: Adaptado pela autora de Mafra (2011).

Quadro 8 - Famílias e tipos dos painéis fenólicos.

Família	Tipo	H x L (m)	Total	Tipo	H x L (m)	Total
A	1	1,22 x 3,07	40	22	0,79 x 0,16	2
	2	1,22 x 2,41	12	23	1,22 x 0,16	4
	3	1,22 x 2,50	4	24	0,25 x 0,16	1
	4	0,79 x 0,65	6	25	0,61 x 0,58	2
	5	0,25 x 0,65	3	26	1,22 x 0,58	4
	6	0,79 x 3,07	32	27	0,79 x 0,58	4
	7	0,61 x 3,07	25	28	0,25 x 0,58	2
	8	0,25 x 3,07	17	29	0,61 x 1,00	2
	9	0,25 x 2,41	3	30	0,79 x 1,00	2
	10	0,25 x 2,50	1	31	0,25 x 1,00	1
	11	0,61 x 2,41	9	32	1,22 x 1,00	4
	12	0,78 x 2,41	6	33	1,22 x 0,86	3
	13	0,62 x 2,50	3	34	0,79 x 0,86	2
	14	0,79 x 2,50	2	35	0,61 x 0,86	3
	15	1,22 x 0,65	8	36	0,25 x 0,86	1
	16	0,61 x 0,65	5	37	0,20 x 2,38	1
	17	1,22 x 1,96	8	38	0,75 x 2,38	1
	18	0,25 x 1,96	2	39	0,61 x 2,45	2
	19	0,61 x 1,96	6	40	1,22 x 2,45	1
	20	0,79 x 1,96	4	41	0,79 x 2,45	1
	21	0,61 x 0,16	3			

Fonte: Elaborado pela autora (2017).

6.1.1.1.2 Aspectos construtivos da fachada industrializada

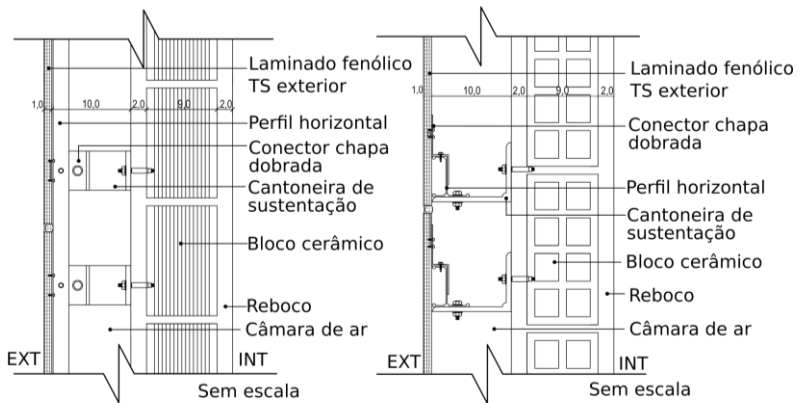
A Figura 52 apresenta o detalhe construtivo em planta baixa e seção transversal da fachada industrializada. Os subsistemas que compõem a fachada da edificação analisada foram desenhados a partir dos dados colhidos do projeto, do catálogo do fabricante e de fotografias registradas durante as visitas técnicas, uma vez que o edifício não dispunha de projeto de fachada. Da direita para a esquerda tem-se o laminado de alto desempenho de 1 cm, duto de ar de 10 cm, fixadores em alumínio e camada interna em alvenaria de bloco cerâmico rebocada em ambos os lados com espessura aproximada de 13 cm, totalizando 24 cm de vedação. Pode-se observar na Figura 52 a ausência de isolamento térmico.

De acordo com os tipos de sistema de fixação levantados na bibliografia, o sistema aplicado a esta fachada pode ser classificado como: Sistema de Fixação com Subestrutura intermediária, oculta e do tipo ‘linear contínua soldada no tardo do revestimento’. A Figura 53 consiste em uma perspectiva explodida a partir de uma figura adaptada do catálogo do fabricante, em que é possível observar de forma detalhada quais são os componentes metálicos que fazem parte da fachada e como o revestimento externo é ancorado na estrutura portante.

Figura 52 - Detalhe construtivo em planta e em seção transversal da fachada industrializada do estudo de caso A.

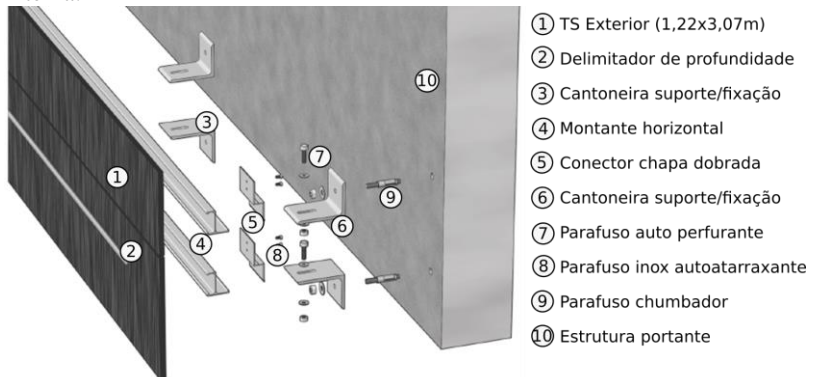
a) Planta baixa.

b) Seção transversal.



Fonte: Elaborado pela autora (2017). Fonte: Elaborado pela autora (2017).

Figura 53 - Detalhamento da fixação do revestimento externo na vedação interna.



Fonte: Adaptado pela autora de Formica® (2017).

A Figura 54 mostra a execução do laminado fenólico em 2011 pela empresa Fórmica®. Observa-se que as placas chegam da fábrica com uma película plástica protetora, que tem a função de prevenir possíveis riscos durante o transporte e manuseio.

Figura 54 - Execução da fachada industrializada no estudo de caso A.

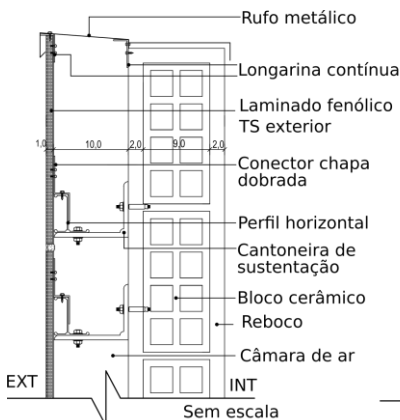


Fonte: Mafra (2015).

Arremates superiores: As Figuras 55-a e 55-b apresentam os detalhes em seção transversal dos arremates superiores. Nas Figuras 56-a e 56-b observa-se a aplicação de dois materiais para confecção dos acabamento superior, rufo em chapa metálica dobrada e peitoril em granito. A porção em rufo metálico abrange o perímetro superior da elevação frontal à direita do pórtico de entrada, e a porção de arremate em granito abrange o restante do perímetro superior da fachada industrializada. Os locais com granito possuem pingadeira para evitar que a água escorra e provoque manchas no revestimento externo. Em todo o perímetro superior foi possível observar a inexistência de uma abertura superior específica para saída do ar.

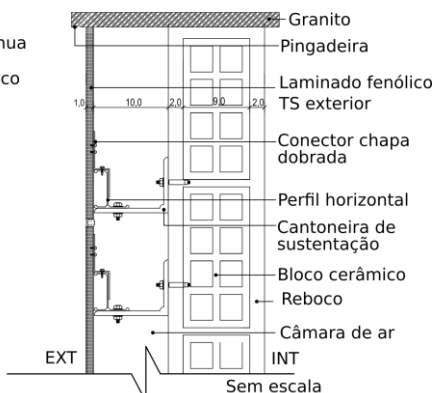
Figura 55 - Detalhes construtivos dos arremates superiores.

a) Seção transversal do arremate com rufo metálico.



Fonte: Elaborado pela autora (2017).

b) Seção transversal do arremate em granito.



Fonte: Elaborado pela autora (2017).

Figura 56 - Materiais e acabamentos aplicados aos arremates superiores.

a) Arremate em rufo metálico.



Fonte: A autora (2017).

b) Arremate em granito.

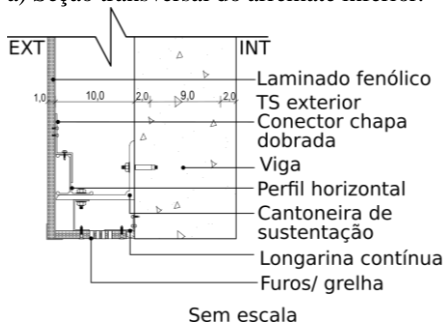


Fonte: A autora (2017).

Arremates inferiores: A Figura 57-a mostra o detalhe construtivo em seção transversal do arremate inferior, no qual utilizou-se a própria placa fenólica em todo o perímetro da fachada. Os orifícios para entrada do ar na câmara foram dispostos apenas em alguns locais do acabamento inferior simulando uma grade, conforme ilustra Figura 57-b.

Figura 57 - Detalhe construtivo do arremate inferior.

a) Seção transversal do arremate inferior. b) Orifícios de ventilação.

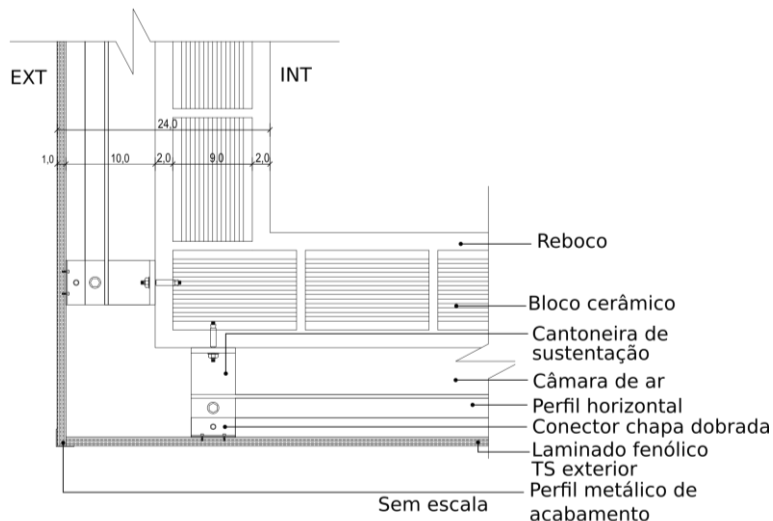


Fonte: Elaborado pela autora (2017).

Fonte: A autora (2017).

Arremates de encontro dos painéis: A Figura 58 mostra em planta baixa o detalhe construtivo de encontro entre os painéis. As Figuras 59-a e 59-b mostram os materiais de acabamento aplicado nos arremates. Observa-se que o projeto mesclou encontros com a aplicação de perfis de arremate metálico desenvolvidos pelo próprio fabricante em locais com maior visibilidade e encontros sem arremates nos locais com pouca visibilidade.

Figura 58 - Detalhe construtivo em planta de encontro entre os painéis do revestimento externo.



Fonte: Elaborado pela autora (2017).

Figura 59 - Arremates aplicados nos encontros entre os painéis.

a) Encontro de painéis sem arremate. b) Encontro de painéis com arremate metálico.



Fonte: A autora (2017).

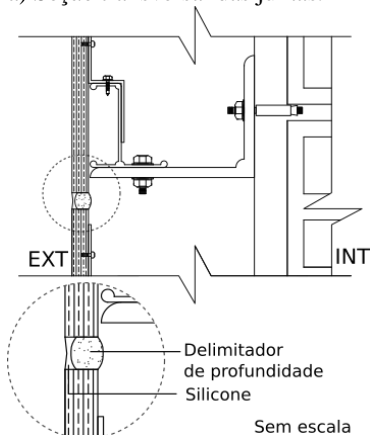
Fonte: A autora (2017).

Arremates das juntas: As Figuras 60-a e 60-b mostram os detalhes construtivos das juntas em seção transversal e em fotografia. As juntas entre as placas de revestimento possuem 1cm de largura e são seladas com delimitador de profundidade em polietileno e silicone, sendo portanto classificadas como juntas fechadas.

Figura 60 - Detalhes construtivos dos arremates das juntas.

a) Seção transversal das juntas.

b) Juntas.



Fonte: Elaborado pela autora (2017).



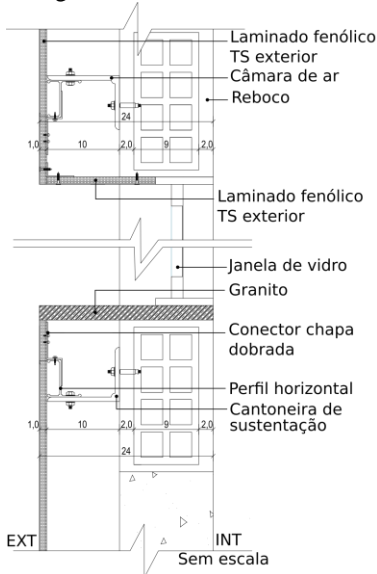
Fonte: A autora (2017).

Arremates das janelas: As Figuras 61-a e 61-b apresentam os arremates do peitoril e do contorno das janelas. Nota-se que todas as janelas possuem aplicação de placa fenólica nos contornos, enquanto o arremate do peitoril das janelas mesclou aplicação de granito (2 cm) em algumas e

placa fenólica em outras. Diferentemente dos arremates superiores da fachada industrializada, identificou-se a ausência do dreno em formato de pingadeira nos arremate dos peitoris tanto em granito como dos em laminado fenólico. As Figuras 62-a e 62-b são fotográficas que mostram os arremates das janelas.

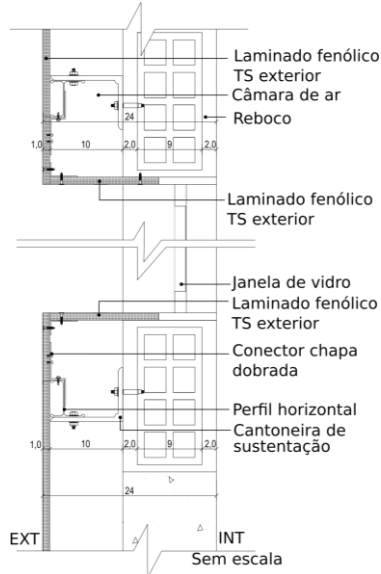
Figura 61 - Detalhes construtivos dos arremates nos peitoris das janelas.

a) Seção transversal dos arremates com granito.



Fonte: Elaborado pela autora (2017).

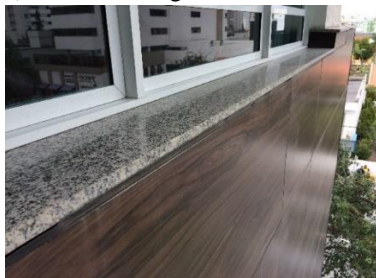
b) Seção transversal dos arremates com laminado.



Fonte: Elaborado pela autora (2017).

Figura 62 - Arremates dos peitoris das janelas.

a) Arremate em granito.



Fonte: A autora (2017).

b) Arremate em placa fenólica.



Fonte: A autora (2017).

Observa-se que a falta do projeto de fachada e a ausência de detalhamentos específicos para auxiliar na montagem e execução da fachada gerou incongruências projetuais, tais como presença rebites expostos em regiões pouco visíveis, recortes inadequados nas placas fenólicas para encaixe do peitoril da janela, falta de pingadeira, assim como o dimensionamento inadequado dos orifícios de ventilação.

