

**UNIVERSIDADE DO VALE DO RIO DOS SINOS - UNISINOS  
UNIDADE ACADÊMICA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E URBANISMO  
NÍVEL MESTRADO**

**DEIGLIS DEAN DA CRUZ**

**PARÂMETROS PROJETUAIS DE DESEMPENHO E DE CONSTRUTIBILIDADE  
DE REVESTIMENTO CERÂMICO NÃO ADERIDO EM FACHADAS**

**São Leopoldo**

**2021**

DEIGLIS DEAN DA CRUZ

**PARÂMETROS PROJETUAIS DE DESEMPENHO E DE CONSTRUTIBILIDADE  
DE REVESTIMENTO CERÂMICO NÃO ADERIDO EM FACHADAS**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Arquitetura e Urbanismo, pelo Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da Universidade do Vale do Rio dos Sinos - UNISINOS

Orientadora: Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Maria Fernanda de Oliveira

Coorientadora: Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Alessandra Teribele

São Leopoldo

2021

C957p

Cruz, Deiglis Dean da.

Parâmetros projetuais de desempenho e de construtibilidade de revestimento cerâmico não aderido em fachadas / por Deiglis Dean da Cruz. – São Leopoldo, 2021.

138 f. : il. color. ; 30 cm.

Dissertação (mestrado) – Universidade do Vale do Rio dos Sinos, Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, São Leopoldo, RS, 2021.

Orientação: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Maria Fernanda de Oliveira;  
Coorientação: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Alessandra Teribele, Escola Politécnica.

1.Arquitetura – Detalhes. 2.Fachadas (Arquitetura).  
3.Revestimento em cerâmica. 4.Juntas (Engenharia).  
5.Revestimentos – Processos. 6.Vedação (Tecnologia).  
I.Oliveira, Maria Fernanda de. II.Teribele, Alessandra.  
III.Título.

CDU 72.011.6

72.011.6:691.43

Catálogo na publicação:  
Bibliotecária Carla Maria Goulart de Moraes – CRB 10/1252

DEIGLIS DEAN DA CRUZ

PARÂMETROS PROJETUAIS DE DESEMPENHO E DE CONSTRUTIBILIDADE DE  
REVESTIMENTO CERÂMICO NÃO ADERIDO EM FACHADAS

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Arquitetura e Urbanismo, pelo Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da Universidade do Vale do Rio dos Sinos - UNISINOS

Aprovada em 22 / 02 / 2021

BANCA EXAMINADORA

---

Profª Drª Maria Fernanda de Oliveira (Orientadora) – UNISINOS

---

Profª Drª Alessandra Teribele (Coorientadora) – UNISINOS

---

Prof. Dr. André Souza Silva – UNISINOS

---

Profª Drª Dóris Zechmeister Bragança Weinmann – UFRGS

Dedico este trabalho a minha família  
que me apoiou incondicionalmente  
ao longo desta caminhada.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço, primeiramente, a minha esposa Karine e filhas, Clara e Lucy, por serem o meu maior exemplo de força e amor, além de compreensão nos momentos de ausência.

Não menos importante, agradeço a Deus pela saúde durante esse momento difícil pelo qual passamos em 2020.

A minha orientadora, professora Maria Fernanda e a minha coorientadora, professora Alessandra Teribele pela orientação, paciência, apoio e o mais importante: por acreditarem nesta pesquisa. Agradeço também a todos os outros professores do PPG que, em suas disciplinas, através de muitos ensinamentos colaboraram para meu processo de formação como mestre.

Por fim, a professora Dóris Zechmeister Bragança Weinmann e ao professor André Souza Silva pelo interesse neste trabalho e disponibilidade em compor a mesa avaliadora.

## RESUMO

Esta dissertação aborda o projeto de revestimento cerâmico não aderido em fachadas, os quais são fixados à base suporte por meio de estrutura metálica que, ao posicioná-los, cria uma câmara de ar que pode ser ventilada ou não. Esse sistema construtivo pode ser usado tanto em edifícios novos quanto em *retrofits*. Melhores condições de desempenho podem ser alcançadas por meio de decisões como: a largura da câmara de ar e o seu grau de abertura, o uso ou não de isolamento térmico. Já a construtibilidade pode ser promovida através de definições como: a adoção de sistemas com o menor número de componentes ou a padronização de elementos da fachada. Este trabalho tem por objetivo sistematizar as principais informações para a tomada de decisões em projetos de revestimento cerâmico não aderido em fachadas com enfoque em desempenho e construtibilidade, de modo a tornar o processo mais simples e eficiente. As etapas que constituem o método são as seguintes: pesquisa bibliográfica, em que foram compiladas as principais informações sobre o sistema; sistematização das referidas informações em quadros técnicos, de modo a criar parâmetros projetuais; definição dos documentos gráficos e descritivos a serem apresentados no estudo preliminar, anteprojeto e projeto executivo; apresentação e análise de elevações e detalhes construtivos que devem constituir o projeto executivo. A adoção de parâmetros projetuais, bem como a definição do seu escopo nas principais fases, agrega qualidade à atividade de projetar e ao processo de construção, evitando que ocorram paralisações por indefinições ou ausência de especificações. Além disso, como resultado, tem-se um impacto direto nos custos pela menor incidência de desperdícios de materiais e de tempo de mão de obra, bem como retrabalhos ou incidência de manifestações patológicas ao longo da vida útil da edificação. Outros benefícios que podem ser alcançados são: atendimento ao desempenho esperado pelo usuário, eficiência energética da edificação e simplicidade no processo de montagem do sistema.

**Palavras-chave:** Revestimento cerâmico não aderido em fachadas. Desempenho em fachadas. Construtibilidade. Parâmetros de projeto. Fachada ventilada.

## ABSTRACT

This dissertation addresses the design of ceramic tiles not adhered to façades, which are fixed to the support base by means of a metallic structure that, when positioned, creates an air chamber that can be ventilated or not. This construction system can be used in both new buildings and retrofits. Better performance conditions can be achieved through decisions such as: the width of the air chamber and its degree of opening, the use or not of thermal insulation. Constructibility, on the other hand, can be promoted through definitions such as: the adoption of systems with the least number of components or the standardization of façade elements. This work aims to systematize the main information for decision making in ceramic tile projects not adhered to façades with a focus on performance and constructibility, in order to make the process simpler and more efficient. The steps that make up the method are as follows: bibliographic research, in which the main information about the system was compiled; systematization of said information in technical tables, in order to create design parameters; definition of graphic and descriptive documents to be presented in the preliminary study, preliminary draft and executive project; presentation and analysis of elevations and construction details that should constitute the executive project. The adoption of design parameters, as well as the definition of its scope in the main phases, adds quality to the design activity and to the construction process, preventing any interruptions due to lack of definition or lack of specifications. In addition, as a result, there is a direct impact on costs due to the lower incidence of waste of materials and labor time, as well as rework or incidence of pathological manifestations over the life of the building. Other benefits that can be achieved are: meeting the performance expected by the user, energy efficiency of the building and simplicity in the system assembly process.

**Key words:** Rainscreen cladding. Façade performance. Constructibility. Design parameters. Ventilated façade.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Esquema sobre os conceitos de construtibilidade .....	24
Figura 2 - Agentes de degradação das vedações verticais externas .....	33
Figura 3 - Efeito chaminé e drenagem em revestimento não aderido .....	39
Figura 4 - Conceito de pressão equalizada (a) e infiltração de ar na edificação (b) ..	40
Figura 5 - Dispositivos e componentes metálicos da subestrutura (a e b) .....	42
Figura 6 - Fixação aparente (a) e fixação oculta (b) .....	44
Figura 7 - Fixação por guias (a), fixação por montantes e cliques (b) e perfil <i>rail</i> (c) ..	44
Figura 8 - Fixação por chumbador (a) e parafuso e bucha de <i>nylon</i> (b) .....	46
Figura 9 - Isolamento em poliuretano projetado (a) e painéis em lã de rocha (b) .....	48
Figura 10 - Deformações a que o revestimento está sujeito .....	49
Figura 11 - Etapas de montagem do revestimento não aderido .....	50
Figura 12 - Passo a passo de execução .....	51
Figura 13 - Mapa de isopletas do vento no Brasil .....	56
Figura 14 - Formas de propagação do fogo na fachada .....	63
Figura 15 - Incêndio em edifício através da câmara ventilada (a e b) .....	63
Figura 16 - Exigências de reação ao fogo em revestimento não aderido .....	65
Figura 17 - Resposta esquemática à água da chuva em revestimento não aderido. 69	
Figura 18 - Tensão superficial (a), Diferença de pressão (b), Ação do vento (c) .....	69
Figura 19 - Estágios de umedecimento do revestimento não aderido .....	70
Figura 20 - Gerenciamento da água em painéis cerâmicos extrudados .....	71
Figura 21 - Gerenciamento da água em painéis prensados (porcelanato) .....	72
Figura 22 - Permeabilidade do revestimento com juntas abertas retas .....	73
Figura 23 - Transmissão de calor em revestimento não aderido .....	75
Figura 24 - Fluxograma para a elaboração do projeto de revestimento não aderido 94	
Figura 25 - Fluxograma do Método .....	97
Figura 26 - Elevação 1 (paginação do revestimento) .....	111
Figura 27 - Elevação 2 (disposição dos montantes e cliques) .....	112
Figura 28 - Elevação 3 (locação dos perfis de ancoragem) .....	113
Figura 29 - Elevação 4 (barreiras corta-fogo) .....	114
Figura 30 - Detalhe construtivo 1 (junta vertical) .....	115
Figura 31 - Detalhe construtivo 2 (junta horizontal) .....	116
Figura 32 - Detalhe construtivo 3 (canto externo) .....	117