6.1.2 Processos de inspeção e manutenção

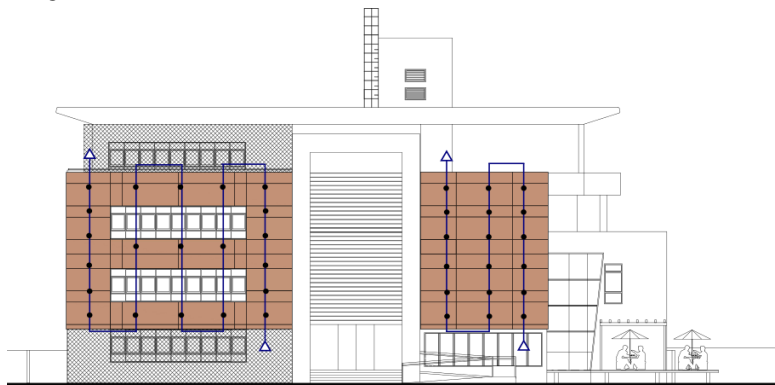
O edifício localiza-se próximo da desembocadura do rio Itajaí-Açu com o oceano Atlântico. Itajaí possui umidade relativa do ar média de 84 % (POLETTE et al.,2012). A proximidade com o oceano e a alta umidade relativa do ar criam uma atmosfera com grande quantidade de sais potencializa o aparecimento de manifestações patológicas. De acordo com o catálogo do fabricante, as películas aplicadas como camada superficial retêm 50 % dos raios ultravioletas. O fabricante ainda prevê uma garantia de que a cor do laminado possui resistência às intempéries por 10 anos, excluídas ligeiras mudanças de tonalidades. A limpeza e a manutenção devem ser feitas com detergente neutro não abrasivo, podendo ser utilizada esponja ou pano macio. O produto tem propriedade antipichação, pois reduz a aderência de diversos tipos de tintas.

Por meio da etapa ‘Inspeção pré-exame visual’, observou-se a presença de um quantitativo significativo de manifestações patológicas que permitiram prosseguir com a aplicação das demais etapas do método de inspeção visual auxiliado por VANT. As inspeções foram realizadas no dia 07.11.2017, no período da tarde.

A Figura 63 mostra a alocação da varredura e a distribuição dos pontos de captura de imagens fotográficas em um dos quatro planos inspecionados. A geometria dos planos de fachada condicionaram o sentido vertical da alocação da varredura. Com relação à distribuição dos pontos, utilizou-se como referência a dimensão padrão das placas fenólicas, adotando-se, respectivamente, 1,22 m e 3,07 m como distância vertical e horizontal entre os pontos. Com relação a distância do drone em referência ao plano de fachada, adotou-se como medida padrão 0,8 m.

Observa-se que foram distribuídos 48 pontos na fachada Leste. Para as demais fachadas utilizou-se o quantitativo de 53 pontos na fachada Sul, 36 pontos na fachada Oeste e 22 pontos na fachada Norte. As manifestações patológicas detectadas foram agrupadas por fachada de acordo com a orientação solar.

Figura 63 - Alocação da varredura e distribuição dos pontos de captura das fotografias nas fachadas Leste.



- Pontos de captura das fotografias (48 pontos)
- ▷ Varredura vertical

Fonte: Adaptado pela autora de Mafra (2011).

6.1.2.1 Inspeção da fachada Leste

O laminado fenólico possui uma superfície lisa que dificulta o acúmulo de sujidades e favorece a autolimpeza por meio da ação combinada da chuva e do vento. Na fachada Leste identificou-se o acúmulo de sujidades ao longo da superfície do laminado fenólico que se apresentam como manchas brancas, com maior incidência na região abaixo do peitoril das janelas, conforme mostra a Figura 64-a. Quanto a origem destas sujidades, é possível supor que estas se devem ao meio natural onde a edificação está inserida associada a autolimpeza desuniforme das fachadas. Outro motivo, porém de origem indireta, diz respeito aos produtos de limpeza aplicados nos vidros das janelas que escorrem e se acumulam abaixo do peitoril, uma vez que o peitoril das janelas não possui pingadeira.

A Figura 64-b mostra manchas brancas na borda dos painéis e a delaminação da película protetora. As manchas das bordas dos painéis concentram-se entorno das juntas e podem ser resultado da penetração do material constituinte do selante no painel fenólico. As causas da delaminação inter-relacionam motivos que podem ter origem nas intempéries climáticas, como insolação e umidade, assim como fatores relacionados ao processo de produção das placas, como distribuição heterogênea da resina de fenol formaldeído, ou ainda, decorrente dos processos redimensionamento da placas para composição da paginação.

Figura 64 - Manifestações patológicas na fachada Leste.

a) Manchamento do painéis abaixo do peitoril das janelas.



Fonte: Adaptado pela autora de Hillmann (2017).

b) Manchas brancas na fachada e delaminação da película protetora.



Fonte: Adaptado pela autora de Hillmann (2017).

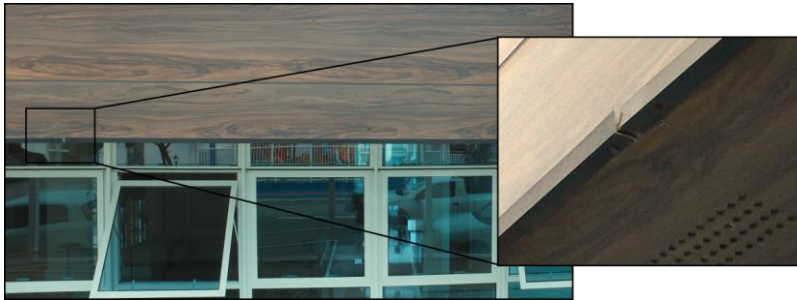
A Figura 64-c mostra manchas brancas de escorrimento próximo ao letreiro metálico da logomarca da empresa. Os metais tendem a criar uma camada superficial de óxido do metal quando em contato com o oxigênio que podem escorrer e manchar os painéis com a ação das chuvas. A Figura 64-d mostra o desprendimento e a oxidação do perfil de acabamento metálico. As causas do desprendimento podem envolver motivos relacionados a execução do projeto, como por exemplo a fixação de forma inadequada. Além do desprendimento do perfil, também foi identificada a descamação da pintura eletrostática. A Figura 64-e mostra o desprendimento do perfil metálico em outra região da fachada Norte assim como o destacamento do delimitador de profundidade.

c) Oxidação do letreiro.



Fonte: Adaptado pela autora de Hillmann (2017).

d) Desprendimento e oxidação do perfil de acabamento metálico.



Fonte: Adaptado pela autora de Hillmann (2017).

e) Desprendimento do perfil de acabamento metálico e destacamento do delimitador de profundidade.



Fonte: Adaptado pela autora de Hillmann (2017).

6.1.2.2 Inspeção da fachada Sul

A fachada Sul apresentou manifestações patológicas similares às encontradas na fachada Leste. A Figura 65-a apresenta a delaminação da película protetora, o desprendimento do rebite e o ressecamento das juntas. A Figura 65-b mostra as manchas brancas nas bordas dos painéis fenólicos e no peitoril das janelas.

Figura 65 - Manifestações patológicas na fachada Sul.

a) Delaminação da película protetora, desprendimento do rebite e ressecamento das juntas.



Fonte: Adaptado pela autora de Hillmann (2017).

b) Manchas brancas nas bordas dos painéis e no peitoril das janelas.



Fonte: Adaptado pela autora de Hillmann (2017).

Além do ressecamento das juntas, verificou-se a perda de aderência nos painéis fenólicos por parte do selante. Esta perda pode ter sido provocada por falha de execução, sujidade excessiva do painel durante o selamento, ressecamento em função dos níveis de exposição à radiação solar, ou ainda, a inter-relação entre estes fatores. Outro motivo que justifica o ressecamento diz respeito ao prazo de validade do selante, tendo em vista que é aceitável que os selantes apresentem durabilidade inferior a das placas do revestimento externo.

6.1.2.3 Inspeção da fachada Oeste

A fachada Oeste recebe aproximadamente 6 h e 30 min de insolação direta no verão e 3 h e 30 min no inverno⁵. Os níveis de exposição solar direta potencializaram a deterioração da fachada gerando a perda de aderência da película protetora. As lesões decorrentes da delaminação foram encontradas em toda a fachada Oeste, apresentando uma situação mais crítica na parte inferior conforme apresenta a Figura 66-a. Somado a isso, a Figura 66-a mostra o ressecamento das juntas e o destacamento do perfil metálico. A Figura 66-b mostra a presença das manchas brancas nas juntas e a sujidade acumulada na borda inferior do plano de fachada.

Figura 66 - Manifestações patológicas na fachada Oeste.

a) Delaminação da película protetora e destacamento do arremate metálico.



Fonte: Adaptado pela autora de Hillmann (2017).

⁵ Dados obtidos a partir da análise da carta solar para a cidade Florianópolis e disponível no Apêndice B.

b) Manchas brancas nas juntas e acúmulo de sujidades na borda inferior do plano da fachada Oeste.



Fonte: Adaptado pela autora de Hillmann (2017).

6.1.2.4 Inspeção da fachada Norte

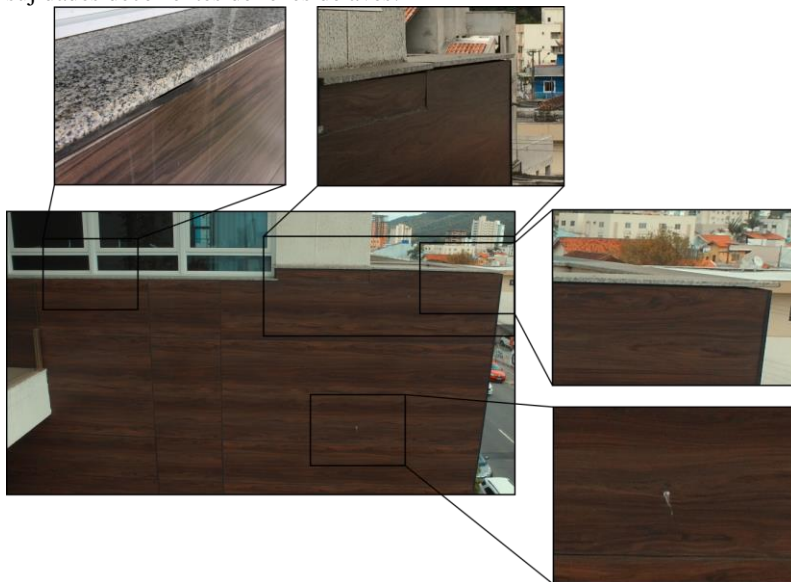
A fachada Norte é formada por dois blocos independentes. A porção direita permanece diretamente exposta ao clima como as demais fachadas, enquanto que porção esquerda é parcialmente protegida por uma marquise que suporta a cobertura vegetal.

A Figura 67-a apresenta a porção direita da fachada, em que foi detectado sujidades decorrentes do ambiente onde a edificação está inserida, juntas ressecadas, desconexão entre o peitoril de granito e a fachada fenólica, assim como fezes de aves em regiões pontuais.

A Figura 67-b apresenta a porção esquerda, na qual é possível identificar visualmente a aplicação de rebites, o que denota uma fixação incompatível com a adotada no projeto e presente nas demais fachadas. No entorno da caixa de vidro, detectou-se a ausência de material selante nas juntas de encontro com os painéis fenólicos. Abaixo da janela desta fachada também identificou-se a presença de manchas brancas decorrentes de sujidades que podem estar associadas com produtos de limpeza aplicados nos vidros.

Figura 67 - Manifestações patológicas na fachada Norte.

a) Juntas ressecadas, desconexão entre peitoril de granito e o laminado e sujidades decorrentes de fezes de aves.



Fonte: Adaptado pela autora de Hillmann (2017).

b) Rebites amostra, ausência de selante e escorrimento no peitoril da janela.



Fonte: Adaptado pela autora de Hillmann (2017).

Observou-se que fatores como o redimensionamento das placas fenólicas e a exposição à radiação solar contribuem para o atual estado de conservação da película protetora do laminado fenólico aplicado na fachada. Por meio da comparação entre as quatro fachadas do edifício, nota-se que a fachada Oeste é a mais deteriorada, seguida das fachadas Leste, Sul e Norte.

6.2 ESTUDO DE CASO B: EDIFÍCIO DE ESCRITÓRIOS EM SÃO JOSÉ

A segunda obra selecionada para análise é outro edifício de escritórios situado na cidade de São José, região metropolitana de Florianópolis. Os dados técnicos estão descritos no Quadro 9.

Quadro 9 - Dados técnicos do estudo de caso B.

	Projeto arquitetônico	Doria Lopes Fiuza - Arquitetos Associados
	Projeto de fachada	Favegrup - Fachadas Ventiladas
	Execução edifício	Hunter Incorporadora
	Revestimento externo	Cerâmica extrudada
Localização: São José - SC	Área construída	24 985,05 m ²
Ano construção: 2012 - 2015	Área de fachada industrializada	3800,00 m ²

Fonte: Elaborado pela autora (2018).

6.2.1 Aspectos projetuais e construtivos da edificação

O edifício é composto por duas torres com salas comerciais para locação. A Figura 68 mostra uma vista panorâmica do edifício em que é possível observar à direita a Torre A, *Avenue Tower*, e à esquerda a Torre B, *Business Tower*. Ambas as Torres possuem fachadas constituídas por vidros, alvenarias de blocos cerâmicos e cerâmicas extrudadas. Cada Torre é composta pelo pavimento térreo, dois andares de garagem coberta, um andar de garagem descoberta, treze andares de plantas tipo para escritórios, cobertura, casa de máquinas e reservatório.

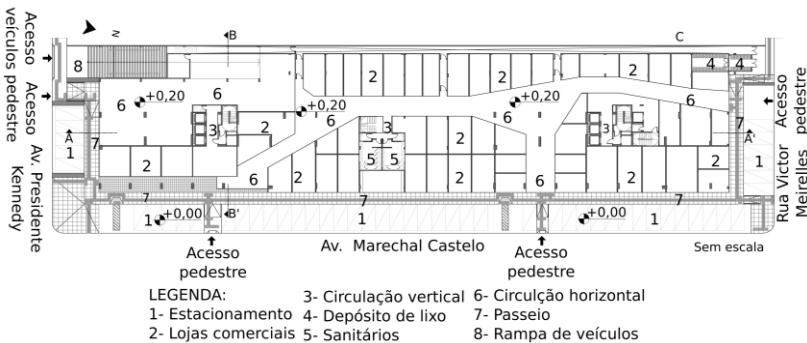
Figura 68 - Vista panorâmica da edificação.



Fonte: Lunardelli (2017).

As Figuras 69, 70, 71, 72 e 73 apresentam as plantas baixas dos pavimentos da edificação. A Figura 69 apresenta o pavimento térreo, no qual são apresentados os acessos e as áreas de estacionamento descoberto destinado ao público que totalizam 54 vagas. A edificação possui quatro acessos principais para pedestres e um para veículos. Todo o pavimento térreo é composto por salas comerciais destinadas à locação, que se conectam por meio de um corredor de circulação centralizado. Neste pavimento também se localizam os sanitários públicos e os pontos de acesso para as duas torres e as garagens.

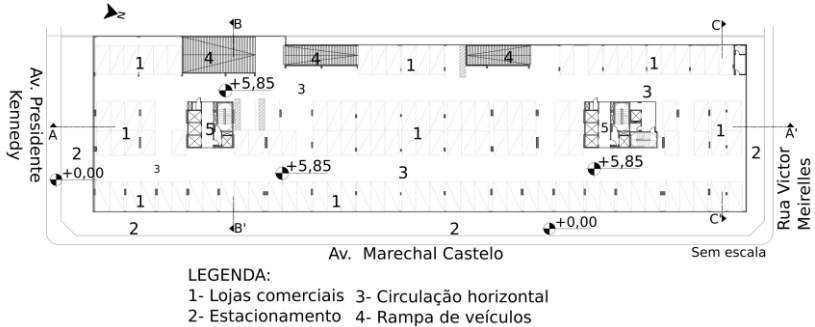
Figura 69 - Planta baixa do pavimento térreo.



Fonte: Adaptado pela autora de Dória (2012).

A Figura 70 apresenta a distribuição das vagas de estacionamento no primeiro pavimento de garagem cuja disposição se repete no segundo e no terceiro pavimentos, e que portanto, tiveram suas plantas omitidas. A garagem do terceiro pavimento se diferencia dos demais por ser um terraço sob pilotis, no qual as vagas de garagem são descobertas. Os três pavimentos de garagem totalizam 369 vagas privativas.

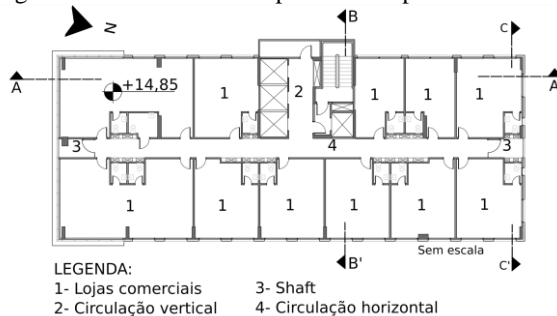
Figura 70 - Planta baixa pavimento de garagem.



Fonte: Adaptado pela autora de Dória (2012).

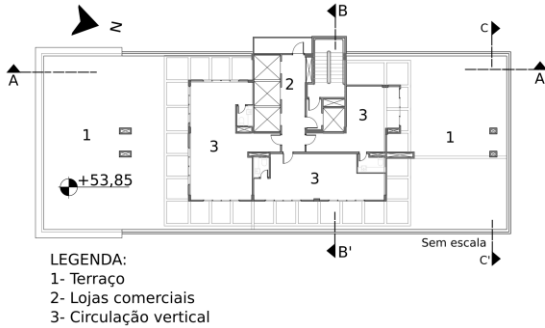
A Figura 71 apresenta a planta do pavimento tipo da Torre A. Esta planta é igual para ambas as torres, sendo genericamente composta por 11 salas de escritório para locação cujas paredes internas são em gesso acartonado. A Figura 72 apresenta a planta de cobertura que é composta por um terraço e três salas de escritório. A Figura 73 apresenta a casa de máquinas e o pergolado da cobertura.

Figura 71 - Planta baixa do pavimento tipo.



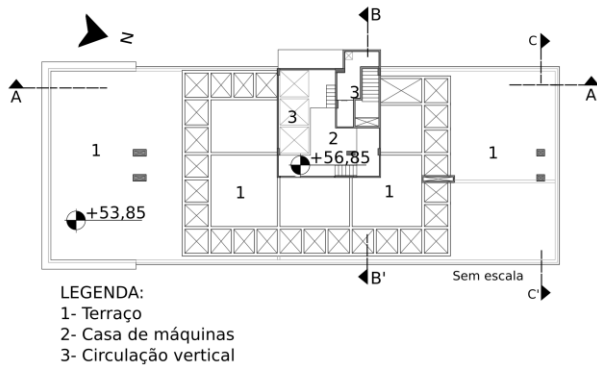
Fonte: Adaptado pela autora de Dória (2012).

Figura 72 - Planta baixa cobertura.



Fonte: Adaptado pela autora de Dória (2012).

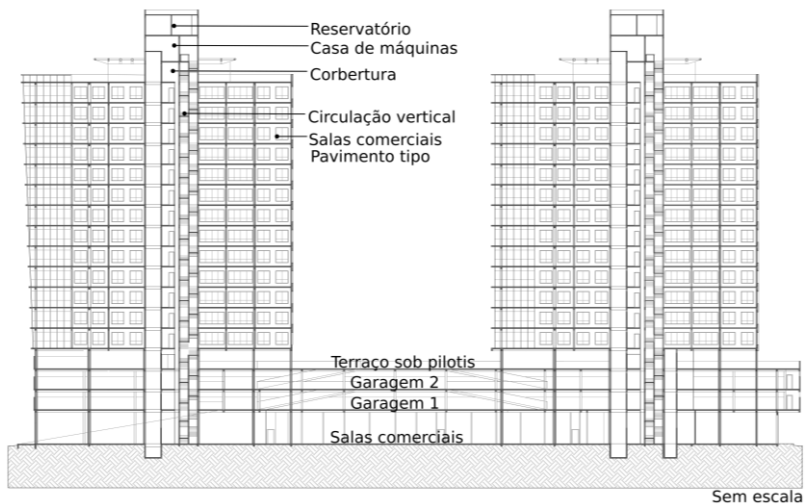
Figura 73 - Planta baixa casa de máquinas.



Fonte: Adaptado pela autora de Dória (2012).

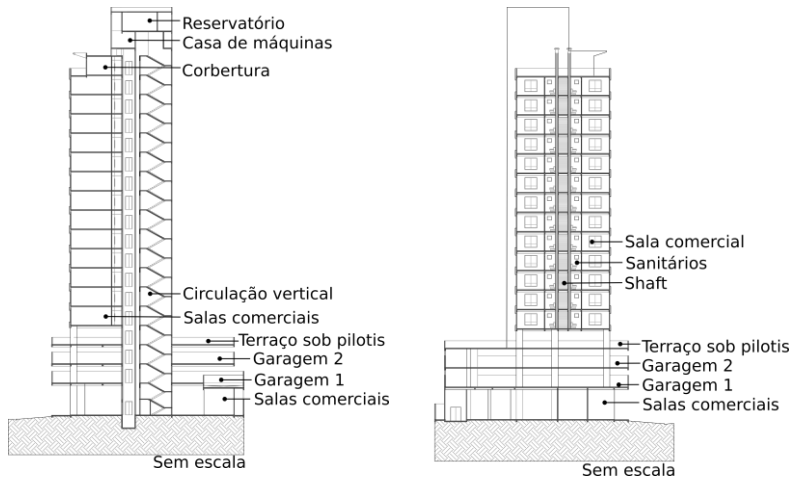
As Figuras 74 e 75 apresentam a seção longitudinal e as seções transversais da edificação, respectivamente. A seção AA' mostra as lojas comerciais no andar térreo, os dois andares de garagem e o terraço sob pilotis que funciona como garagem descoberta. A partir do terraço sobem as duas torres com salas de escritório, totalizando treze andares. A cobertura é composta por um terraço acessível e três salas de escritório diferenciadas das salas dos pavimentos tipos.

Figura 74 - Seção longitudinal AA'.



Fonte: Adaptado pela autora de Dória (2012).

Figura 75 - Seção transversal BB' e Seção transversal CC'



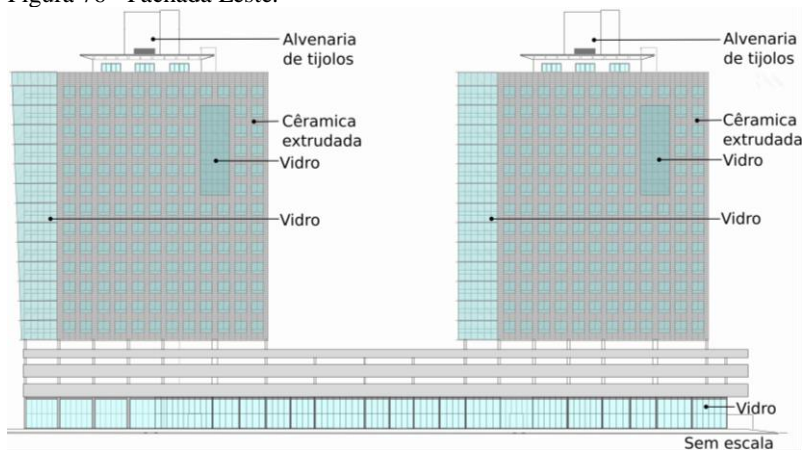
Fonte: Adaptado pela autora de Dória (2012).

6.2.1.1 Aspectos projetuais e construtivos das fachadas

As vedações da edificação são compostas por fachada industrializada com câmara de ar convectiva, sistema tradicional de alvenaria de blocos cerâmicos, vidros nas aberturas e brises. A fachada Sul é formada por um extenso plano de vidro que cobre toda a superfície de fachada. A fachada industrializada é composta por elementos de cerâmica extrudada aplicada sobre a alvenaria. Os brises metálicos foram dispostos nas fachada Norte, Oeste e nos pavimentos de garagem. Nas fachadas os brises funcionam como acabamento dos *shafts* que abrigam os equipamentos de condicionamento de ar e nos pavimentos de garagem eles fazem o sombreamento e a ventilação do estacionamento.

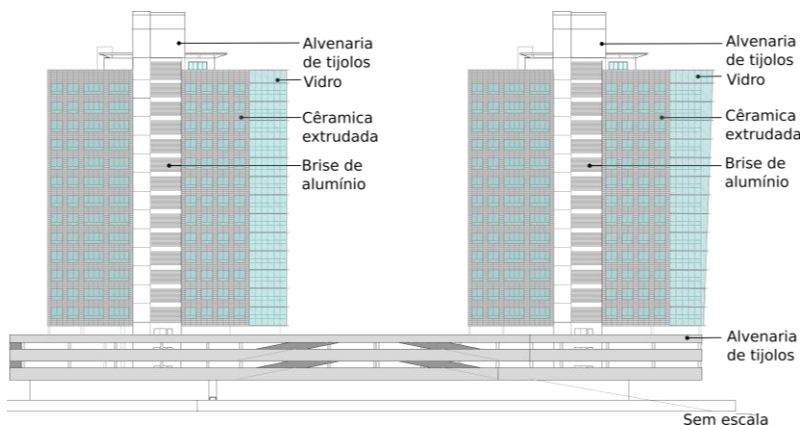
As quatro fachadas somam 13100,00 m² de área de superfície, sendo deste total 4538,20 m² (34,6 %) é vidro, 4774,80 m² (36,4 %) é alvenaria blocos cerâmicos e 3783,00 m² (29 %) é fachada industrializada revestida em cerâmica extrudada. As Figuras 76, 77, 78 e 79 apresentam as fachadas com a indicação dos subsistemas construtivos que compõem as vedações verticais.

Figura 76 - Fachada Leste.



Fonte: Adaptado pela autora de Dória (2012).

Figura 77 - Fachada Oeste.

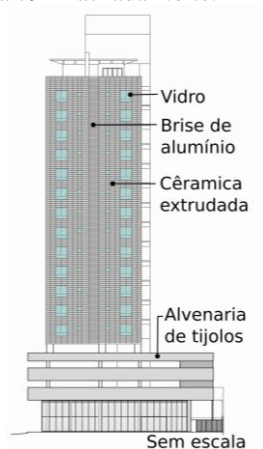


Fonte: Adaptado pela autora de Dória (2012).

Figura 78 - Fachada Sul.



Figura 79 - Fachada Norte.



Fonte: Adaptado pela autora de Dória (2012).

6.2.1.1.1 Aspectos projetuais da fachada industrializada

As Figuras 80-a, 80-b, 81-a, 81-b, 82-a e 82-b apresentam as paginações das fachadas da edificação com os respectivos quantitativos de fachada industrializada com câmara de ar convectiva existentes em cada orientação solar. A fachada industrializada da edificação é de cerâmica extrudada Faveton Bersal® com coloração cinza. O painel

possui peso de 32 kg/m² e dimensões de altura e espessura padronizadas de 0,3 m e 0,16 m, porém a largura variável entre 0,6 e 1,2 m. Devido à extensão dos planos de fachada optou-se por representar apenas o início da paginação, pois os tipos de placas de revestimento estão agrupados em faixas verticais do topo até a base do edifício.

Figura 80 - Fachada Oeste.

a) Torre A - Área de fachada industrializada: 622,00 m² (37,6 %).



Fonte: Adaptado pela autora de Lunardelli (2014).

b) Torre B - Área de fachada industrializada: 621,00 m² (37,5 %).



Fonte: Adaptado pela autora de Lunardelli (2014).

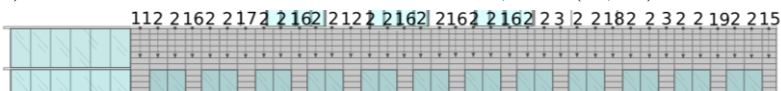
Figura 81 - Fachada Leste - Área de fachada industrializada: 799 m² (48,2 %).

a) Torre A - Área de fachada industrializada: 799,00 m² (48,2 %).



Fonte: Adaptado pela autora de Lunardelli (2014).

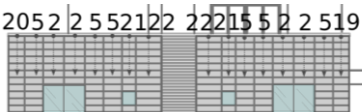
b) Torre B - Área de fachada industrializada: 801,00 m² (48,3 %).



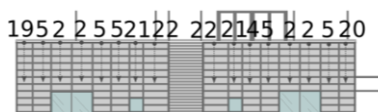
Fonte: Adaptado pela autora de Lunardelli (2014).

Figura 82 - Fachada Norte - Área de fachada industrializada: 944,00 m² (78,2 %).

a) Torre A: 472,00 m² (78,2 %).



b) Torre B: 472,00 m² (78,2 %).



Fonte: Adaptado pela autora de Lunardelli (2014).

O Quadro 10 descreve a família, os tipos dos painéis, assim como as dimensões e o quantitativo de painéis de cerâmica extrudada aplicados no invólucro do edifício. Os painéis possuem altura padrão de 30 cm e largura variável, totalizando 22 tipos diferentes. O projeto de fachada permite que os painéis já venham de fábrica dimensionados para a fachada correspondente, evitando assim o excesso de recortes na obra que possibilitam futuros problemas patológicos. As peças dos encontros entre os planos de fachada foram as únicas recortadas *in loco*.

Quadro 10 - Famílias e tipos dos painéis de cerâmica extrudada.

Família	Tipo	H x L (m)	Total	Tipo	H x L (m)	Total
A	1	0,30 x 0,582	137	12	0,30 x 0,891	274
	2	0,30 x 0,90	4592	13	0,30 x 0,794	137
	3	0,30 x 0,796	822	14	0,30 x 0,887	228
	4	0,30 x 0,787	2192	15	0,30 x 0,72	137
	5	0,30 x 0,80	3136	16	0,30 x 0,791	685
	6	0,30 x 0,878	274	17	0,30 x 0,886	137
	7	0,30 x 0,625	274	18	0,30 x 0,896	75
	8	0,30 x 0,60	274	19	0,30 x 0,801	137
	9	0,30 x 0,677	137	20	0,30 x 0,692	137
	10	0,30 x 0,59	137	21	0,30 x 0,583	548
	11	0,30 x 0,962	137	22	0,30 x 1,100	822

Fonte: Elaborado pela autora (2018).