Figura 33 - Detalhe construtivo 4 (canto interno) .....	118
Figura 34 - Detalhe construtivo 5 (perfil de arranque) .....	119
Figura 35 - Detalhe construtivo 6 (perfil de coroação).....	120
Figura 36 - Detalhe construtivo 7 (peitoril da janela) .....	121
Figura 37 - Detalhe construtivo 8 (verga da janela).....	122
Figura 38 - Detalhe construtivo 9 (lateral da janela).....	123
Figura 39 - Detalhe construtivo 10 (barreira corta-fogo horizontal) .....	124
Figura 40 - Detalhe construtivo 11 (barreira corta-fogo vertical) .....	125
Figura 41 - Detalhe construtivo 12 (junta estrutural) .....	126

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Os 10 requisitos que promovem construtibilidade.....	25
Quadro 2 - Objetivos, conteúdos e produtos das etapas do processo de projeto .....	30
Quadro 3 - Comparativo dos materiais de painéis para revestimento não aderido ...	52
Quadro 4 - Requisitos de desempenho em revestimento não aderido.....	55
Quadro 5 - Pressão de vento conforme a região e o número de andares.....	57
Quadro 6 - Características técnicas das principais ligas utilizadas na subestrutura .	58
Quadro 7 - Largura mínima das juntas de dilatação em perfis de alumínio e de aço	59
Quadro 8 - Reação ao fogo em revestimento não aderido.....	65
Quadro 9 - Classificação dos materiais de acabamento quanto à reação ao fogo....	66
Quadro 10 - Tempo de resistência ao fogo das edificações .....	67
Quadro 11 - Métodos para compartimentar câmaras ventiladas.....	67
Quadro 12 - Níveis de desempenho para estanqueidade de paredes de fachada....	74
Quadro 13 - Ações nas diferentes camadas nas zonas 1, 2 e 3 .....	78
Quadro 14 - Ações nas diferentes camadas nas zonas 4, 5, 6, 7 e 8 .....	79
Quadro 15 - Valores para transmitância térmica (U) e capacidade térmica (CT) .....	80
Quadro 16 - Resultados dos ensaios em campo.....	82
Quadro 17 - Resultados dos ensaios em laboratório .....	83
Quadro 18 - Diferença padronizada de nível ponderada para ensaios em campo....	84
Quadro 19 - Índice de redução sonora ponderado para ensaios em laboratório.....	85
Quadro 20 - Indicações gerais de possibilidades de compatibilização entre metais .	86
Quadro 21 - Espessura da camada anódica .....	87
Quadro 22 - Desempenho dos aços inoxidáveis em função do ambiente.....	88
Quadro 23 - Escopo do projeto de revestimento não aderido em placas cerâmicas.	92
Quadro 24 - Etapas, conteúdos e objetivos do projeto de fachadas leves.....	92
Quadro 25 - Parâmetros de projeto para promover construtibilidade.....	98
Quadro 26 - Parâmetros de projeto para atender a segurança estrutural .....	100
Quadro 27 - Parâmetros de projeto para proporcionar segurança ao fogo .....	101
Quadro 28 - Parâmetros de projeto para promover estanqueidade à água .....	102
Quadro 29 - Parâmetros de projeto para desempenho térmico .....	103
Quadro 30 - Parâmetros de projeto para desempenho acústico.....	105
Quadro 31 - Parâmetros de projeto para alcançar durabilidade.....	105
Quadro 32 - Documentos a serem apresentados em diferentes fases do projeto...	107
Quadro 33 - Definições gerais do projeto executivo.....	110

## LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ASBEA	Associação Brasileira dos Escritórios de Arquitetura
CBIC	Câmara Brasileira da Indústria da Construção
CPT	Caderno de Prescrição Técnica
CSTB	<i>Centre Scientifique et Technique du Batiment</i>
CT	Capacidade térmica
CTE	<i>Código Técnico de la Edificación - Espanha</i>
DIT	Documento de Idoneidade Técnica
EN	<i>European Standards</i>
EPDM	Borracha etileno-propileno-dieno
EPU	Expansão por umidade
ETAG	<i>European Technical Approval Guideline</i>
NBR	Normas Brasileiras de Regulação
Pa	Pressão de água
Pe	Pressão de ensaio
Ps	Pressão de segurança
RTSCIE	Regulamento de Técnico de Segurança Contra Incêndio em Edifícios
SVVE	Sistema de vedação vertical externo
U	Transmitância térmica
UNI	<i>Ente Nazionale Italiano di Unificazione</i>

## LISTA DE SÍMBOLOS

$\Delta t$	Diferença de temperatura
$^{\circ}\text{C}$	Graus Celsius
$\mu\text{m}$	Micrômetro
psi	Libra-força por polegada quadrada

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>14</b>
<b>1.1 Tema e Delimitação do Tema</b> .....	<b>15</b>
<b>1.2 Objetivos</b> .....	<b>15</b>
1.2.1 Objetivo Geral .....	15
1.2.2 Objetivos Específicos .....	15
<b>1.3 Justificativa</b> .....	<b>16</b>
<b>2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....	<b>20</b>
<b>2.1 O projeto</b> .....	<b>20</b>
2.1.1 O projeto, a industrialização da construção e a racionalização construtiva .....	21
2.1.2 O projeto e a construtibilidade .....	23
2.1.3 O projeto e a coordenação modular .....	27
2.1.4 Fases do processo de projeto .....	29
<b>2.2 A fachada</b> .....	<b>31</b>
2.2.1 Agentes de degradação das fachadas .....	32
2.2.2 Classificação das fachadas .....	36
<b>2.3 Revestimento não aderido</b> .....	<b>37</b>
2.3.1 Revestimento cerâmico não aderido em fachadas.....	41
2.3.2 Passo a passo de execução.....	50
2.3.3 Vantagens do revestimento cerâmico não aderido em fachadas .....	52
<b>2.4 Desempenho em revestimento não aderido</b> .....	<b>54</b>
2.4.1 Desempenho estrutural em revestimento não aderido .....	55
2.4.2 Desempenho ao fogo em revestimento não aderido .....	62
2.4.3 Estanqueidade à água em revestimento não aderido .....	68
2.4.4 Desempenho térmico em revestimento não aderido .....	74
2.4.5 Desempenho acústico em revestimento não aderido.....	80
2.4.6 Durabilidade e manutenibilidade em revestimento não aderido .....	85
<b>2.5 Projeto de revestimento não aderido em fachadas</b> .....	<b>90</b>
<b>3 MÉTODO</b> .....	<b>95</b>
3.1 Pesquisa bibliográfica .....	95
3.2 Parâmetros de projetos de revestimento cerâmico não aderido em fachadas .....	96
3.3 Definição dos documentos gráficos e descritivos nas etapas de projeto .....	96
3.4 Apresentação e análise dos documentos gráficos do projeto executivo .....	97

<b>4 RESULTADOS</b> .....	<b>98</b>
4.1 Parâmetros de projetos de revestimento cerâmico não aderido em fachadas ....	98
4.2 Definição dos documentos gráficos e descritivos nas etapas de projeto .....	106
4.3 Apresentação e análise dos documentos gráficos do projeto executivo .....	108
<b>5 CONCLUSÃO</b> .....	<b>127</b>
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>131</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O presente trabalho trata do projeto de revestimento não aderido o qual, como o próprio nome sugere, não é acoplado às paredes de vedação por meio de argamassa colante, mas sim por uma estrutura metálica de sustentação que, ao posicioná-lo, gera uma câmara de ar entre o revestimento e vedação externa da edificação. Essa câmara pode ser ventilada ou não e a decisão por projetá-la de uma forma ou outra depende das características do clima local e de fatores como: custo, segurança contra incêndio, entre outros (MEDEIROS *et al.*, 2014; ATEM, 2016).