6.2.1.1.2 Aspectos construtivos das fachadas industrializada

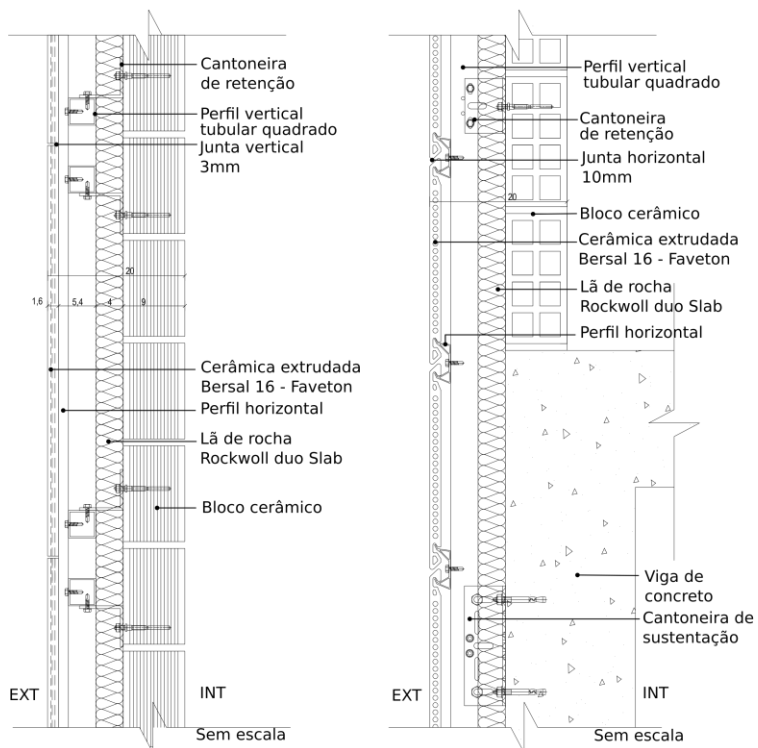
Todas as figuras dos detalhes construtivos disponibilizados para análise nesta dissertação fazem parte do acervo técnico da empresa responsável pelo projeto, montagem e execução fachada. Alguns detalhes foram adaptados para facilitar o entendimento dos aspectos construtivos dos subsistemas que compõem a fachada estudada.

As Figuras 83-a e 83-b mostram a planta baixa e a seção transversal do detalhe construtivo da fachada industrializada com câmara de ar convectiva. Da direita para a esquerda tem-se a cerâmica extrudada com 1,6 cm de espessura, manta isolante térmica de 4 cm, duto de ar de 5,4 cm, perfis verticais e horizontais de fixação em alumínio, cantoneiras de sustentação e retenção, e camada interna de bloco cerâmico sem reboco externo com 9 cm, totalizando 20 cm de vedação.

Figura 83 - Detalhe construtivo em planta e em seção transversal da fachada industrializada do estudo de caso B.

a) Planta baixa.

b) Seção transversal.

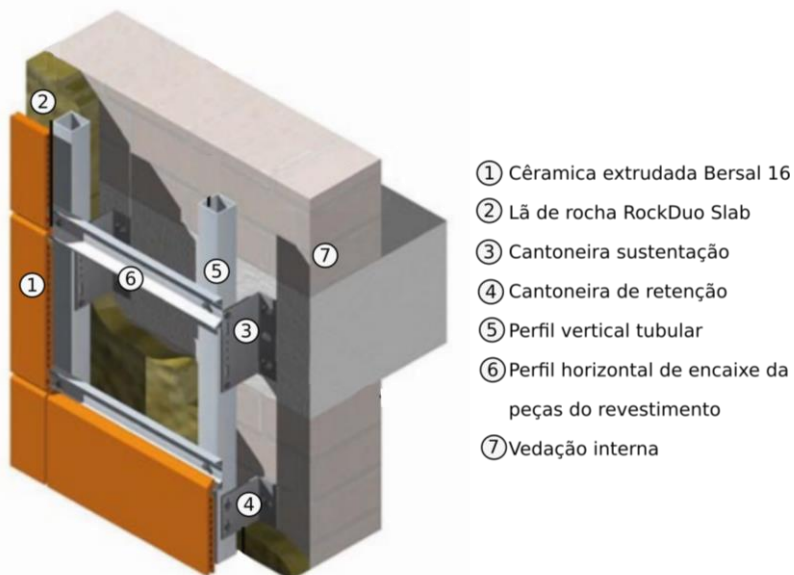


Fonte: Adaptado pela autora de Lunardelli (2014).

A Figura 84 é uma perspectiva que apresenta os componentes e subsistemas da fachada em cerâmica extrudada e como estes são ancorados na vedação interna.

As cantoneiras de sustentação são fixadas nas regiões portantes da edificação, vigas ou pilares, pois tem a função que suportar o peso das placas de revestimento. Por outro lado as cantoneiras de retenção são fixadas diretamente na alvenaria, um vez que tem a função de garantir estabilidade contra a ação do vento e das chuvas fortes. De acordo com os tipos de sistema de fixação levantados na bibliografia, o sistema aplicado a esta fachada pode ser classificado como: Sistema de Fixação com Subestrutura intermediária, oculta e de modo 'linear contínuo com entalhe no revestimento'.

Figura 84 - Detalhamento da fixação do revestimento externo na vedação interna.



Fonte: Adaptado pela autora de Favegrup (2017).

As Figuras 85-a e 85-b mostram a execução do projeto de fachada em 2015. Observa-se nestas figuras que há uma sequência de fixação do revestimento externo: primeiramente são fixadas as cantoneiras de sustentação e retenção, após coloca-se a manta isolante térmica e os perfis verticais e horizontais. Por último aplica-se o revestimento externo. Nesta edificação, a manta isolante térmica foi fixada diretamente na vedação em bloco cerâmico sem reboco externo.

Figura 85 - Execução da fachada industrializada do estudo de caso B.
a) Fixação das cantoneiras, revestimento térmico e perfis metálicos.



Fonte: Lunardelli (2015).

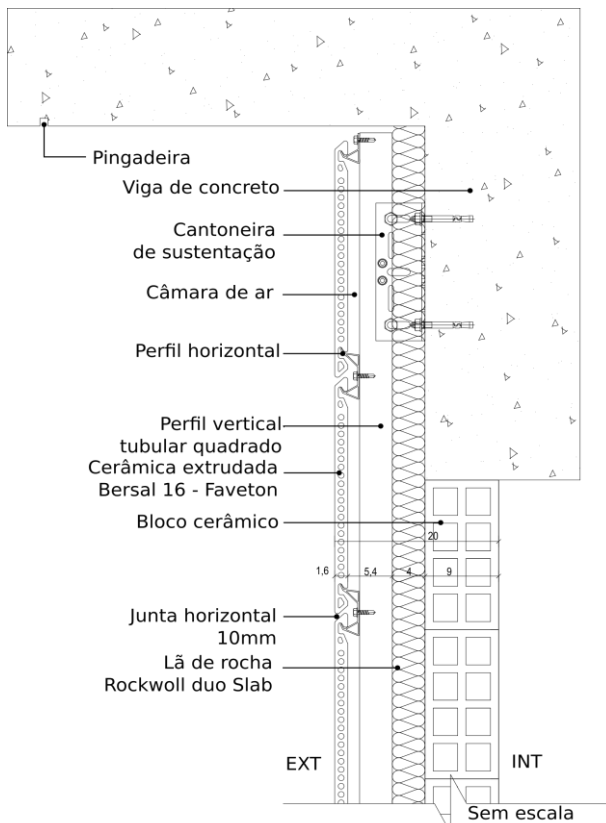
b) Ancragem das placas de cêramica extrudada na subestrutura intermediária.



Fonte: Lunardelli (2015).

Arremate superior: A Figura 86 apresenta o detalhe construtivo em seção transversal do arremate superior em que a viga de concreto faz acabamento de proteção do orifício de ventilação superior, bloqueando o acesso das chuvas e permitindo o fluxo de ar para dentro da câmara. A pingadeira é outro elemento construtivo que ajuda a prevenir que a água acumulada sobre a laje escorra e penetre na câmara de ar.

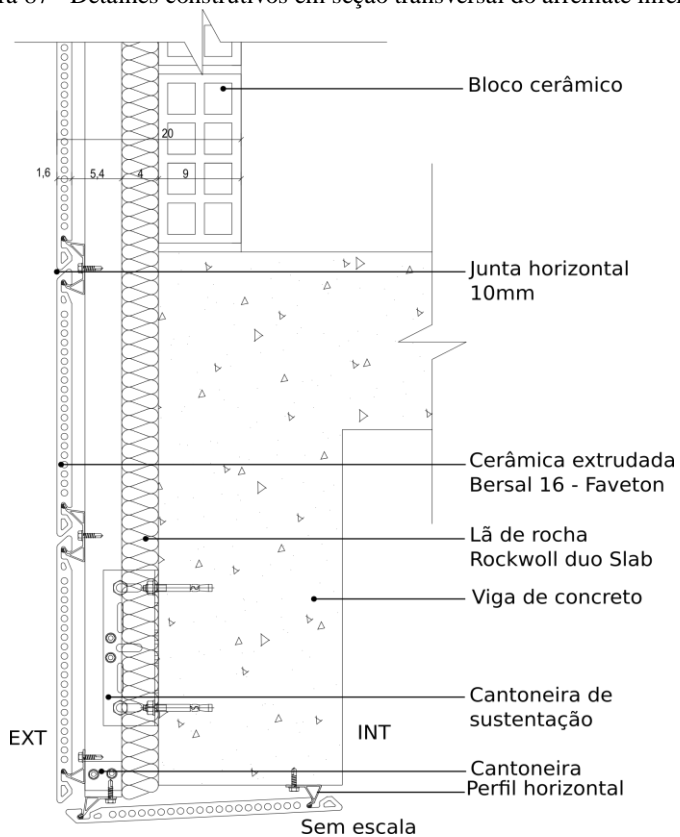
Figura 86 - Detalhe construtivo em seção transversal do arremate superior.



Fonte: Adaptado pela autora de Lunardelli (2014).

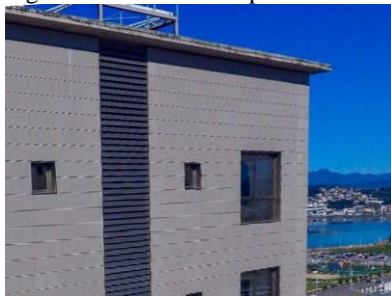
Arremate inferior: A Figura 87 mostra o detalhe construtivo em seção transversal do arremate inferior, no qual foi utilizada a própria placa cerâmica em todo o perímetro da fachada. As Figuras 88 e 89 mostram fotos obtida *in loco* dos detalhes construtivos dos arremates superior e inferior.

Figura 87 - Detalhes construtivos em seção transversal do arremate inferior.



Fonte: Adaptado pela autora de Lunardelli (2014).

Figura 88 - Arremate superior.



Fonte: Lunardelli (2017).

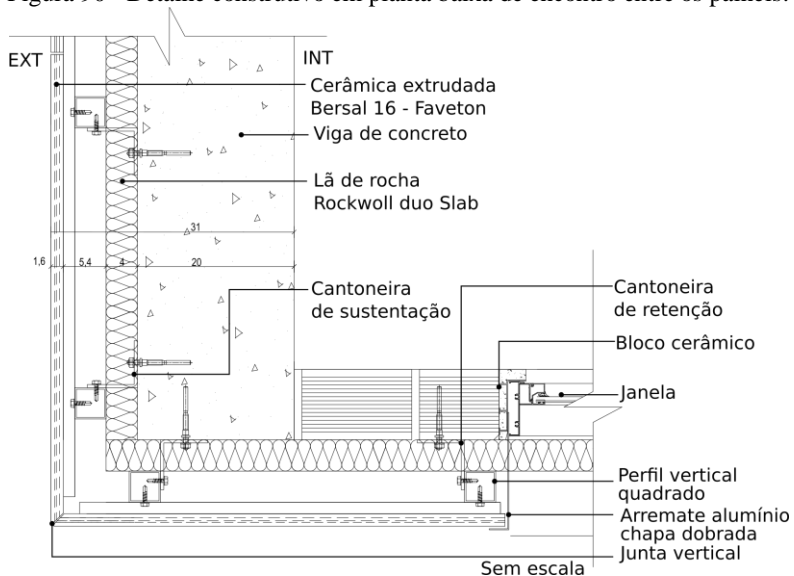
Figura 89 - Arremate inferior.



Fonte: A autora (2018).

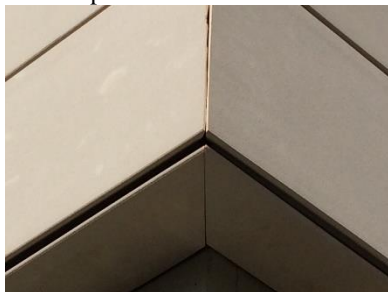
Arremates de encontro dos painéis: A Figura 90 mostra em planta baixa o detalhe construtivo de encontro entre os painéis. Observa-se que as placas de encontro entre os planos da fachada possuem o canto cortado em 45° para facilitar o encaixe. Todas as peças nestes arremates foram recortadas *in loco* para suprir possíveis folgas dimensionais, conforme mostram as Figuras 91 e 92.

Figura 90 - Detalhe construtivo em planta baixa de encontro entre os painéis.



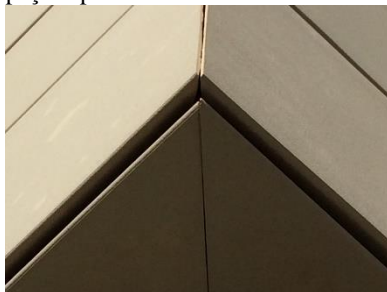
Fonte: Adaptado pela autora de Lunardelli (2014).

Figura 91 - Arremate de encontro entre os painéis.



Fonte: A autora (2018).

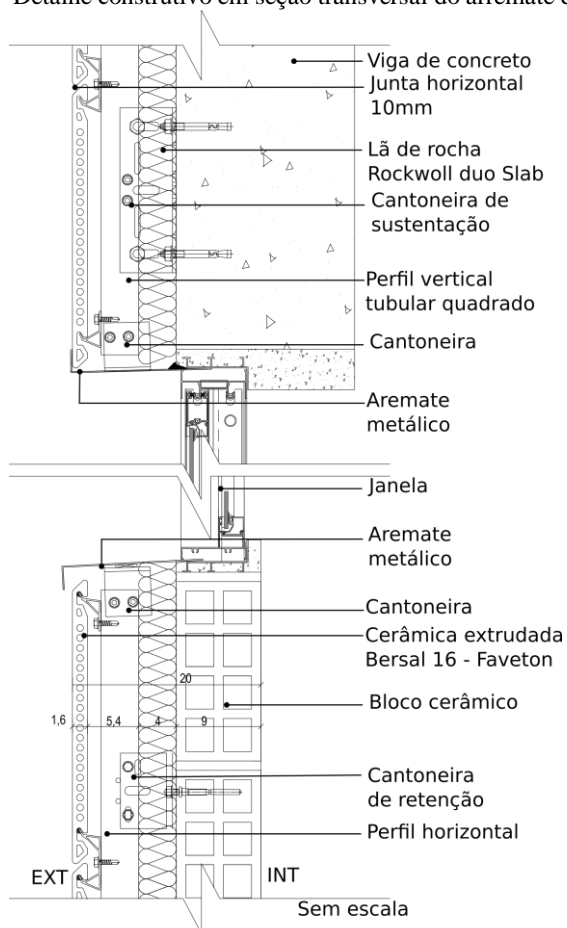
Figura 92 - Recorte em 45° das peças aplicadas nos cantos.



Fonte: A autora (2018).

Arremates das janelas: A Figura 93 apresenta o detalhe construtivo em seção transversal do arremate das janelas. Observa-se que todo o perímetro das janelas é contornado por uma estrutura em chapa metálica dobrada fixada no contramarco da janela. Nas Figuras 94 e 95 pode-se observar que na região do peitoril esta estrutura sai 1 cm fora do plano de fachada para formar a pingadeira.

Figura 93 - Detalhe construtivo em seção transversal do arremate das janelas.



Fonte: Adaptado pela autora de Lunardelli (2014).

Figura 94 - Arremate do peitoril das janelas em chapa metálica.



Fonte: Lunardelli (2015).

Figura 95 - Arremate do contorno das janelas em chapa metálica.



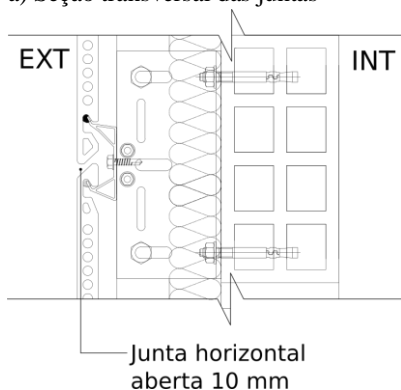
Fonte: Lunardelli (2015).

Arremates das juntas: As Figuras 96-a e 96-b mostram o acabamento sobreposto das juntas abertas. As juntas verticais possuem 3 mm de espessura, enquanto que as horizontais possuem 10 mm. As placas cerâmicas possuem borda superior e inferior com acabamento que possibilita o encaixe de modo sobreposto. Este encaixe permite uma configuração horizontal de junta que favorece a ventilação e evita que a água das chuvas entre para dentro da câmara de ar.

Figura 96 - Detalhes construtivos dos arremates das juntas.

a) Seção transversal das juntas

b) Juntas



Fonte: Adaptado pela autora de Lunardelli (2014).

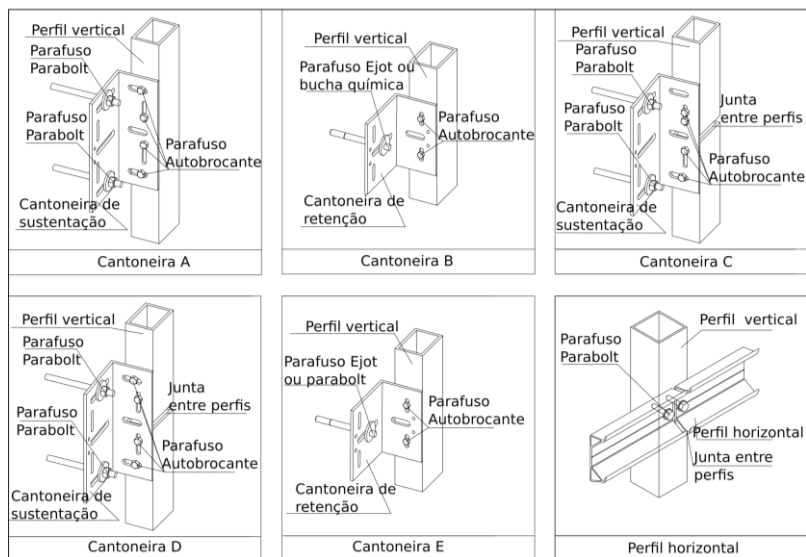


Fonte: Favegrup (2017).

Subestrutura: A fixação do revestimento externo na vedação interna é feita por meio de uma subestrutura metálica intermediária composta por perfis verticais e horizontais. Os perfis verticais são fixados

na vedação interna por meio de cantoneiras (sustentação ou retenção) e parafusos *parabolt*, enquanto que os perfis horizontais são fixados nos perfis verticais por meio de parafusos autobrocantes. O Quadro 11 apresenta os modelos de cantoneiras (A, B, C, D e E) de fixação do revestimento externo e o Quadro 12 apresenta as três modelos de perfis horizontais. De acordo com sua função e posicionamento no plano de fachada, os perfis horizontais podem ser classificados em perfil de arranque, perfil de intermediário e perfil de coroa.

Quadro 11 - Modelos de cantoneiras.



Fonte: Adaptado pela autora de Lunardelli (2014).

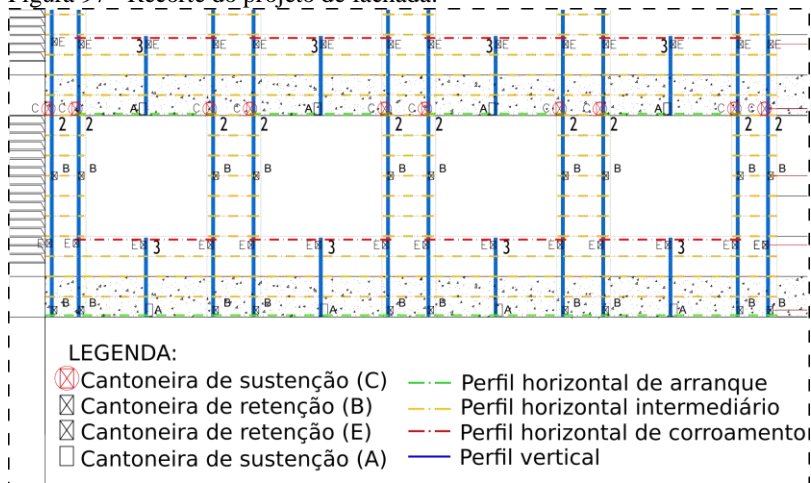
Quadro 12 - Modelos de perfis horizontais.



Fonte: Adaptado pela autora de Lunardelli (2014).

A Figura 97 apresenta um recorte do projeto de fachada da edificação no qual é possível observar o posicionamento das cantoneiras e dos perfis ao longo da vedação interna. Nesta figura, os retângulos representam as cantoneiras (sustentação e retenção) de acordo com os modelos apresentados no Quadro 11. As linhas em azul representam o perfil vertical tubular quadrado. As linhas em vermelho, amarelo e verde representam os perfis horizontais de ancoragem das peças cerâmicas de acordo com o Quadro 12.

Figura 97 - Recorte do projeto de fachada.



Fonte: Adaptado pela autora de Lunardelli (2014).

Por meio da sobreposição do recorte do projeto em uma fotografia da execução da fachada, torna-se possível observar que o projeto permite a montagem da fachada com precisão e fidelidade. Além disso, o projeto de fachada também permite o dimensionamento adequado dos componentes de montagem, o que resulta na redução do desperdício de material com componentes extras e recortes *in loco*, uma vez que as placas chegam da fábrica no local da obra com as dimensões definidas no projeto.

6.2.2 Processos de inspeção e manutenção

O edifício localiza-se na cidade de São José, região metropolitana da capital Florianópolis. Assim como no estudo A, o edifício B está situado próximo ao oceano Atlântico cuja umidade média do ar é de 80 %. A combinação da alta umidade do ar com a atmosfera marítima acelera a degradação dos elementos das edificações.

De acordo com o Manual de Manutenção da fachada de cerâmica extrudada, a periodicidade e os produtos que devem ser aplicados para a limpeza técnica do revestimento cerâmico variam em função do tipo de limpeza pretendido. O Quadro 13 sintetiza os tipos de limpeza, os procedimentos e produtos que podem aplicados nas cerâmicas extrudadas.

Quadro 13 - Procedimentos de limpeza técnica da cerâmica extrudada.

Tipo limpeza	Procedimento e produto aplicado
Limpeza pós-obra	Para limpeza da sujeira decorrente de poeira do trabalho dos cortes de peças cerâmicas, indica-se aplicar água pressurizada. Para os locais que possuem acúmulo de resíduos de construção (concreto, cimentos), recomenda-se aplicação direta neste locais de uma solução de água que contém 20 % ácido clorídrico. Aplica-se esta solução sobre o resíduo, deixa-se agir e limpa com jato forte de água limpa. O processo de limpeza deve ser iniciado sempre do nível mais alto da edificação, para o nível mais baixo.
Limpeza dos poluentes atmosféricos	A limpeza será realizada com água pressurizada, não sendo necessário qualquer tipo de solvente. A frequência desta limpeza dependerá do grau de sujeira, sendo de 5 a 10 anos para áreas com poluição média, e em torno de 2 anos para áreas onde a poluição é alta.
Limpeza de grafite	Recomenda-se aplicação de um solvente comum como acetona (propanona) diretamente sobre a área pichada.

Fonte: Favegrupterracota (200-).

Observa-se que para a limpeza de poluentes atmosférico, por exemplo, a periodicidade oscila em função dos níveis de poluição da área entorno do edifício, sendo recomendado o uso de equipamentos como jatos de água, pois a alta pressão promovida por estes equipamentos tem a função remover as partículas contaminantes somente com água.

A partir da realização ‘Inspeção pré-exame visual’, observou-se a presença de manifestações patológicas pontuais e insuficientes para viabilizar a contratação do equipamento VANT e aplicação das demais etapas do método de inspeção visual. Deste modo, optou-se por apresentar as anomalias por meio de fotografias feitas pela pesquisadora. Além disso, foram utilizadas fotografias da edificação feitas com drone em 2017 cuja finalidade era a divulgação do projeto. Embora estas fotografias não sigam o método de inspeção proposto nesta dissertação, optou-se por utilizá-las, juntamente com fotografias tiradas *in loco*, com o intuito de ampliar o mapeamento das possíveis anomalias.

A Figura 98 apresenta as manchas brancas provenientes da pintura feita no volume de escadas de emergência da edificação. Estas manchas são decorrentes de falhas ocorridas durante a pintura das vedações revestidas com reboco ao lado cerâmica extrudada e da falta da limpeza pós-obra. Salienta-se que, após o término de uma obra, deve-se proceder com limpeza geral do edifício a fim de retirar os resíduos de construção, conforme segue as recomendações técnicas apresentadas pelos fabricantes do revestimento externo no Quadro 13.

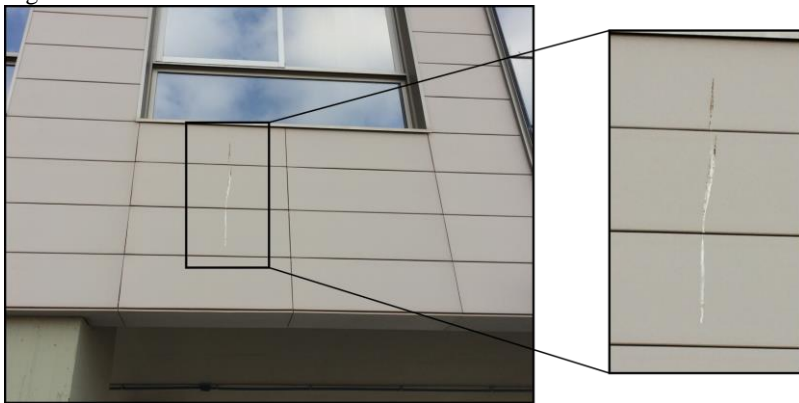
A Figura 99 apresenta sujidades como fezes de aves, enquanto que a Figura 100 apresenta o destacamento de uma placa cerâmica de arremate inferior. As causas deste desprendimento podem estar relacionadas com desgaste gerado pelo uso e operação da edificação ou por falhas durante a execução da fachada. Observa-se que o desprendimento completo desta peça cerâmica pode ocasionar acidentes tanto com pessoas como com bens materiais, uma vez abaixo de onde a peça se encontra ancorada está localizada a garagem descoberta.

Figura 98 - Manchas de tintas provenientes do volume de escadas de incêndio.



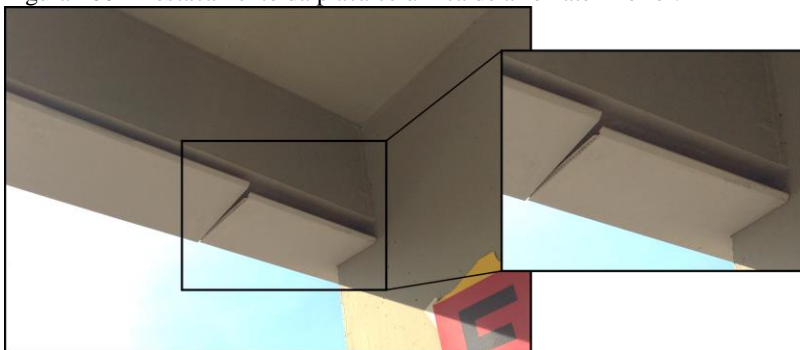
Fonte: A autora (2018).

Figura 99 - Manchas decorrentes de fezes de aves.



Fonte: A autora (2018).

Figura 100 - Destacamento da placa cerâmica de arremate inferior.



Fonte: A autora (2018).

A Figura 101 apresenta manchas decorrentes do escoamento do elemento de arremate superior em concreto. A textura áspera do concreto permite a incrustação de microrganismos gerados pela poeiras e pela umidade do ar. Segundo Carrió (1997), este fenômeno pode aparecer em acabamentos verticais e horizontais constituídos por materiais porosos que em contato com a água apresentam absorção por capilaridade. Neste estudo, a umidade proveniente das águas das chuvas se acumula sobre a marquise de acabamento superior permitindo a instalação microrganismos e possível proliferação para os planos de fachada.

Figura 101 - Microrganismo no arremate superior em concreto.



Fonte: Adaptado pela autora de Lunardelli (2017).

O baixo índice de sujidades perceptíveis na cerâmica extrudada pode ser justificado pela textura do revestimento e pela geometria plana da fachada da edificação. Segundo Carrió (1997), a textura e a geometria dos planos verticais condicionam fatores relacionados com a velocidade do escoamento da água e a propensão ao acúmulo de partículas de sujidades. O revestimento externo do edifício em questão possui textura lisa e sem propensão ao acúmulo de sujidades, conforme mostra a Figura 102. De acordo com o Manual de manutenção da fachada de cerâmica extrudada, apenas 1 % dos resíduos de poluentes atmosféricos é absorvido pela textura das placas cerâmicas. Em relação à geometria, observa-se que os planos verticais possuem caráter homogêneo, apresentando reentrâncias significativas apenas nos vãos das janelas, mas que, devido ao acabamento metálico, acumulam pouca sujeira.

Outro detalhe construtivo que contribui para a preservação do revestimento externo é o afastamento de cerca de 1 cm do acabamento metálico de arremate inferior da janela, conforme mostra a Figura 103. Esta diferença permite a drenagem da água acumulada no peitoril de modo que não escorra e manche o revestimento externo.

Figura 102 - Textura das peças cerâmicas aplicadas no projeto.



Fonte: A autora (2018).

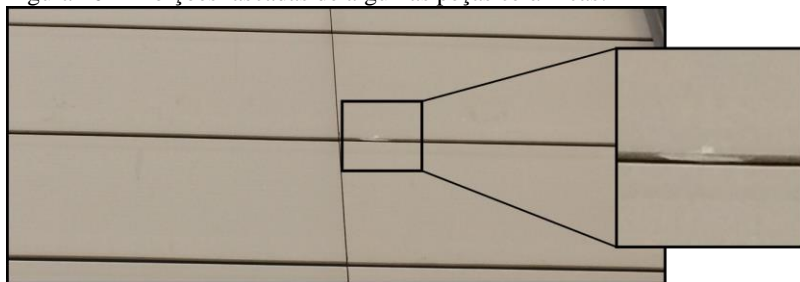
Figura 103 - Pingadeira metálica no peitoril das janelas.