Esse sistema pode ser considerado inovador no Brasil, já que no âmbito do SINAT (Sistema Nacional de Avaliações Técnicas de Produtos Inovadores e Sistemas Convencionais), vinculado ao Ministério do Desenvolvimento Regional, não dispõe de uma norma técnica nacional em vigor para a elaboração de projeto e execução (MACHADO, 2012). Contudo, nos países europeus, onde as normas estão consolidadas, tem sido comum o emprego do revestimento não aderido, tanto em obras novas quanto em edifícios existentes, principalmente quando deseja-se, além da função básica de revestir, melhores condições de habitabilidade nos ambientes internos, como desempenho térmico, acústico e estanqueidade (OLIVEIRA, 2009). Outro motivo relevante para sua utilização é o alto grau de industrialização que proporciona ao canteiro de obras, permitindo a substituição de processos considerados artesanais por processos de montagem (SABBATINI 1989; MEDEIROS *et al.*, 2014).

Entretanto, para que isso possa acontecer, é preciso que o projeto apresente informações claras do objeto a ser construído, em quantidade e qualidade suficiente, bem como escalas de apresentação adequadas, de modo a promover o melhor andamento da obra, evitando-se paralisações e desperdícios de materiais e de tempo de mão de obra, além de problemas patológicos que afetam o desempenho da edificação (MELHADO, 1994; MANSO; MITIDIÉRI FILHO, 2011). Muitas manifestações patológicas tem origem na etapa de projeto e dessas, grande parte ocorrem nas fachadas. Contudo, apesar de um aumento crescente, percebe-se que o projeto de revestimento de fachada ainda não vem sendo tão explorado. Segundo Machado (2012), isso prejudica o processo de execução, já que as decisões, que deveriam ter sido tomadas antecipadamente, acabam sendo tomadas durante a



construção do empreendimento de forma improvisada, de modo a comprometer a qualidade do produto-edifício.

Assim, para que o revestimento não aderido seja utilizado no Brasil com maior eficiência, é preciso que os projetistas conheçam os pormenores desse sistema construtivo, que especifiquem adequadamente seus materiais e componentes, que resolvam suas interfaces com outros sistemas pertencentes à edificação e que tomem decisões que proporcionem desempenho, de modo a garantir o atendimento à vida útil de projeto (VUP) (SIQUEIRA JÚNIOR, 2003; MACHADO, 2012; MEDEIROS *et al.*, 2014).

### **1.1 Tema e Delimitação do Tema**

Este trabalho trata do projeto de revestimento cerâmico não aderido em fachadas, sistema esse que se limita aos seguintes elementos: placas cerâmicas, subestrutura metálica composta por perfis T montantes, L de ancoragem e cliques de fixação das placas, além de isolamento térmico, câmara de ar e base suporte, a qual se constitui por estrutura em concreto armado e paredes externas de vedação em blocos cerâmicos.

### **1.2 Objetivos**

#### **1.2.1 Objetivo Geral**

Sistematizar as principais informações para a tomada de decisões em projetos de revestimento cerâmico não aderido em fachadas com enfoque em desempenho e construtibilidade, de modo a tornar o processo de projeto eficiente e simplificado.

#### **1.2.2 Objetivos Específicos**

Os objetivos específicos deste trabalho são:

- a) Compilar as principais informações sobre o sistema de revestimento cerâmico não aderido em fachadas;

- b) definir os documentos gráficos e descritivos a serem apresentados no estudo preliminar, anteprojeto e projeto executivo;
- c) elaborar um projeto executivo de revestimento cerâmico não aderido em fachadas.

### 1.3 Justificativa

Historicamente, os revestimentos cerâmicos têm sido bastante usados no Brasil, desde os casarões coloniais, onde a construção de fachadas azulejadas era sinônimo de *status*, até os altos edifícios litorâneos, onde busca-se, através do uso, estanqueidade e baixa manutenção. A cerâmica é argila, em sua fase cristalina, queimada à altas temperaturas, porém quando à argila é adicionado feldspato, e a mistura é aquecida a temperaturas ainda mais elevadas, tem-se a fase vítrea da composição, resultando em um material com baixíssima absorção de água. A menor porosidade dos painéis cerâmicos dificulta a proliferação de micro-organismos e o acúmulo de sujidades e, quando acontecem, se concentram nos rejuntas, os quais não existem no sistema de revestimento não aderido (LOTURCO, 2006).

Os edifícios brasileiros são construídos com estruturas reticuladas em concreto armado e suas paredes de fechamento em blocos cerâmicos. Antigamente, as estruturas eram menos deformáveis e as vedações, além de oferecerem alguma capacidade de carga, eram encunhadas em tijolos maciços. Com o passar dos anos, as estruturas tornaram-se mais esbeltas, seja pela inserção de programas computacionais no processo de cálculo, seja pelo avanço da tecnologia do concreto, tornando-se mais deformáveis, enquanto os blocos de vedação, além de permanecerem rígidos, passaram a ser encunhados por argamassas expansivas. Essa combinação contribuiu para o aparecimento de fissuras nas paredes externas de vedação, abrindo caminho para que água da chuva, empurrada pela força do vento, penetrasse nos sistema de vedação externo, de modo a comprometer seu desempenho (MEDEIROS; FRANCO, 1999). A água, ao entrar em contato com as vedações, promove a degradação dos materiais, causando manchamentos e proliferação de fungos, além de prejudicar o desempenho térmico da parede após seu umedecimento. Dessa forma, os ambientes internos das habitações tendem a se tornar lugares insalubres, desconfortáveis e desagradáveis (GIONGO; PADARATZ; LAMBERTS, 2011).

Os revestimentos, assim como a estrutura, também apresentam movimentações, dilatando-se e contraindo-se com sua exposição ao sol e à chuva. Quando isso acontece, sobretudo num período curto de tempo, esforços de cisalhamento podem fazer com que o revestimento cerâmico se desprenda da base. O mesmo pode ocorrer pela ausência de juntas de movimentação, as quais são necessárias sobretudo quando as placas têm maiores formatos e/ou cores escuras, o que acaba gerando uma situação perigosa, já que a queda desses componentes pode colocar em risco as pessoas que eventualmente estejam nas proximidades (MEDEIROS; SABBATINI, 1999; BAÍA; CAMPANTE, 2008).

A incidência de ventos fortes e as movimentações da estrutura pelo encurtamento de pilares e flexão de vigas, devido à fluência, geram tensões na fachada que tendem a agredir os revestimentos, contribuindo para seu destacamento. Além disso, a movimentação térmica diferencial que ocorre entre a cobertura e a base da edificação (que se dilatam mais) em relação ao meio do prédio (que se dilata menos), causam trincas em regiões de maior tensão, provocando, igualmente, a queda do revestimento (MEDEIROS; SABBATINI, 1999; MEDEIROS; FRANCO, 1999).

Além dos problemas patológicos citados, destaca-se também que o processo de execução do revestimento aderido tende a ser demorado e depende de condições climáticas favoráveis, bem como da habilidade por parte dos trabalhadores, pois a falta de prumo que ocorre nas paredes externas causa grande desperdício de materiais de revestimento devido aos desvios compensados por camadas sucessivas de reboco. O aumento da espessura promove o risco de descolamento do revestimento da base, uma vez que esse pode se tornar mais pesado que a sua capacidade de aderência (MEDEIROS; FRANCO, 1999).

Nos países frios da Europa, a utilização de paredes duplas em alvenaria de tijolos maciços com câmara de ar e isolamento térmico entre os paramentos evita a perda de calor dos ambientes internos para o exterior. Porém, nos países mais quentes do Mediterrâneo, o paramento mais externo tornou-se mais leve e passou a ser suspenso pela parede interna, sombreando-a e refrigerando-a por ventilação natural, o que acaba melhorando as condições de conforto dos ambientes internos (BALTER *et al.*, 2017). Mas no Brasil, o que se percebe são vedações similares em todas as regiões, sendo essas em paredes simples de blocos cerâmicos que certamente são construídas assim por razões econômicas. Dessa forma, não são

realizadas adequações na composição das vedações verticais externas para melhor atender às demandas do clima local, seja para o frio, seja para o calor, de modo a promover conforto térmico aos usuários e eficiência energética à edificação.

Por outro lado, de nada adiantaria a melhor composição para as paredes externas sem uma proporção adequada entre áreas envidraçadas e opacas, pois o elemento mais frágil sempre é determinante para a transmissão de calor e ruído no conjunto do fechamento. Com o aumento do número de veículos nas últimas décadas as cidades tornaram-se mais barulhentas, causando às pessoas inúmeros problemas de saúde. Entretanto, na intenção de valorizar os empreendimentos, as incorporadoras têm construído edifícios, sobretudo os corporativos, com amplas janelas, mesmo em lugares quentes e com alta exposição ao ruído (SANTOS FILHO, 2015). Essa e outras situações podem ocorrer se o conceito de desempenho não for aplicado desde a etapa de projeto (SANTOS FILHO; SPOSTO; MELO, 2014) e se o sistema de vedação vertical externo não for compreendido como uma atividade multidisciplinar necessária para a execução do empreendimento (OLIVEIRA, 2009; VEDOVELLO, 2012).

Assim, é imprescindível a valorização do projeto, sobretudo do sistema de fachada, já que são vários os benefícios que esse pode trazer ao empreendimento (MELHADO, 1994). Através de especificações corretas, pode-se eliminar incompatibilidades entre materiais, de modo a garantir durabilidade e atendimento à vida útil de projeto (VUP). Além disso, por meio de detalhes claros e objetivos tem-se menor possibilidade de dúvidas durante a execução, evitando-se, assim, erros que levam a perda de desempenho e a ocorrência de manifestações patológicas (PICHI, 1993; MELHADO, 1994; MEDEIROS, SABBATINI, 1999). O projeto atua também como ferramenta importante para a redução de custos de execução, seja por evitar o desperdício de materiais, seja por eliminar horas improdutivas por indefinições. A importância do projeto torna-se ainda mais evidente em sistemas construtivos industrializados, uma vez que os componentes chegam à obra prontos para serem montados segundo dimensões pré-estabelecidas (MEDEIROS *et al.*, 2014).

Face aos problemas apresentados, percebe-se que o revestimento não aderido pode ser mais eficiente se comparado ao aderido. O paramento de revestimento, que se localiza em frente ao de vedação, promove um sombreamento que impede o aumento da temperatura superficial da base suporte, o que acaba evitando a ocorrência de fissurações, já que essa movimenta-se menos pela menor

exposição à radiação solar (BOBADILLA, 2007; GIANCOLA, 2010; ATEM, 2016). Além do mais, a câmara de ar formada entre os paramentos de revestimento e vedação pode proporcionar eficiência energética ao edifício, pois, ao manter o ar quente em seu interior evita a perda de calor dos ambientes internos, desejável em regiões frias e, ao permitir a renovação do ar interno, promove a refrigeração das paredes de vedação, reduzindo a transferência de calor aos ambientes internos, desejável em lugares quentes (ATEM, 2016).

O fato de não ser aderido elimina a possibilidade de destacamentos por movimentações diferenciais entre a base e o revestimento, pois a subestrutura metálica oferece maior resiliência frente às movimentações da estrutura do edifício. Além disso, juntas maiores entre os painéis permitem sua livre movimentação, o que também elimina a possibilidade de destacamentos por acúmulo de tensões entre as placas (BOBADILLA, 2007; MEDEIROS *et al.*, 2014). O afastamento entre o revestimento e a parede também pode eliminar infiltrações indesejadas, uma vez que não há continuidade física para que a água possa chegar ao paramento interno, de modo a causar manchas nas faces internas das paredes de vedação (RECATALÁ, 2017).

Para tanto, o projeto de revestimento não aderido deve descrever todo o processo de montagem, oferecendo o detalhamento construtivo necessário para que as decisões sejam planejadas e executadas, ao invés de improvisadas no canteiro de obras. O estudo da paginação do revestimento, por exemplo, é uma atividade a ser desenvolvida durante a etapa de projeto, sendo importante para racionalizar os recortes das placas utilizadas (MACHADO, 2012). O mesmo autor conclui: o uso desse sistema construtivo implica em uma mudança de comportamento da mão de obra, dos projetistas e dos construtores. Durante a execução, a mão de obra deverá substituir os improvisos típicos da obra comum por procedimentos padronizados que são definidos na etapa de projeto. Porém, os projetistas devem conhecer previamente os conceitos, informações técnicas e de mercado desse sistema, visando desenvolvimento de projetos à luz de exigências de desempenho e de normas técnicas vigentes.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Na fundamentação teórica foram abordados os principais conceitos relacionados ao projeto de revestimento cerâmico não aderido em fachadas, como: o projeto, a fachada, o revestimento não aderido, desempenho em revestimento não aderido e, por fim, o projeto de revestimento não aderido.

### 2.1 O projeto

A atividade de projetar deve sempre ocorrer de forma integrada com a execução, já que tem a função de transmitir às equipes de obras as características físicas e tecnológicas do edifício a ser construído, ou partes pertencentes a este (MELHADO, 1994). Dessa forma, as soluções a serem apresentadas nessa etapa precisam promover não somente desempenho à edificação, mas também facilidade nos processos de construção e manutenção (MANSO; MITIDIARI FILHO, 2011). Assim, pode-se afirmar que “projetar é antecipar”, ou ainda: “é construir no papel” (MELHADO, 1994).

Pode-se entender a atividade de projetar como um conjunto de processos interativos e evolutivos que tem por objetivo definir um produto que atenda às expectativas do empreendedor, do construtor e do usuário da edificação. O projeto deve ser constituído de arquivos eletrônicos, peças gráficas e descritivas que, antes mesmo da concretização da obra, definem as características, especificações e desempenho do edifício. Desses processos participam profissionais e/ou empresas especializadas em várias áreas do conhecimento, tornando a atividade de projetar multidisciplinar e interdisciplinar (MANSO; MITIDIARI FILHO, 2011).

O projeto precisa ser desenvolvido com enfoque em desempenho, principalmente devido à crescente preocupação com a durabilidade e a sustentabilidade das edificações. Precisa também favorecer não somente a construção e o uso do edifício, mas a desconstrução (ou desmontagem) e a reciclagem dos seus materiais (OLIVEIRA; MITIDIARI FILHO, 2012). O desempenho das edificações tem transformado o setor da construção civil brasileiro, de modo a elevar o grau de complexidade e de responsabilidade sobre o ato de projetar (BRÍGITTE; RUSHEL, 2016). Dessa forma, o projeto deve ir muito além de “simples desenhos”, pois precisa considerar a relação entre os materiais ao longo do tempo,

as diferentes solicitações ambientais e sua futura manutenção (definindo acessibilidade, frequência e facilidade para a substituição de componentes) (SANTOS FILHO; SPOSTO; MELO, 2014).

Acrescenta-se ainda que os projetos não podem ser encerrados imediatamente após a sua entrega à obra, uma vez que é fundamental que os projetistas acompanhem o processo de execução dos edifícios (ou dos sistemas por eles projetados), bem como seu uso. Essa proximidade é essencial para que se estabeleça um sistema de melhoria contínua para projetos futuros, pois permite que se conheça os principais erros e acertos (oriundos da etapa de projeto) que ocorreram durante a execução do empreendimento (RODRIGUEZ, 2005).

Assim, a arte de projetar pode ser fundamentada em cinco questões: a) projetar a parte considerando, porém, os requisitos de desempenho da obra como um todo (segurança, durabilidade, estanqueidade, conforto térmico e acústico, etc.); b) conhecer as manifestações patológicas mais frequentes do objeto de estudo, procurando-se evitá-las ao nível de detalhes construtivos e especificação de materiais; c) conhecer as principais interferências com outros sistemas, procurando compatibilizá-las; d) projetar com vistas à maior racionalidade do processo construtivo, facilitando a execução; e) projetar com vistas à melhor relação custo / benefício, seja durante a construção, seja durante o período de utilização do edifício (PICHI, 1993).

Face ao exposto, pode-se afirmar que é irreversível a tendência por uma maior solicitação da atividade de projetar, pois, através dessa, pode-se alcançar um grande avanço no processo de construção de edifícios, dando às obras um caráter mais “industrial” (MELHADO, 1997 *apud* ALENCASTRO, 2006). O projeto, dessa forma, tem fundamental importância nesse cenário, uma vez que promove uma melhora significativa na qualidade do produto final, reduz custos e falhas de execução, evita o aparecimento de manifestações patológicas e proporciona produtividade às equipes de obras (CRUZ, 2015).

### 2.1.1 O projeto, a industrialização da construção e a racionalização construtiva

A construção brasileira, quando comparada a dos Estados Unidos e Europa, apresenta um cenário carente por aumento de produtividade, desenvolvimento de inovações, busca por racionalização, padronização e aumento de escala com

sustentabilidade (FILHA *et al.*, 2009 *apud* ABDI 2015). A industrialização representa o mais elevado estágio da racionalização dos processos construtivos e, independente da origem de seu material, está associada à produção dos componentes em ambiente industrial que, posteriormente, são montados nos canteiros de obras, possibilitando, assim, melhores condições de controle e a adoção de novas tecnologias (ABDI, 2015).

A criação de novos sistemas construtivos e o aperfeiçoamento dos já existentes indicam que a construção civil brasileira está evoluindo rumo à industrialização. A racionalização construtiva pode contribuir decisivamente para que isso aconteça, pois, como define Sabbatini (1989), trata-se de um processo composto por um conjunto de ações que tem por objetivo otimizar o uso de recursos materiais, humanos, organizacionais, energéticos e financeiros disponíveis na construção em todas as suas fases.