Fonte: Lunardelli (2015).

O revestimento em cerâmica extrudada possui pré-disposição ao aparecimento de fraturas nos pontos de encaixe entre a placa e o fixador metálico. Na fachada analisada, foi observado que as placas cerâmicas estão íntegras quanto às possíveis rupturas, porém alguns pontos apresentam pequenas porções lascadas, conforme mostra a Figura 104. Verifica-se que estas partes lascadas possuem dimensões que não comprometem a integridade e a funcionalidade do revestimento externo, assim como seu aspecto estético.

Figura 104 - Porções lascadas de algumas peças cerâmicas.



Fonte: A autora (2018).

Observa-se que, caso existissem fraturas comprometessem a funcionalidade da fachada, deveria ser feita a remoção e a substituição completa da placa defeituosa. Neste contexto, é importante salientar que as placas de cerâmica extrudada oferecem a possibilidade de substituição por meio da retirada pontual da peça com defeito, quer seja pela desfragmentação completa da peça, ou então pelo simples desencaixe.

Analisando as condições gerais de conservação da edificação é possível concluir que as manifestações patológicas detectadas possuem caráter pontual e simplificado. A adoção de juntas abertas favoreceu a ventilação da câmara de ar e preveniu possíveis anomalias vinculadas com os materiais selantes. Dentre as manifestações patológicas identificadas neste estudo, destacam-se sujidades decorrentes do ambiente natural em que a edificação está localizada e manchas de tinta. Entretanto, observou-se que a maioria das manchas são decorrentes de falhas ocorridas durante execução da pintura da obra, e portanto, podem ser removidas com a realização de limpeza pós-obra seguindo as instruções do Manual de Manutenção da fachada de cerâmica extrudada.

7 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Neste capítulo são apresentados os resultados comparativos entre os estudos de caso no que tange os aspectos projetuais, construtivos, de inspeção e de manutenção, assim como os resultados referentes ao método auxiliado por VANT.

7.1 RESULTADOS QUANTO AOS ASPECTOS PROJETUAIS E CONSTRUTIVOS

Ambas as edificações são caracterizadas como edificações corporativas, pois dispõem de salas de escritórios em seu programa necessidades. Diferente das demais construções do segmento corporativo, em que o uso do vidro prevalece sobre os demais materiais, ambas as edificações possuem grandes porções de fachada com câmara de ar, sistema tradicional em alvenaria de blocos cerâmicos e vidro na composição do planos verticais. O Tabela 2 apresenta a síntese dos quantitativos dos subsistemas construtivos aplicados no invólucro das edificações A e B, bem como sua porcentagem em relação a área total de fachada.

Tabela 2 - Quantitativos dos subsistemas externos dos edifícios A e B.

Materiais	Edifício A	Edifício B
Área total de fachada	1724,12 m ²	13100,00 m ²
Vidro	349,79 m ² (20 %)	4538,20 m ² (34,6 %)
Alvenaria de blocos cerâmicos	8072,51 m ² (51 %)	4774,80 m ² (36,4 %)
Fachada industrializada	501,82 m ² (29 %)	3783,00 m ² (29 %)

Fonte: Elaborado pela autora (2018).

Observa-se que ambas as edificações possuem, coincidentemente, 29 % de área de fachada industrializada com câmara de ar. A principal diferença entre elas diz respeito à configuração da câmara de ar, tendo em vista que o estudo de caso A possui uma câmara de ar estática e o estudo de caso B possui uma câmara de ar convectiva. Com relação aos percentuais de alvenaria, nota-se as duas edificações possuem a alvenaria de blocos cerâmicos como o subsistema com o maior percentual de área dentre os três aplicados, mesmo sem quantificar a área da vedação interna das fachadas industrializadas, que também é composta de alvenaria.

Dentre as diferenças relativas aos aspectos projetuais dos edifícios analisados, observou-se que os projetos disponibilizados para análise do

estudo de caso A não apresentavam detalhes construtivo da fachada industrializada. Por outro lado, os documentos disponibilizados para análise do estudo de caso B apresentavam um projeto específico de fachada com detalhes construtivos para auxiliar na execução e montagem da fachada.

No edifício A, diferentemente do edifício B, observou-se a presença algumas incongruências projetuais que são reflexo da falta projeto e de detalhamento de fachada, como por exemplo a falta de selante em algumas juntas, peitoris de janelas sem pingadeira, além de fixações rebitadas nos locais com pouca visibilidade que destoam do modo de fixação adotado na fachada.

O dimensionamento inadequado dos orifícios de ventilação do estudo A é outra consequência decorrente da falta de projeto e detalhamento de fachada. Para que ocorra o fenômeno da chaminé térmica em edifícios com juntas seladas é necessário que existam aberturas na parte superior e inferior do revestimento externo. Essa condição inexiste na edificação A, tendo em vista que o mesmo possui aberturas de ventilação apenas parte inferior do revestimento da fachada, o que fisicamente impossibilita a convecção do ar dentro da câmara.

Com relação aos aspectos construtivos, o Quadro comparativo 14 (próxima página) apresenta a sistematização dos dados referentes subsistemas construtivos de fachadas industrializadas aplicados nas duas edificações analisadas.

Observa-se diferenças significativas quanto os materiais, cores, dimensões e espessuras de placas empregados no revestimento externo. A fachada do estudo de caso A possui placas de revestimento externo mais finas e escuras que as placas aplicadas no estudo de caso B. O revestimento externo do edifício A possui uma paginação que mescla placas de dimensões variáveis produzidas a partir do painel padrão de proporções de 1,22 x 3,07 m, totalizando 41 tipos de painéis. Por outro lado, o revestimento externo do estudo de caso B mescla placas com dimensões menores com altura fixa, 0,3 m, e largura que varia entre 0,5 e 1,1 m, totalizando 22 painéis.

O estudo de caso A possui um quantitativo de 41 painéis distribuídos em 501,82 m², enquanto que o estudo de caso B possui 22 tipos de painéis distribuídos em 3783,00 m². Nota-se que o quantitativo total de tipos de painéis estudo de caso A alcança quase o dobro do número de painéis aplicados no estudo de caso B, porém a área de fachada industrializada em que estão distribuídas estas placas é 7,5 vezes menor que no estudo de caso B.

Quadro 14 - Comparativo dos aspectos construtivos entre os casos A e B.

Subsistemas		Estudo de caso A	Estudo de caso B
Externo	Material	Laminado fenólico	Cerâmica extrudada
	Cor	Carvalho real	Cinza
	Dimensão	Variável - Uso da placa padrão: 1,22 x 3,07 cm	Altura: 30 cm Largura: Variável
	Espessura	1 cm	16 mm
Interno	Material	Bloco cerâmico (9x14x24 cm)	Bloco cerâmico (9x14x24 cm)
	Reboco	Interno: 2,5 cm Externo: 2,5 cm	Interno: 2,0 cm Externo: ausente
Isolante térmico	Tipo	Ausente	Lã mineral
	Espessura		4 cm
Câmara de ar	Tipo	Estática	Convectiva
	Espessura	10 cm	5,4 cm
	Orifícios ventilação	Base do revestimento	Nas juntas
Juntas	Tipo	Fechadas	Abertas
	Espessura	Verticais: 10 mm Horizontais: 10 mm	Verticais: 3 mm Horizontais: 10 mm
Sistema de fixação	Tipo de fixador	Subestrutura intermediária	Subestrutura intermediária
	Forma de fixação	Linear contínua soldada no tardo do revestimento	Linear contínua com entalhe no revestimento
	Tipo	Oculto	Oculto

Fonte: Elaborado pela autora (2018).

Com relação ao subsistema interno, ambas as edificações são em alvenaria de bloco cerâmico, porém o edifício A se difere do B pela presença de reboco em ambos os lados da parede. A aplicação da camada de reboco pelo lado externo se mostra opcional, pois a parede será recoberta pela manta isolante térmica ou, na ausência desta, pelo próprio revestimento externo. Por outro lado, o reboco pelo lado interno torna-se necessário, uma vez que funciona como o acabamento interno do edifício. Um ponto que deve ser observado no dimensionamento de uma fachada industrializada diz respeito à dimensão longitudinal dos parafusos e a espessura da vedação interna, tendo em vista aplicação de parafusos

muito longos em paredes mais finas pode levar a sua transposição para ambiente interno.

O subsistema isolante térmico associado a câmara de ar tem a função de melhorar o conforto térmico dentro do ambiente interno, atuando de modo a evitar elevada amplitude térmica entre o exterior e interior tanto no verão quanto no inverno. Observa-se que o estudo de caso A não possui o subsistema isolante térmico, ao tempo que o estudo de caso B possui 4 cm de manta térmica de lã mineral. Essa condição leva a crer que a camada isolante ainda é tratada como algo opcional por parte profissionais da construção civil.

A associação da câmara de ar com os orifícios de ventilação é responsável pelas melhorias térmicas resultantes do efeito chaminé. Com relação a câmara de ar, o estudo de edifício A possui câmara com 10 cm de espessura e o edifício B possui câmara de ar com 5,4 cm. Ambas as dimensões são suficientes para que ocorra a convecção do ar, porém esse fenômeno ocorre apenas no edifício B cuja câmara é convectiva. A câmara de ar no estudo de caso A é estática, pois o edifício apresenta aberturas apenas na base do revestimento externo, enquanto que o edifício B possui aberturas em todas as juntas. As aberturas de ventilação do edifício A apresentam dimensionamento inadequado para que ocorra a convecção dentro da câmara, sendo necessário proceder com um intervenção de desobstrução da região superior do plano fachada. Por outro lado, o edifício B possui juntas abertas entre as placas dos revestimento externo que permitem que o ar entre e saia da câmara.

Com relação as juntas, observa-se que o edifício estudo de caso A possui juntas seladas cuja dimensão padrão é 10 mm, e o edifício B juntas abertas cuja dimensão padrão é 10 mm na horizontal e 3 mm na vertical. No edifício revestido por placas cerâmica, as juntas horizontais possuem um acabamento que permite o encaixe das peças de modo sobreposto. Este encaixe permite uma configuração horizontal de junta que favorece a ventilação e evita que as chuvas penetrem para dentro da câmara de ar.

Por fim, a última análise abrange os sistemas de fixação do revestimento. Observa-se que ambas as edificações possuem sistema de fixação oculto com perfis verticais e horizontais. O que as difere é o modo de fixação no perfil horizontal: o estudo de caso A possui uma conexão em chapa dobrada soldada no tardo da placa fenólica e o estudo B possui entalhes na parte superior e inferior das peças cerâmicas que permitem o encaixe no perfil horizontal.

7.2 RESULTADOS QUANTO AOS ASPECTOS DE INSPEÇÃO DE MANUTENÇÃO

Com o objetivo de facilitar a visualização das manifestações patológicas, optou-se por sintetizá-las em quadros por estudo de caso. Cada quadro é composto por itens que resumem as manifestações patológicas quanto à sua forma de apresentação, prováveis causas e orientação de fachada recorrente. No que se refere as prováveis causas, adotou-se a divisão em causas de origem direta e causas de origem indireta, no qual a diretas possuem relação com o uso e a operação e a indiretas possuem relação com o projeto e a execução da fachada. O Quadro 15 apresenta as manifestações patológicas detectadas no estudo de caso A.

Quadro 15 - Síntese da manifestações patológicas no estudo de caso A.

Manifestações patológicas		Recorrência			
Forma de apresentação da lesão patológica	Prováveis causas (Diretas e Indiretas)	Fachada			
		L	S	O	N
Manchas brancas abaixo do peitoril das janelas	Diretas: Partículas decorrentes do meio em que a edificação está inserida; Indiretas: Produtos de limpeza aplicados nos vidros das janelas;	✓	✓		✓
Acúmulo de sujidades na parte inferior dos planos de fachadas	Diretas: Partículas decorrentes do meio em que a edificação está inserida;	✓	✓	✓	✓
Manchamento das bordas dos painéis pelo material constituinte do selante	Indiretas: Penetração do material constituinte do selante nas bordas dos painéis devido aos redimensionamento das peças;	✓	✓	✓	✓
Delaminação da película protetora	Diretas: Intempéries climáticas; Indiretas: Manufaturação do produto e redimensionamento dos painéis;	✓	✓	✓	
Desprendimento e oxidação do perfil metálico	Diretas: Metal em contato com o oxigênio; Indiretas: Falhas na execução;	✓	✓	✓	
Rebites expostos	Indiretas: Falhas projetuais e falhas de execução;				✓

continua

		continuação			
Ausência de selante	Indiretas: Falhas de execução;				✓
Oxidação do letreiro	Diretas: Metal em contato com o oxigênio;	✓			
Ressecamento das juntas	Diretas: Sujidade excessiva e altos níveis de exposição solar; Indiretas: Falhas de execução e manutenção que acarretam no validade ultrapassada do selante.	✓	✓	✓	✓

Fonte: Elaborado pela autora (2018).

Observa-se que as manifestações patológicas como o acúmulo de sujidades na borda inferior dos planos de fachadas, o manchamento das bordas dos painéis pelo material constituinte do selante e ressecamento das juntas foram detectados em todas as fachadas. Por outro lado, a delaminação da película protetora e o desprendimento do rebites de fixação do acabamento metálico de arremate foram detectados nas fachadas Leste, Sul e Oeste, enquanto que a fachada Norte manteve-se conservada. A fachada Norte caracteriza-se por receber aproximadamente 5 h 30 min de sol no verão e 10 horas no inverno. Dentre as quatro fachadas analisadas, a Norte é a que possui a maior quantidade de horas de insolação direta durante o ano⁶, mas é a fachada que apresenta o melhor estado de conservação da película protetora. Isso sinaliza que as causas da delaminação da película protetora das outras fachadas podem ter maior relação com qualidade inicial do produto e com recortes realizados para redimensionamento das placas, do que com os níveis de exposição solar.

O ponto mais preocupante quanto as manifestações patológicas detectadas no estudo de caso A diz respeito a magnitude de algumas anomalias, como o caso do descolamento da película protetora do laminado fenólico. O estado de deterioração desta película em algumas fachadas atingiu proporções que seu reparo demanda a substituição total das peças danificadas.

⁶ Dados obtidos a partir da análise da carta solar para a cidade de Florianópolis disponível no Apêndice B.

Com relação as manifestações patológicas encontradas no estudo de caso B, o Quadro 16 sintetiza as principais anomalias encontradas.

Quadro 16 - Síntese da manifestações patológicas no estudo de caso B.

Manifestações patológicas		Recorrência			
Forma de apresentação da lesão patológica	Prováveis causas (Diretas e Indiretas)	Fachada			
		L	S	O	N
Manchas de tinta branca	Indiretas: Falta de limpeza pós-obra;			✓	
Acúmulo de sujidades e fezes de aves	Diretas: Partículas decorrentes do meio em que a edificação está inserida;	✓	✓	✓	✓
Desprendimento de lascas das peças cerâmicas	Indiretas: Falhas na execução;	✓	✓	✓	✓
Desprendimento de peça cerâmica	Indiretas: Falhas na execução.	✓			

Fonte: Elaborado pela autora (2018).