Franco e Agopyan (1993) destacam que a racionalização construtiva deve ser implementada nas primeiras fases do empreendimento, apontando a etapa de projeto como a mais propícia para a sua introdução devido às implicações quanto às dimensões, especificações e detalhes construtivos. Os mesmos autores acrescentam que esse princípio pode ser aplicado em todos os métodos, processos e sistemas construtivos através de estratégias como a padronização de componentes e simplificação das operações, gerando aumento de produtividade e redução de custos.

Melhado (1994) concorda: o uso de componentes padronizados e coordenados dimensionalmente promovem produtividade à obra e evita o desperdício de materiais pela eliminação de cortes e ajustes desnecessários. Entretanto, tais definições precisam ser feitas já nos primeiros desenhos da etapa de projeto, uma vez que envolvem questões relacionadas às dimensões e formas dos elementos arquitetônicos. O mesmo autor sugere, por exemplo, que sejam adotados componentes pré-fabricados em sistemas de vedação vertical, mas, ao mesmo tempo em que promovem qualidade à obra, requerem maior precisão dimensional e restrições quanto ao peso, acabamentos e custos.

Assim, Navarini (2010) aponta as características que levam à racionalização construtiva: simplificação do processo, com a eliminação de eventuais problemas de interfaces entre subsistemas; fácil implantação da coordenação modular; definição de detalhes construtivos e técnicas de execução já na fase de projeto; precisão na



execução da obra; definição da sequência de execução dos subsistemas e diminuição da incerteza quanto ao planejamento de cada atividade; efetividade no controle das atividades a serem executadas, uma vez que essas já foram definidas na etapa de projeto.

Por fim, cabe destacar que as ações propostas para promover racionalização construtiva são semelhantes às que promovem construtibilidade, já que ambas objetivam aumentar a eficiência do processo construtivo. Entretanto, pode ser feita a seguinte distinção: enquanto a racionalização construtiva enfatiza a otimização do emprego de recursos (materiais, humanos e tecnológicos), a construtibilidade enfatiza a facilidade da execução como meio para aumentar a eficiência do processo construtivo (RODRIGUEZ, 2005).

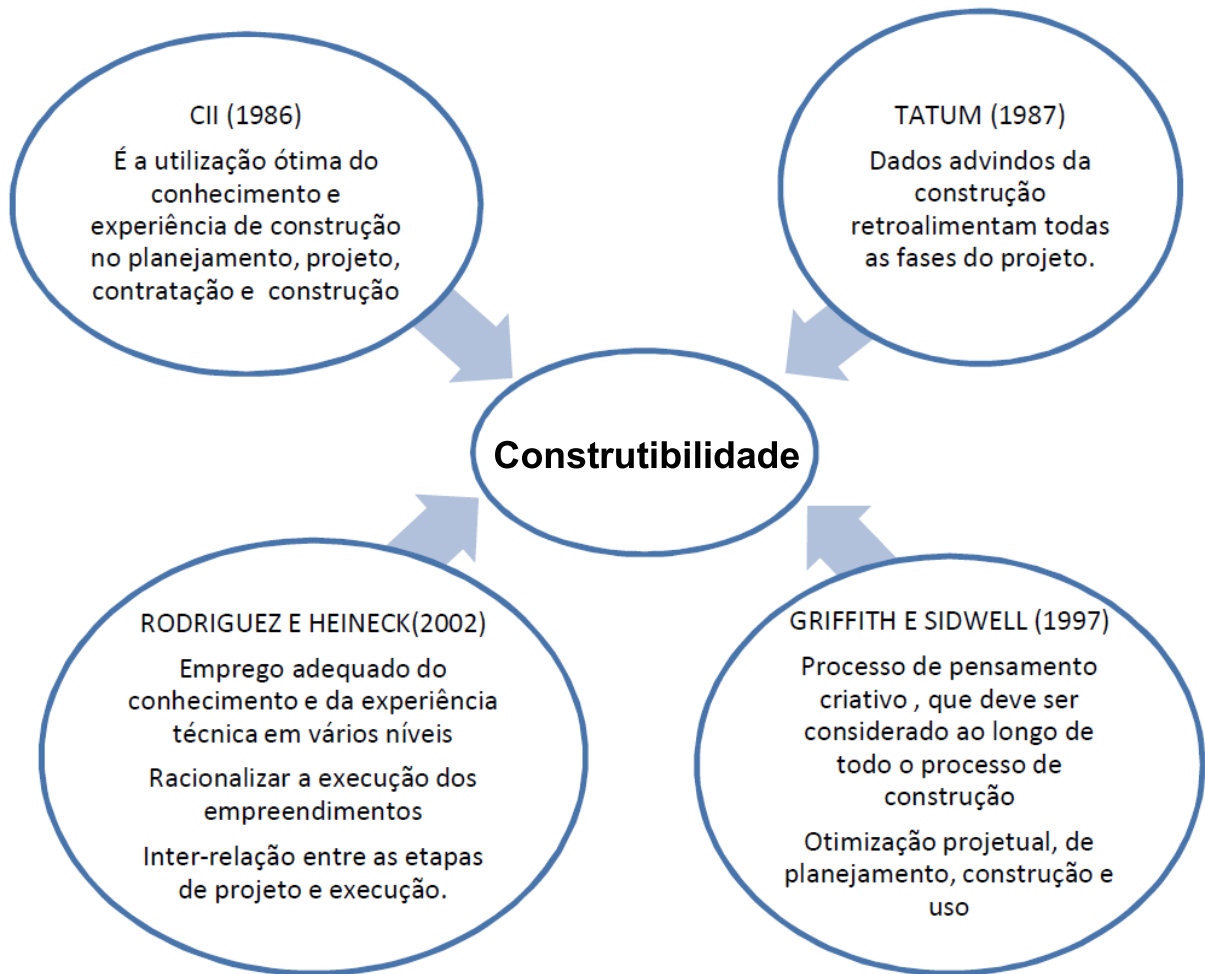
### 2.1.2 O projeto e a construtibilidade

A construtibilidade pode ser definida como “a facilidade de se construir algo através do projeto”. Porém, seu conceito vem sendo estendido para “a integração do conhecimento e experiência construtiva durante as fases de concepção, planejamento, projeto e execução da obra, objetivando a simplificação do processo de construção através do conhecimento da tecnologia a ser adotada” (OLIVEIRA, 1995). Segundo Sabbatini (1989), é promover a integração entre projeto e execução através do conhecimento das operações construtivas, considerando que a solução ótima é a de maior construtibilidade.

Definitivamente, projeto e execução não devem acontecer de forma independente, executados por equipes diversas e com objetivos e interesses diferentes, mas sim de forma integrada. Entretanto, essa integração não tem se apresentado como prática corrente no mercado, abrindo espaço para ações improvisadas no canteiro de obras, causando à edificação desempenho insatisfatório e queda de produtividade no processo de construção, além do aumento de custos (BALLARD, 2000). Dessa forma, quanto antes houver a implementação de um programa de construtibilidade, melhores serão os resultados para o empreendimento (O’CONNOR *et al.*, 1987 *apud* MELHADO 1994).

Zucchetti (2010) apresenta os principais conceitos de construtibilidade segundo alguns autores (Figura 1):

Figura 1 - Esquema sobre os conceitos de construtibilidade



Fonte: (ZUCCHETTI, 2010, p. 38)

Algumas estratégias para promover construtibilidade no âmbito do projeto foram destacadas por Griffith; Sidwell (1995) *apud* Rodríguez; Heineck (2003), dentre as quais podem-se citar: a simplificação de detalhes de projeto para que o mesmo ocorra com a execução; projetar levando em consideração a habilidade e a experiência da mão de obra disponível; projetar pensando na adoção de procedimentos simples de execução; conhecer as tolerâncias dos materiais e componentes a serem usados; padronizar medidas e adotar repetições de elementos, sempre que for conveniente; projetar de modo a facilitar a substituição de componentes; projetar para uma fácil comunicação com o construtor.

A simplificação do processo construtivo através do projeto pode ser alcançada pela especificação de componentes com menor número de elementos, assim como a concentração de serviços em um único profissional. Além disso, sua montagem deve ser simples e composta por peças facilmente encontradas no mercado. O

projeto também deve evitar ângulos e superfícies curvas, além de favorecer o uso de componentes que possam cobrir grandes áreas e que possam ser facilmente posicionados em prumo, nível e esquadro (OLIVEIRA, 1994 *apud* RODRIGUES, 2005).

Outras duas questões que promovem a construtibilidade também devem ser destacadas: a padronização e a comunicação entre projeto e obra. Para Oliveira (1994) *apud* Rodrigues (2005), a padronização gera produtividade à obra devido à menor variedade dos elementos construtivos, de modo que, na medida do possível, deve-se padronizar também plantas, detalhes em elevação, dimensões, detalhes de execução, tamanhos de ambientes, etc. Já a comunicação entre projeto e obra pode ser obtida através do detalhamento de todas as informações necessárias, desenhos em locais acessíveis e com indicações claras de onde devem ser usados. Pode também ser alcançada pela revisão de especificações e detalhes de projeto antes do início de cada serviço, realizada por todos os participantes do processo.

Zucchetti (2010) destaca os 10 requisitos a serem utilizados para a análise da construtibilidade, conforme o Quadro 1.

Quadro 1 - Os 10 requisitos que promovem construtibilidade

Apresentação dos 10 requisitos básicos		
Padronização	Emprega dimensões modulares, repetição de tamanhos de componentes e de detalhes de conexão, minimizando a variabilidade dos produtos e processos e simplificando as operações de canteiro.	
	Utiliza repetição nos processos e atividades construtivas.	
	Emprega componentes com conexões padronizadas e acessíveis.	
	Pré-fabricação	Apresenta precisão dimensional e tolerâncias compatíveis com os processos de montagem.
		Apresenta conectividade com outros componentes do mesmo elemento, com outros elementos do mesmo subsistema e com outros subsistemas.
		Fornecer condições para a padronização de projetos.
		Fornecer condições e dimensões máximas adequadas para o transporte, armazenamento e instalação.
Reduz o desperdício de materiais, o tempo de execução e de utilização de equipamentos de auxílio.		
Simplificação	Integra diferentes elementos e funções num mesmo elemento, reduzindo as partes e os passos do produto e dos processos.	
	Utiliza materiais, componentes e conexões compatíveis com tamanhos e configurações disponíveis no mercado.	
	Emprega formas simples e minimiza as interdependências.	
	Utiliza conexões simples e de fácil execução, minimizando os tempos de percepção, decisão e manipulação.	
	Permite ajustes dimensionais em canteiro.	
	Exige poucos cuidados quanto ao armazenamento e utilização.	

Acessibilidade	Não necessita de equipamentos especiais para transporte, manipulação, construção e instalação.
	Não exige espaços especiais para armazenamento e construção.
	Minimiza os tempos de estocagem de andaimes.
	Reduz os espaços de estocagem pela possibilidade de empilhamento.
	Possibilita a minimização de danos causados em trabalhos já concluídos.
	Não necessitam de proteção especial, particularmente nas arestas, eliminando a preocupação com danos decorrentes de transporte, manipulação, empilhamento, circulação e instalação no canteiro.
Influências climáticas	Minimiza o desenvolvimento de atividades ao ar livre.
	Permite o fechamento de espaços nas etapas iniciais, possibilitando que estes funcionem como indústrias e/ou armazenem equipamentos e materiais.
	Utiliza métodos PPMOF, minimizando trabalhos em canteiro.
Manutenibilidade	Emprega características físicas e funcionais simples.
	Utiliza reduzido número de componentes e sub- montagens.
	Apresenta espaços adequados para o acesso visual e realização de atividades de manipulação.
	Permite a montagem e desmontagem de maneira adequada.
	Utiliza componentes padronizados, com coordenação e tolerâncias adequadas.
	Utiliza partes modulares que possam ser facilmente testadas e reparadas, independentemente do produto total.
Segurança	Apresenta sequências seguras de construção.
	Utiliza materiais e componentes com tamanhos e pesos seguros para a manipulação, construção, instalação e manutenção.
Otimização de técnicas e sequências construtivas	Emprega materiais novos para usos tradicionais.
	Reduz a quantidade de trabalho desenvolvido em canteiro.
	Minimiza perdas e retrabalhos na construção.
	Reduz os tempos de espera e possibilita a minimização de congestionamentos em canteiro.
	Emprega sequências práticas de construção e operações contínuas que melhoram a produtividade.
	Propicia a utilização de métodos construtivos inovadores.
Compatibilidade e visualização	Usa ferramentas de visualização permitindo a identificação antecipada de interferências físicas e de compatibilidade dimensional entre os componentes e sistemas.
	Emprega ferramentas virtuais que possibilitam a visualização da compatibilidade de conexão entre os diferentes componentes e sistemas.
	Utiliza programas computacionais que permitem a simulação do movimento das partes móveis.
Adequação	Utiliza materiais e produtos já empregados e aceitos pela indústria da construção ou novos materiais avaliados formalmente e funcionalmente.
	Minimiza a utilização e o retorno de equipes de especialistas.
	Utiliza mão de obra e recursos disponíveis localmente e compatíveis com a tecnologia utilizada.
Projetar para a eficiência	Apresenta flexibilidade e adaptabilidade aos projetos.
	Emprega simplificação, mão de obra disponível e tecnologias de simulação que permitam a visualização antecipada da construção.

Fonte: (ZUCCHETTI, 2010)

Assim, desde os estudos iniciais de projeto os principais métodos construtivos possíveis de serem utilizados devem ser considerados, selecionando, dentre as alternativas disponíveis, as que favoreçam a eficiência da execução. Além disso, componentes pré-moldados, modulares ou pré-montados devem ser especificados no projeto para reduzir custos e prazos. O projeto também deve prever acessibilidade de pessoal, materiais e equipamentos, bem como favorecer a execução em condições climáticas adversas (TATUM, 1987 *apud* MELHADO, 1994). Griffith (1987) *apud* Melhado (1994) conclui: “muitos projetos são possíveis de executar, mas alguns são claramente mais fáceis de construir do que outros”, destacando que a aplicação da construtibilidade pode tornar a execução de obras mais fácil, rápida e de baixo custo.

### 2.1.3 O projeto e a coordenação modular

A coordenação modular é uma ferramenta de projeto que permite, através de um “módulo padrão”, o uso racional de sistemas construtivos em obra sem que sejam necessárias adequações no tamanho dos componentes para sua instalação (LUCINI, 2001). Além disso, a coordenação modular também promove a integração entre diferentes sistemas construtivos, desde que também sejam fabricados segundo um “módulo padrão”, em que componentes e sistemas passam a unir-se entre si segundo um processo de montagem simplificado (ANDRADE, 2000). A implantação de medidas modulares em todas as etapas da construção civil, como a fabricação dos componentes, projeto, execução e, até mesmo, manutenção, promove a otimização, simplificação e racionalização de todos os processos (BARBOZA; LIMA, 2009).

A NBR 15873 (2010) estabelece que a coordenação modular visa promover a compatibilidade dimensional entre elementos construtivos (definidos nos projetos das edificações) e componentes construtivos (definidos pelos respectivos fabricantes). Isso significa: a) ampliar a cooperação entre os agentes da cadeia produtivo da construção civil; b) racionalizar a variedade de medidas de coordenação empregadas na fabricação de componentes construtivos; c) simplificar o processo de marcação no canteiro de obras para o posicionamento e instalação de componentes construtivos; d) aumentar a intercambialidade de componentes tanto

na construção inicial quanto em reformas e melhorias ao longo da vida útil projetada da edificação.

A mesma norma destaca: a unidade de medida fundamental na coordenação modular é o módulo básico, representado pela letra M cujo valor normalizado é  $1 M = 100 \text{ mm}$ . Determina ainda que para uma melhor articulação dos elementos e componentes construtivos, bem como suas compatibilizações, pode-se adotar os multimódulos que são múltiplos inteiros do módulo básico, por exemplo: na série  $n \times 6 M$ , todos os valores são múltiplos de  $2 M$  e  $3 M$ .

O projeto modular deve ser desenvolvido conforme um “quadriculado modular de referência”, de modo que as plantas, cortes e fachadas são elaborados sobre uma malha modular que permite coordenar a posição e as dimensões de todos os componentes da edificação. A adoção da malha favorece não somente a elaboração do projeto, mas também o processo de montagem dos componentes, pois reduz a possibilidade de cortes que geram desperdício no canteiro de obras, seja de materiais, seja de mão de obra (BALDAUF, 2004). Ao se adotar a coordenação modular, o projetista passa a ter outra visão sobre o projeto que, agora, envolve a fase de seleção e compra de materiais, assim como a de execução (BARBOZA; LIMA 2009).

Conhecida como uma estratégia capaz de organizar espaços, a coordenação modular permite relacionar as medidas de projeto com as de fabricação dos componentes, sem abandonar as questões de composição geométrica e de proporções. Assim, criam-se critérios para a definição das dimensões dos componentes, já que a ordenação e a racionalização se efetivam pela medida de referência chamada “módulo”, o qual deve ser respeitado ao se projetar todos os espaços e componentes do edifício (GREVEN; BALDAUF, 2007). Dessa forma, a coordenação modular pode ser entendida como uma ferramenta diretiva de projeto e execução de uma obra, a qual promove economia e qualidade, sem causar prejuízos à arquitetura (BARBOZA *et al.*, 2011).