Observa-se que o edifício B apresenta poucas manifestações patológicas quando comparado ao estudo A e que algumas destas anomalias são decorrentes da falta de limpeza após a conclusão do edifício em 2015, caracterizando-se portanto, como manifestações patologias indiretas resultantes de falhas de execução.

Outro ponto a ser considerado quanto as anomalias encontradas no estudo de caso B diz respeito a suas proporções, tendo em vista que pequenas intervenções de reparo e limpeza técnica seguindo as instruções do fabricante presentes no Manual de Manutenção da fachada de cerâmica extrudada parecem ser suficientes para a sua eliminação.

7.3 RESULTADOS QUANTO AOS PROCESSOS DE INSPEÇÃO

A inspeção dos locais mais altos das edificações por métodos tradicionais demanda uma logística que envolve a locação, a montagem e desmontagem de andaimes, escadas e equipamentos de segurança, assim como, a execução por meio de mão de obra qualificada. Com aplicação dos VANT, esta logística simplifica-se com a utilização de um único aparelho manipulado por um operador qualificado e orientado um profissional da área. Porém, toda a celeridade e simplificação que os drones possibilitam à inspeção de fachadas pode ser prejudicada por condições climáticas desfavoráveis, altos níveis de exposição solar e

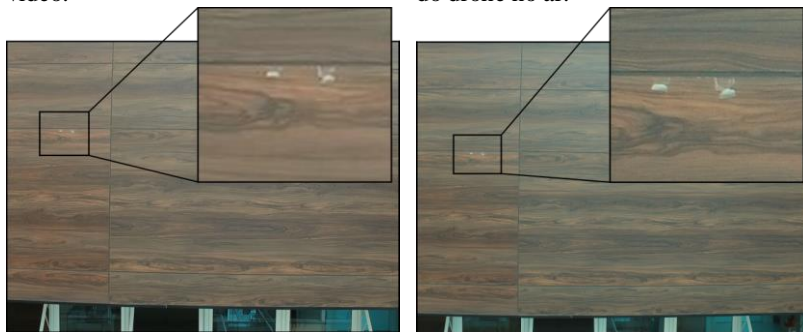
existência de obstáculos próximos às fachadas inspecionadas. A ação do vento e da chuva, por exemplo, podem dificultar ou até mesmo impedir a realização da inspeção.

Em virtude da reduzida quantidade de manifestações patológicas encontradas no estudo de caso B, as etapas do método de inspeção que abrangem a aplicação do drone restringiram-se apenas ao estudo de caso A. Para o estudo B, optou-se em analisar a viabilidade da aplicação do método a longo prazo, tendo em vista que este edifício teve sua execução finalizada a apenas três anos.

O drone é um equipamento que permite a obtenção de imagens por meio de duas técnicas: vídeo e fotografia. Deste modo, antes de iniciar a inspeção das fachadas no estudo de caso A, optou-se por testar duas técnicas a fim de escolher a mais adequada. A primeira caracteriza-se pela filmagem da fachada e posterior obtenção das fotografias das manifestações patológicas por meio de capturas de imagens instantâneas no próprio vídeo. A segunda técnica caracteriza-se pelo voo seguido de paradas para obtenção das fotografias. A primeira técnica para obtenção da fotos se mostrou menos eficiente do que o segunda em virtude da baixa resolução das imagens geradas pelo vídeo seguido da captura instantânea. A segunda, embora de execução mais demorada, se mostrou eficaz, pois a resolução das fotos permitiram a identificação das manifestações patológicas. As Figuras 105-a e 105-b apresentam os resultados comparativos entre as duas técnicas testadas. Nota-se que resolução da imagem obtida por captura instantânea do vídeo possui qualidade inferior que imagem obtida pelo voo seguido de paradas.

Figura 105 - Técnicas testadas de obtenção das fotografias.

- a) Foto obtida a partir capturas no vídeo. b) Foto obtida com o posicionamento do drone no ar.

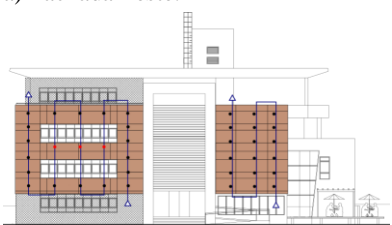


Fonte: Adaptado pela autora de Hillmann (2017).

Após os testes, adotou-se a segunda técnica para prosseguir com a inspeção das fachadas. As Figuras 106-a, 106-b, 106-c e 106-d apresentam a alocação da varredura e a distribuição dos pontos de para obtenção das imagens da fachada do edifício A. Devido à geometria dos planos de fachada, optou-se pela varredura verticalizada. Quanto à distribuição dos pontos, utilizou-se como referência as dimensões das placas fenólicas, adotando, respectivamente, 1,22 m e 3,07 m como distância vertical e horizontal entre os pontos. Com relação a distância do drone em referência ao plano de fachada, foi adotada a medida padrão 0,8 m. Os pontos sinalizados em preto são os locais em que o drone realizou as paradas para obtenção das imagens. Os pontos sinalizados em vermelho são os locais prejudicados pelos obstáculos e interferências do entorno do edifício, sendo que a linha em azul é o sentido da varredura do equipamento.

Figura 106 - Alocação da varredura e distribuição dos pontos de captura das fotografias no estudo de caso A.

a) Fachada Leste.



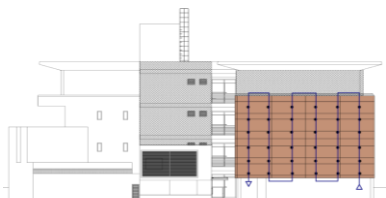
- Pontos de captura das fotografias (48 pontos)
- Pontos prejudicados por obstáculos
- ▶ Varredura vertical

b) Fachada Sul.



- Pontos de captura das fotografias (53 pontos)
- Pontos prejudicados por obstáculos
- ▶ Varredura vertical

c) Fachada Oeste.



- Pontos de captura das fotografias (36 pontos)
- Pontos prejudicados por obstáculos
- ▶ Varredura vertical

d) Fachada Norte.



- Pontos de captura das fotografias (22 pontos)
- Pontos prejudicados por obstáculos
- ▶ Varredura vertical

Fonte: Adaptado pela autora de Hillmann (2017).

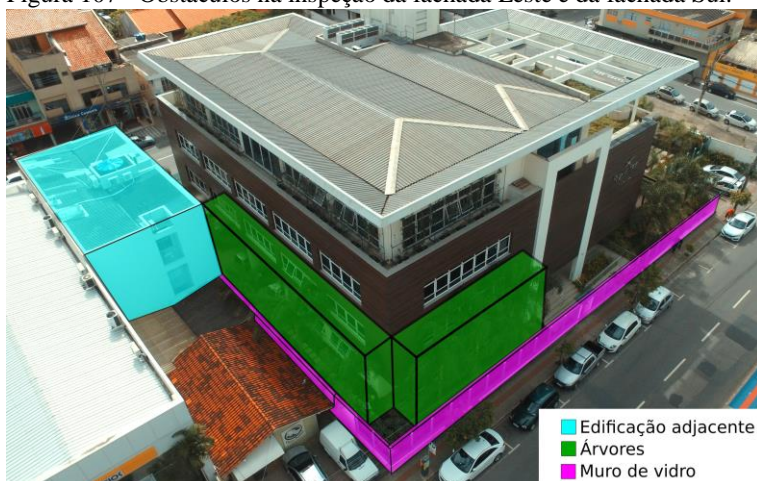
Outro ponto importante e que também influenciou na qualidade das imagens obtidas diz respeito às condições favoráveis de luminosidade encontradas no dia da inspeção. O céu estava parcialmente nublado no dia 07.11.2017. Essas condições permitiram a obtenção de fotografias com

boa qualidade para identificação das manifestações patológicas, pois a iluminação difusa gerada pela nebulosidade suavizou as possíveis sombras e contrastes existentes nos painéis fenólicos fotografados.

Com relação ao modo de operação do equipamento, os drones possuem um sistema de navegação por satélite integrado ao equipamento que torna possível a criação de um plano de voo e a realização autônoma das varreduras. No entanto, para o edifício A, devido aos obstáculos próximos aos planos de fachada, adotou-se a operação manual do aparelho pelo técnico contratado. O uso do GPS (*Global Positioning System*) permite resultados mais precisos que a operação manual, porém sua aplicação se mostra mais adequada para edifícios cujos planos de fachadas são verticais e livres de obstáculos, pois a proximidade com o solo das edificações com pouco gabarito favorece a existência de barreiras físicas como as encontradas na edificação A.

Na Figura 107, observa-se obstáculos nas fachadas Leste e Sul. A presença de uma edificação geminada no lote adjacente sul, árvores no entorno e fiação elétrica aérea dificultaram a inspeção destas fachadas, resultando em desvios da rota pré-definida, fotografias mais distantes e com qualidade inferior. Somado a isso, o drone utilizado apresentou dificuldades de decolagem nos locais próximos a fachada Leste devido à interferência de sinal gerada pelos metais e vidros do muro que separam a edificação da rua.

Figura 107 - Obstáculos na inspeção da fachada Leste e da fachada Sul.



Fonte: Adaptado pela autora de Hillmann (2017).

Embora a inspeção do estudo de caso B não tenham sido feita seguindo todas as etapas do método inspeção proposto, algumas considerações podem ser feitas com relação a viabilidade técnica da aplicação completa dos métodos. Os planos de fachada do edifício B possuem características que favorecem sua aplicação dos drones, tais como a verticalidade e a inexistência de barreiras físicas próximas às fachadas. Deste modo, mostra-se viável o teste do método com o equipamento no modo de navegação automático (GPS).

Na Figura 108, observa-se a presença do terraço que funciona com garagem descoberta no entorno das duas torres do edifício. Este terraço facilita o acesso aos planos de fachada, uma vez que permite que o operador utilize este espaço como suporte durante a execução da inspeção. Essa área permite que o equipamento pouse e decole sem gerar risco à segurança das pessoas próximas ao edifício, bem como serve como uma barreira de segurança caso ocorra alguma pane com o drone durante o voo.

Figura 108 - Terraço entorno das duas torres do edifício.



Fonte: Adaptado pela autora de Lunardelli (2017).

Outro ponto importante com relação ao estudo de caso B diz respeito possibilidade de verificar a viabilidade técnica e financeira da aplicação do drone como ferramenta de acompanhamento do comportamento dos planos verticais frente a degradação a longo prazo. Por meio de inspeções periódicas e sistematizadas, torna-se possível criar um relatório periódico composto de imagens que possibilitem acompanhar o comportamento do revestimento externo frente ao envelhecimento natural. Essas imagens permitirão determinar os momentos mais adequados para serem realizadas intervenções de manutenção.

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As fachadas industrializadas com câmara de ar se configuram como uma solução construtiva do envelope aplicável a diversos tipos de edifícios e climas. O subsistema construtivo oferece revestimentos externos com grande variedade de materiais, cores e dimensões de placas que possibilitam configurações estéticas diferenciadas e estimulam a criatividade. Observa-se que a flexibilidade deste subsistema construtivo pode proporcionar menor quantidade de problemas construtivos devido à industrialização de seus componentes e controle de montagem, bem como pode facilitar a desconstrução e a separação dos diferentes materiais, a fim de permitir uma reciclagem dos materiais utilizados.

Esta pesquisa de caráter investigativo apontou que as fachadas industrializadas com câmara de ar estão ganhando progressivo e significativo espaço no país desde sua inserção por volta dos anos 90, abrangendo tanto obras de reforma e *retrofit* como obras de novos edifícios, mas que ainda estão passando por período de adaptação e aprovação do produto por parte de quem as usufrui.

Por meio dos estudos de caso, observou-se que alguns aspectos relativos ao projeto, execução e o comportamento deste tipo de vedação ainda são pouco conhecidos pelos projetistas e construtores brasileiros. Espera-se que este estudo baseado em análises técnicas de duas edificações consolidadas possa servir como subsídio para futuros projetos que façam uso deste subsistema construtivo no país.

8.1 CONSIDERAÇÕES QUANTO AOS ASPECTOS PROJETUAIS E CONSTRUTIVOS

Embora as duas edificações possuam características projetuais, construtivas distintas, que dificultam a construção de um paralelo entre si, observou-se a falta de alguns detalhes construtivos no estudo de caso A resultou e em uma fachada que apresenta incongruências projetuais, tais como locais como formas de fixação do revestimento externo diversa da adotada na maior parte da fachada, ausência de elementos e detalhes construtivos como isolante térmico e a pingadeira no peitoril das janelas, falta de material selante em algumas juntas e incompatibilidade entre alguns acabamentos.

Com relação aos subsistemas que compõem as fachadas industrializadas, observou-se a falta do isolante térmico na composição da fachada do estudo de caso A. O isolamento térmico aplicado às vedações é bastante difundido nos países do hemisfério norte, porém sua

aplicação no Brasil ainda não é muito comum. Observa-se que o tratamento do isolante térmico com algo opcional é uma consequência cultural gerada pelo clima mais ameno quando comparado ao Europeu.

A convecção do ar das fachadas com câmara de ar tem a função e oferecer benefícios hidrotérmicos aos edifícios, pois auxilia a redução do coeficiente global de transmissividade térmica da vedação interna e retira o excesso de umidade dentro da câmara. Com relação as configurações de câmara, observou-se que o estudo de caso A apresenta a configuração menos eficiente, enquanto que o estudo de caso B apresenta a configuração mais eficiente. No estudo de caso A, o ar estático dentro da câmara associado a ausência do isolamento térmico que não gera benefícios tanto para o verão quanto para o inverno. Por outro lado, no estudo de caso B, a junção da câmara de ar convectiva com o isolante térmico permite a renovação do ar e evita o aquecimento da parede ligada aos ambiente internos.

Observa-se que por meio de uma intervenção de baixo custo é possível transformar a câmara de ar estático do estudo e caso A em convectiva. Um pequeno recorte de cerca de 1 cm cria um orifício região superior do revestimento externo que permite a saída e renovação do ar dentro da câmara.

8.2 CONSIDERAÇÕES QUANTO A INSPEÇÃO

O edifício A é composto de revestimento em laminado fenólico com juntas seladas e possui sete anos de vida útil, enquanto que o edifício B é composto de revestimento em cerâmica extrudada com juntas abertas e possui apenas três anos. As análises demonstraram que o ponto mais relevante com relação as condições de degradação das vedações verticais externas concentra-se nas manifestações patológicas de origem indireta geradas pela na ausência de um projeto de fachada.

Todos os detalhes construtivos referentes a edificação A foram feitos com base no projeto arquitetônico, no catálogo do fabricante e em visitas técnicas, pois o projeto disponibilizado pelo escritório de arquitetura não dispunha de projeto e detalhamento suficiente para o entendimento da fachada analisada. A ausência de detalhamentos corrobora para o aparecimento das patologias indiretas, uma vez que aumenta a chance de ocorrer erros durante execução da obra.

Durante os sete anos do edifício A de funcionamento surgiram algumas manifestações patológicas decorrentes do uso e operação, tais como as sujidades, o ressecamento do selante, os pontos de oxidação e o desprendimento de acabamentos metálicos, porém as anomalias mais

significativas deste estudo abrangem as causas indiretas. Dentre as manifestações patológicas indiretas levantadas no edifício A, a delaminação da película protetora destaca-se como a situação mais preocupante. Como comentado anteriormente, existem duas hipóteses de origem indireta que podem justificar esta ocorrência: qualidade inicial das placas fenólicas e os recortes para o redimensionamento das peças com equipamentos inadequados. Nota-se que o nível de degradação das placas fenólicas de algumas fachadas comprometem tanto os aspectos compositivos como a funcionalidade do revestimento externo, bem como abrangem soluções de reparo que envolvem a substituição das peças.