Franco (1992) destaca que a coordenação modular objetiva a padronização dos materiais e componentes numa edificação e a diminuição de problemas de interface entre componentes. Além disso, favorece o uso de técnicas pré-definidas em que o controle de produção é mais fácil. A redução dos desperdícios com adaptações, a maior precisão dimensional e a diminuição de erros da mão de obra,

com conseqüente aumento da qualidade e da produtividade, justificam o porquê da aplicação da coordenação modular já na etapa de projeto.

Assim, percebe-se que há uma racionalização do projeto ao se adotar a coordenação modular, pois os detalhes construtivos mais comuns já estão solucionados devido à própria padronização. Além disso, há uma unificação de uma linguagem gráfica, descritiva e de especificações que se torna comum a todos os fabricantes, projetistas, construtores e montadores, o que, por sua vez, acaba facilitando o entendimento do projeto por todos os participantes do processo (LUCINI, 2001). Por fim, os reticulados permitem posicionar ou inter-relacionar os elementos estruturais, as vedações, as esquadrias, os revestimentos, e tantos outros componentes que obedeçam à disciplina modular, permitindo um melhor aproveitamento dos materiais e gerando o mínimo de cortes e desperdícios (FIRMO, 2003).

#### 2.1.4 Fases do processo de projeto

O processo de projeto se desenvolve em etapas progressivas em que, no início, se tem grande liberdade de escolha para as alternativas que são possíveis de serem aplicadas à edificação. Entretanto, na medida em que o projeto evolui, as alternativas vão sendo substituídas pelo detalhamento das soluções adotadas. Dessa forma, o processo de projeto se desenvolve gradativamente segundo as seguintes fases: programa de necessidades, estudo preliminar, anteprojeto, projeto executivo, projeto para produção, planejamento e execução (MELHADO, 1994).

A NBR 16636 (2017), por sua vez, apresenta variações em relação às fases apresentadas por Melhado, definindo: levantamento, programa de necessidades, estudo de viabilidade, estudo preliminar, anteprojeto, projeto legal, projeto básico e projeto para a execução. Como se percebe, a nomenclatura das fases pertencentes ao processo de projeto não forma um consenso (PICCHI, 1993). Das fases citadas, destacam-se apenas três, por terem maior relevância no âmbito desta pesquisa. São elas: estudo preliminar, anteprojeto e projeto executivo.

Castan (2005) *apud* Oliveira (2009) informa os principais objetivos e conteúdo a serem observados durante a elaboração do projeto nos estudos preliminares, anteprojeto preliminar, anteprojeto definitivo e projeto executivo, bem como os

documentos que devem ser gerados ao término de cada umas dessas etapas (QUADRO 2).

Quadro 2 - Objetivos, conteúdos e produtos das etapas do processo de projeto

Etapa	Objetivos/Esopo mínimo de produto e serviço	Produtos
Estudos preliminares	formular o produto-edifício segundo as exigências do programa de necessidades (definir preliminarmente o produto a projetar)	esboços de várias alternativas; estudo de viabilidade
	consolidar a capacidade funcional do produto, especificando as funções técnicas dos diferentes elementos arquitetônicos a serem empregados no produto-edifício	
	avaliar a compatibilidade das funções do empreendimento com o programa de necessidades, além de fazer uma pré-avaliação dos custos, levando em conta algumas das alternativas propostas	
Anteprojeto Preliminar	avaliar as diferentes opções arquitetônicas e selecionar a opção “ótima”	memorial descritivo, explicativo e justificativo; planilha preliminar do custo; conjunto de anteprojetos gráficos: esboços, plantas, cortes, vistas e <i>plan masse</i> (planta da localização do imóvel com relação ao seu entorno)
	precisar a composição geral do empreendimento (incluindo definição de tecnologias construtivas, pré-dimensionamentos estruturais e concepção de sistemas de instalações prediais)	
	propor diretrizes técnicas (esquematizar as exigências de desempenho e qualidade do projeto e da obra)	
	estabelecer um cronograma de execução preliminar	
	antecipar a necessidade, ou não, de dividir o projeto em partes (lotes) e defini-las	
	estimar um custo geral previsto	
Anteprojeto Definitivo	consolidar a escolha dos elementos e componentes do edifício, em função da compatibilidade com as legislações e normas técnicas pertinentes, especialmente relativas à salubridade e segurança, e com critérios industriais (qualidade do produto) e técnicos (desempenhos esperados)	compatibilização entre projetos; conjunto de anteprojetos gráficos definitivos; conjunto de projetos gráficos e escritos, para solicitar aprovação do projeto e permissão de construir perante as autoridades competentes (projeto legal); planilha preliminar de custo por lotes
	estabelecer estratégia de integração entre os componentes e elementos construtivos	
	identificar as interfaces entre subsistemas, elementos e componentes existentes (interfaces técnicas e operacionais)	
	decompor o custo estimado em lotes	
Projeto executivo	detalhar a concepção do produto estudando também os principais meios e procedimentos para o projeto ser executado	conjuntos de projetos gráficos detalhados e validados; projeto para produção preliminar memoriais e cadernos de encargos técnicos
	qualificar o produto, ou seja, mostrar que o produto responde as exigências e necessidades anteriormente estabelecidas	
	produzir um documento que defina o produto-edifício, ou parte dele, o qual constituirá uma referência para sua fabricação e aplicação em obra	

Fonte: (CASTAN, 2005 *apud* OLIVEIRA, 2009)



O estudo preliminar consiste na concepção e representação gráfica que deve atender aos parâmetros e exigências do programa de necessidades e permitir a avaliação do partido arquitetônico e da configuração física da edificação (MELHADO, 1994). É nessa fase que se deve analisar a adequação técnica da solução arquitetônica, o conforto habitacional e a tecnologia a ser empregada. Além disso, deve-se estudar os sistemas de vedação e cobertura a serem empregados, o número de pavimentos, a orientação do edifício em relação ao norte, bem como uma estimativa preliminar de custos (ROMANO, 2003).

O anteprojeto, por sua vez, consiste na representação preliminar da solução adotada para o projeto, em forma gráfica e de especificações técnicas, incluindo: definição da tecnologia construtiva, pré-dimensionamento da estrutura, concepção dos sistemas de instalações, entre outras informações que permitam avaliações da qualidade do projeto e do custo da obra (MELHADO, 1994). Já para a NBR 16636 (2017), essa fase destina-se à concepção e à representação das informações técnicas provisórias de detalhamento da edificação e dos seus componentes, necessárias ao inter-relacionamento das atividades de projeto e suficientes à elaboração de estimativas de custos e de prazos dos serviços de obra implicados.

Por fim, o projeto executivo pode ser definido como a representação final e completa das edificações e seu entorno, na forma gráfica e de especificações técnicas e memoriais, suficientes para a perfeita compreensão do projeto, elaboração do orçamento e contratação das atividades de construção correspondentes (MELHADO, 1994). Conforme a NBR 16636 (2017), essa fase, considerada como a de maior complexidade do processo, destina-se ao detalhamento e à representação das informações técnicas da edificação e de seus elementos, instalações e componentes, completas, definitivas, necessárias e suficientes à licitação (contratação) e à execução dos serviços de obra correspondentes, envolvendo, portanto, todas as especialidades de projeto.

## **2.2 A fachada**

A fachada, do ponto de vista construtivo, é a vedação envoltória do edifício em que uma das suas faces sempre se encontra em contato com o exterior (SABBATINI *et al.*, 2007 *apud* VEDOVELLO, 2012). É composta por elementos que definem o perímetro da edificação, isolando os ambientes internos dos externos e

protegendo-os dos agentes agressivos presentes no meio exterior. A vedação da fachada, que inclui esquadrias e revestimentos, tem grande relevância para a edificação, pois, além de promover habitabilidade e valorização, tem importante participação nos custos de execução e manutenção do empreendimento (OLIVEIRA, 2009).

Assim, a fachada, além de interagir e modificar a paisagem das cidades, deve cumprir a função básica de proteger o interior do edifício, proporcionando estanqueidade, durabilidade e baixo custo de manutenção, ao mesmo tempo em que precisa fornecer luz, calor e ventilação (CEOTTO, 2010). Goldberg (1998) *apud* Silva (2014) corrobora: a vedação externa deve servir não somente de barreira, mas de filtro capaz de controlar fatores complexos, tais como pressão do vento e resistência a sismos; resistência à movimentação térmica e umidade; conservação de energia e controle do fluxo de calor entre o meio interior e exterior; resistência e controle à penetração de chuva; controle da migração do vapor de água e condensação; resistência acústica; resistência e contenção ao fogo; permitir iluminação natural para o ambiente interior; permitir circulação de ar entre o meio interior e exterior.