Por outro lado, observa-se que o edifício B também possui anomalias de origem indireta, porém suas proporções são menos relevantes, exigindo apenas pequenas reparações pouco onerosas, como uma limpeza técnica seguindo as instruções do fabricante das placas cerâmicas.

A contribuição mais significativa observada quanto a inspeção das manifestações patológicas diz respeito aos problemas e complicações que a falta de detalhamento pode trazer aos usuários e projetistas durante o uso e operação das edificações. A ausência de detalhamento pode originar falhas na fachada durante a execução e provocar o surgimento de manifestações patológicas prematuras. Estas manifestações patológicas contribuem diretamente para a aceleração da degradação e consequentemente a obsolescência precoce das fachada.

8.3 CONSIDERAÇÕES QUANTO AOS PROCESSOS DE INSPEÇÃO

Tanto a tecnologia do VANT quanto sua aplicação como método de inspeção de fachadas são recentes. Os testes realizados como o VANT mostraram que sua aplicação para identificação das manifestações patológicas é satisfatória e adequada em um primeiro momento, porém para atingir diagnósticos mais precisos das anomalias identificadas, mostra-se necessário proceder com ensaios específicos que podem envolver métodos destrutivos, ou ainda, proceder com a substituição da câmera do equipamento por outra específica para identificação das anomalias, como por exemplo as câmeras de infravermelho.

Um ponto relevante com relação a método utilizado diz respeito ao modo de obtenção das imagens, uma vez que técnica de obtenção das fotografias em pontos pré-determinados se mostrou mais eficiente que a da filmagem. Outro ponto observado quanto a aplicação do drone na inspeção de fachadas abrange a avaliação dos obstáculos do entorno da edificação. Elementos como árvores, muros e postes de fiação elétrica

localizados próximo aos planos de fachada podem impedir que o equipamento acesse determinados locais.

Outra consideração importante em relação ao método envolve os diferentes níveis de luminosidade, tendo em vista que os altos níveis de exposição solar produzem fotografias com sombras e contrastes acentuados, o que prejudica a identificação das manifestações patológicas. Por outro lado, a iluminação difusa, que é encontrada em dias nublados ou em determinados horários do dia, favorece a nitidez das imagens, pois produz iluminação uniforme que suaviza os contrastes.

Embora o método de inspeção não tenha sido aplicado no estudo de caso B, nota-se que esta edificação possui características que favorecem a aplicação do VANT de modo sistematizado, tanto para detectar anomalias como para observar o desempenho da fachada frente ao envelhecimento natural.

Observa-se que estudos como esse fortalecem a disseminação da aplicação dos drones como ferramenta de auxílio para os métodos sistematizados de identificação das manifestações patológicas, uma vez que possibilitam a criação de estratégias de manutenção programadas, bem como servem como fonte de pesquisa para elaboração de planos de gerenciamento o comportamento das edificações ao longo de sua vida útil.

8.4 RECOMENDAÇÕES PARA PESQUISAS FUTURAS

O tema fachadas industrializadas com câmara de ar pode ser abordado de diversas formas. Nesta pesquisa optou-se englobar os aspectos projetuais, construtivos e os aspectos de inspeção e manutenção, com objetivo de fornecer subsídios para futuros projetos que utilizem este subsistema construtivo. Ao longo da pesquisa observou-se que devido a origem deste tipo de fachada, o maior número de pesquisas encontra-se na Europa.

Com relação a durabilidade, destacam-se estudos em países como a Espanha, Portugal e Itália, porém o maior número pesquisas concentra-se no comportamento da câmara de ar convectiva. Observa-se um consenso entre os pesquisadores sobre os benefícios da câmara de ar convectiva em situações de verão. No entanto, observam-se divergências com relação aos seus reais benefícios durante o inverno. A maior parte dos estudo baseiam-se em simulação, o que muitas vezes não corresponde à realidade do objeto estudo. Com base nisso, destacam-se os seguintes tópicos que podem ser estudados em pesquisas futuras:

- Levantar informações relativas projetuais, construtivos e de durabilidade de outros revestimentos externos aplicados nas fachadas ventiladas, tais como placas cimentícias, compósito de alumínio (ACM), pedras artificiais e pedras naturais produzidas no Brasil;
- Estudar a viabilidade técnica e financeira da aplicação fachadas industrializadas com câmara de ar comparando-a com os demais subsistemas construtivos aplicados como revestimento externo de vedações verticais, tais como revestimento argamassados e pinturas;
- Analisar aspectos relacionados a sustentabilidade e reciclabilidade gerada pela flexibilidade e facilidade de desconstrução do subsistema construtivo;
- Avaliar o comportamento térmico da câmara para o clima brasileiro com por meio de testes e medições em edificações já consolidadas;
- Ampliar o método de inspeção de manifestações patológicas para outras edificações com objetivo de testar a aplicação do VANT no modo autônomo;
- Analisar a viabilidade técnica e econômica da aplicação do VANT como instrumento que auxilie no acompanhamento do envelhecimento natural das edificações;
- Propor uma normativa brasileira com base em estudos de normas de outros países em que este subsistema se encontra mais desenvolvido;

REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, P. F. Q. **Painéis fenólicos para aplicação em fachadas exteriores.** 82f. Dissertação (Metrado em Engenharia Civil) – Instituto Superior de Engenharia de Lisboa. Portugal, Lisboa, 2013.

ANSUATEGUI, I. P. **La Fachada ventilada con ladrillo cara vista.** NA: Nueva arquitectura con arcilla cocida. (ConArquitectura). Madrid, Espanha, n.2, p.37-70, 1995.

AVELLANEDA, J; MARZO J. M. **Residencia y centor de día de la terceira edad Josep Lluís.** Revista Tectónica 2. Cerramientos pesados: Aplacados y Panales – Envolventes (II). Barcelona, n.2, p. 4-11, mai./ago. 1996.

BARTH. F.; VEFAGO, L. M. **Tecnologia de fachadas pré-fabricadas.** Florianópolis: Editora UFSC. 2016. 256p.

BARTH. F. **Flexible Design Processes to Reduce the Early Obsolescence of Buildings.** International Refereed Journal of Engineering and Science (IRJES). V.6, n.8, p. 7-18, 2017.

CAHIER TÉCNIQUE DU CSTB. **CPT 3450: Exigences applicables à façade légère à ossature en bois et en métal comportant en revêtement extérieur une peau de bardage.** Novembre, 2003.

CARRAMIÑANA, C. P.; GARCÍA, M. M.; GARCÍA, P. B.; PÉREZZ, S. D. C.; MATEU, M. A. **Ventilated Stone Veneer: Mechanical Behaviour, Calculation Methodologies, Major Pathologies and Existing Tests.** In: XII DBMC – Intenacional Conference of Durability of Building Material and Components. Porto, Portugal, 2011.

CARRÍO, J. M. **Patologia de cierramientos y acabados arquitectonicos.** 2ª ed. Editorial Munilla-Lería, 1997. 399p.
DÓRIA, M. **Projeto arquitetônico edificio de escritórios.** DoriaLopesFiuza. Curitiba, 2012.

DING, G., **The development of a multi-criteria approach for the measurement of sustainable performance for built projects and facilities.** 2004. 341f. (Tese) Thesis in Faculty of Design, Architecture & Building – University of Technology of Sydney, Sydney, Australia.

D' ORAZIO, M.; LENCI, S.; GRAZIANI, L. **Relationship between fracture toughness and porosity of clay brick panels used in ventilated façades: Initial investigation.** Engineering Fracture Mechanics. V. 116, p. 108-121, 2014.

DÓRIA, M. **Projeto arquitetônico do edifício de escritórios B.** Dória Lopes Fiuza Associados. Curitiba, 2012.

EIRAS, C.Q. **Cerramientos Pesados.** Revista Tectónica 2. Cerramientos Pesados: Aplacados y Panales – Envolventes (II). Barcelona, n.2, p. 12-27, mai./ago. 1996.

ESCHMANN, C.; KUO, C.M.; KUO, C.H.; BOLLER, C. **Unmanned Aircraft Systems for Remote Building Inspection and Monitoring.** In: 6th European workshop on structural health monitoring. p. 1-8, 2012.

FAVEGRUP TERRACOTA. **Manual de Mantenimiento de la fachada ventilada.** (200-). Disponível em: <<http://www.faveton.com/wp-content/uploads/pdfs/MANTENIMIENTO-FACHADAS.pdf>>. Acesso em: 10 fevereiro 2018.

FAVEGRUP. **Documento de adecuación al uso (DAU).** Zaragoza, p. 1-40, 2016.

GIL, A. C. **Métodos e técnicas de pesquisa social.** 6ª.ed. São Paulo: Atlas, 2008. 200p.

GOMIDE, T. F.; FAGUNDES N. J. C.; GULLO, M. **Normas técnicas para engenharia diagnóstica em edificações.** 1ª ed. São Paulo: Pini. 2009.

GUIA L.P. DA; PEREIRA P. H. C. **Metodologia para formação de profissionais em inspeção de fachadas em edificações utilizando a robótica móvel.** In: XIV International Conference on Engineering and Technology Education. Salvador, p. 203-305, 2016.

GUTIÉRREZ, J.; MAS, A.; GIL, E.; GALVAN, V. **Clay-related damage in rainscreen walls built with stone coverings.** Construction na Buildings Materials. V. 29, p. 357-367, 2011.

HILLMANN S. R. **Empresa especializada em prestação de serviços de imagens com drones**. Florianópolis, 2017.

IBAÑEZ-PUY, M.; VIDAURRE-ARBIZU, M.; SACRISTÁN-FERNÁNDEZ, A. J.; MARTÍN-GÓMEZ, C. **Opaque Ventilated Façades: Thermal and energy performance review**. Renewable na Sustainable Energy Reviews. V. 79, p. 180-191, 2017.

LICHTENSTEIN, N. B. **Patologia das construções**. Boletim técnico. n.06. São Paulo: USP, 1986.

LUNARDELLI, F. **Projeto de fachadas**. Favegrup Brasil. São José, 2014.

MAFRA, R. **Projeto arquitetônico do edifício de escritórios A**. Arbos Arquitetura e Representações Ltda - ME. Itajaí, 2011.

MAS, A.; GUTIÉRREZ, J.; GIL, E.; GIL, A.; GALVAN, V. **Design and construction recommendations to improve impermeability in raincreen walls built natural stone coverings**. Construction na Buildings Materials. V. 25, p. 1753-1761, 2011.

MOURA, E. **Fachadas Respirantes**. *Téchne*. Paulo, n.144, p. 1-2, mar.2009. São Disponível em: <<http://www.revistatechne.com.br/engenhariacivil/144/artigo128934-4.asp>>. Acesso em: 15 de junho de 2017.

MÜLLER, A. **Desenvolvimento de um protótipo e análise do comportamento térmico de fachada ventilada com placas cerâmicas de grês porcelanato**. 395f. Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais) – Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2003.

NETO, N.; BRITO, J. de. **Validation of an inspection and diagnosis system for anomalies in natural stone cladding (NSC)**. Construction and Building Materials. V. 30, p. 224-236, 2012.

PATÓN, V. **El nacimiento de una técnica**. Revista Tectónica 2. Cerramientos Pesados: Aplacados y Panales – Envolvertes (II). Barcelona, n.2, p. 4-11, mai./ago. 1996.

PETERMANN, M. **ASTM Standardization New: Building Facade Inspections**. Disponível em: <<https://www.astm.org/standardization-news/?q=update/building-facade-inspections-ma16.html>>. Article March/April 2016 issue of Standardization News. Acesso em: 06 fevereiro 2018.

POLETTE, M.; MARENZI, R.C.M.; SANTOS, C.F.(Org.). **Declividade**. In: ARAÚJO, S.A. Atlas socioambiental de Itajaí. Itajaí. Editora da Univali, 2012.

RICHARDSON, R. J. **Pesquisa social: métodos e técnicas**. 3ª ed. São Paulo: Atlas, 1999.

SABBATINI, F. H.; MEDEIROS, J. S. **Tecnologia e projeto de revestimentos cerâmicos de fachadas de edifícios**. Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP. São Paulo, 1999.

SANJUAN C.; SÁNCHEZ M. N.; DEL M.; HERAS R.; BLANCO E. **Experimental analysis of natural convection in open joint ventilated façades with 2D PIV**. Build Environ.V.46, p.2314-25, 2011.

THÉBAULT, M.; KANDELBAUER, MÜLLER. A.; ZIKULNIG-RUSCH, E.; LAMMER, H. **Factors influencing the processing and technological properties of laminates based on phenolic resin impregnated papers**. European Journal of Wood and Wood Products. V.75, p.785-806, 2017.

THOMSEN. A.F.; VAN DER FLIER, C.L. **Understanding obsolescence: a conceptual model for buildings**, *Building Research and Information*, V. 39 n.4, p. 352-362, 2011.

YASIN, M.F.IL M.; ZAID, M. A.; MOHD, N. **A review of Small Unmanned Aircraft System (UAS) advantages as a tool in condition survey Works**. In: MATEC Web of Conferences. V. 66, p. 1-5, 2016.

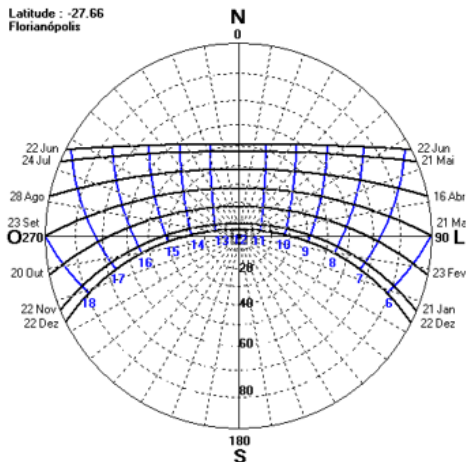
YAKUB, I.; DU, J.; SOBOYEJO, W.O. **Mechanical properties, modeling and design of porous clay ceramics**. Materials Science & Engineering. V.558, p.21-29, 2012.

YIN, R. K. **Estudo de caso: planejamento e métodos**. Traduzido por Daniel Grassi, 2ª ed. Bookman. Porto Alegre, 2001.

APÊNDICE A - Carta solar para cidade de Florianópolis

Carta solar gerada pelo programa Analysis SOL-AR, e disponibilizado no site do Laboratório de Eficiência Energética da UFSC - LabEEE (<http://www.labeee.ufsc.br>).

Figura 1 - Carta solar para Florianópolis.



Fonte: Analysis SOL-AR (2017).

Tabela 1 - Horas diárias de insolação direta nas fachadas do edifício A.

Área de fachada industrializada x Horas diárias de insolação direta

F	Área	Verão	Total	Inverno	Total
N	73,30m ²	12:00-17:30	5h30min	Sol o dia todo	10h
S	180,23m ²	5:00-10:30 18:00-19:00	5h30min	Sem sol durante o dia todo	-
L	134,48m ²	5:00-12:00	7h00min	7:00-13:00	6h00min
O	108,00m ²	12:30-19:00	6h30min	13:30-17:00	3h30min

Fonte: Elaborado pela autora (2017).