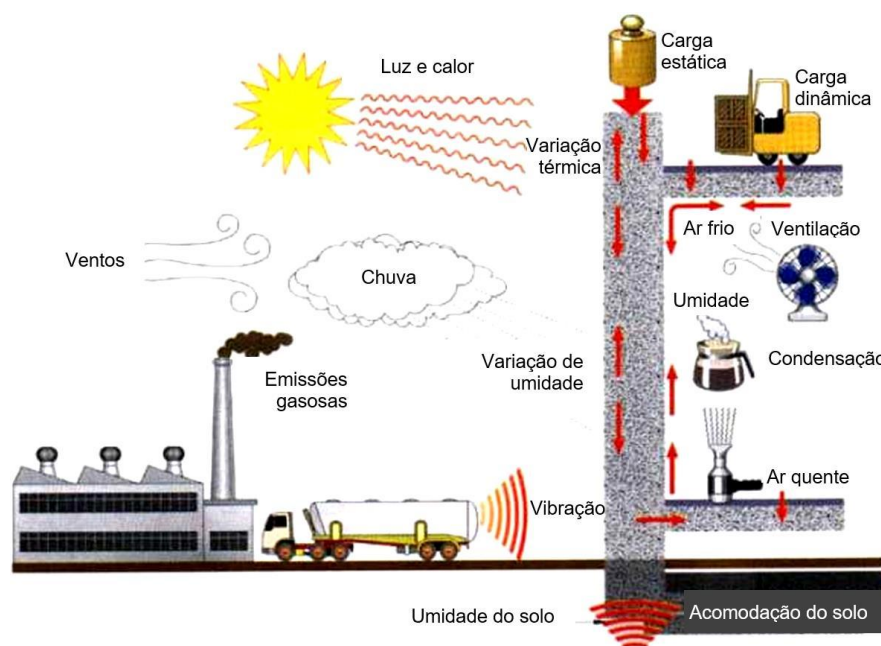
### 2.2.1 Agentes de degradação das fachadas

A degradação é um processo em que uma ou mais propriedades dos materiais são afetadas pela ação dos agentes de degradação, e esses, por sua vez, são todos aqueles que, agindo sobre a edificação, prejudicam seu desempenho. Os agentes de degradação podem agir de forma isolada ou em conjunto, simultânea ou sequencial, expondo a edificação à diferentes condições (Figura 2). Assim, a durabilidade não é uma qualidade intrínseca de um material, mas um atributo que depende mais do conhecimento do que dos próprios recursos, de modo que o conhecimento sobre esses agentes permite tomar decisões de projeto que promovem maior proteção aos componentes da edificação, aumentando a sua vida útil (ZANONI, 2015).

Um exemplo disso é a umidade por infiltração, proveniente da penetração da água de chuva do exterior para o interior percorrendo a espessura da fachada, podendo chegar a atravessá-la produzindo manchas na face interna. A infiltração pode ser facilitada em função da estrutura porosa do material e do seu coeficiente

de absorção (PEREZ, 1988 *apud* ANTUNES, 2010). Por isso, a chuva dirigida, ou chuva carregada pelo vento, torna-se a maior fonte de umidade que afeta a durabilidade e o desempenho higrotérmico das edificações. Sua degradação, que depende da orientação da fachada, intensidade da chuva dirigida e da geometria do edifício, ocorre devido à penetração de água pelas paredes externas, pela umidade que fica retida nos materiais e pelo escoamento da água ao longo da envoltória (GIONGO; PADARATZ; LAMBERTS, 2011).

Figura 2 - Agentes de degradação das vedações verticais externas



Fonte: (ABCP, 2002 *apud* ANTUNES, 2010, p. 7)

Assim, os danos causados pela chuva dirigida vão desde efeitos estéticos até degradações profundas, dentre os quais podem-se citar: as infiltrações, eflorescências, bolores, goteiras, manchas e degradação dos materiais que constituem os componentes das fachadas (CIRIA, 1992 *apud* GIONGO; PADARATZ; LAMBERTS, 2011). Além do mais, o acúmulo de água da chuva nas paredes externas da edificação também pode provocar a diminuição da resistência térmica dos materiais que compõem essas paredes, tornando-as mais permeáveis ao calor. Por isso, os dados de chuva dirigida são tão importantes para os estudos sobre problemas relacionados ao fluxo de calor nas edificações e ao consumo de energia para atingir o conforto térmico em ambientes internos (CHAND; BHARGAVA, 2002 *apud* GIONGO; PADARATZ; LAMBERTS, 2011).

Outro exemplo, são as variações sazonais de temperatura, que promovem uma variação dimensional nos materiais de construção. Os movimentos de dilatação e contração são limitados pelas interfaces entre os sistemas e, em decorrência dessa limitação de movimentos, surgem as tensões que provocam fissuras. As movimentações térmicas também estão voltadas às propriedades físicas dos materiais, já que a origem da fissura pode ocorrer devido a movimentações diferenciadas entre componentes de um elemento, entre elementos de um sistema e entre regiões distintas de um mesmo material (THOMAZ, 1989 *apud* SILVA, 2014).

Dessa maneira, a variação de temperatura incidente sobre os materiais pode causar, além de movimentação térmica, choque térmico. O choque térmico refere-se a taxa e amplitude da variação de temperatura em períodos curtos de tempo, ou seja, ocorre em virtude de variações bruscas de temperaturas em função de eventual chuva de verão ou ventos sobre fachadas que estejam com carga térmica elevada. Já a movimentação térmica nos materiais de construção ocorre em função da expansão e contração quando expostas as variações de temperatura (BARBOSA, 2013).

Além disso, as variações térmicas, aliadas à umidade, provocam esforços higrotérmicos que atuam diretamente sobre os acabamentos, provocando uma dilatação das unidades construtivas em função dos seus coeficientes de dilatação potencial e de sua técnica de execução. Essas variações provocam o surgimento de gretas e fissuras. O mesmo pode ocorrer pela expansão por umidade (EPU), também chamada de dilatação higroscópica, termo técnico usado para designar a expansão sofrida pelos materiais cerâmicos quando esses entram em contato com a água na forma líquida ou de vapor, podendo levá-los ao destacamento (SILVA, 2014).

A umidade por condensação é aquela que aparece na fachada como consequência do vapor de água que se condensa na superfície, ou no interior dos elementos de construção quando tende atravessá-la para alcançar, em algum ponto de seu caminho, a temperatura de saturação que está em função da pressão do vapor de água. O caminho de vapor de água que vai desde o ambiente de maior pressão para o de menor, sendo, para tanto, necessário também a permissividade do vapor de água de materiais da fachada (PEREZ, 1988 *apud* ANTUNES, 2010).

O vento, por sua vez, age na fachada sob a forma de pressão estática ou dinâmica, e sua intensidade é um fator determinante nas soluções estruturais, já que

pode provocar deformações nos elementos ou componentes de fachada. Por outro lado, sob a ótica da eficiência energética e conforto ambiental, o vento é um elemento chave para obtenção de soluções passivas ou aplicação sustentável dos recursos naturais. Entretanto, além da chuva dirigida e do choque térmico, o vento pode atuar em dois outros fenômenos: na erosão mecânica, em que o vento transporta partículas erosivas que desgastam os revestimentos, de modo a torná-los mais permeáveis à água e rugosos, favorecendo a impregnação de sujidades, e no ataque químico e biológico, em que o vento transporta sais, micro-organismos e agentes poluentes (ZANONI, 2015).

Petrucci (2000), por sua vez, informa que as mudanças na sua aparência podem se dar devido ao ataque químico na camada da superfície ou devido à deposição de partículas sólidas na mesma. As manifestações patológicas de manchamento das superfícies das fachadas ocorrem como resultado da aderência de partículas. Dessa forma, envelhecimento ou degradação das fachadas pela exposição às partículas originadas da poluição do ar é o resultado de uma sequência de eventos, começando com a emissão de poluentes por alguma fonte, seguida pelo transporte atmosférico e pela deposição sobre a superfície da fachada. Os contaminantes do ar, combinados com o vento e a chuva, interagem com os materiais, com a geometria da fachada e as formas provenientes de seus detalhes, determinando mudanças visuais (degradações) que podem alterar a intenção estética do projetista e diminuir sua vida útil (VIEIRA, 2005 *apud* POYASTRO, 2011).

Além disso, tem-se o bolor, que é o resultado da proliferação intensa de fungos. Para o desenvolvimento desses agentes microbianos são necessários, além da presença de esporos na superfície, umidade e temperatura adequadas ao tipo de organismo, nutrientes e tempo de exposição. Pedra, concreto e tijolos são mais tolerantes ao crescimento dos fungos, mas a poeira ou outras substâncias orgânicas acumuladas nas superfícies vão mudar as suas propriedades e torná-las mais apropriadas ao emboloramento. Assim, os fungos e bactérias são capazes de deteriorar diferentes tipos de materiais (VIITANEN, 1996; ALUCCI *et al.*, 1988 *apud* POYASTRO, 2011).

Por fim, dentre os sistemas que compõem o edifício, a fachada é um dos elementos mais sensíveis à degradação devido aos agentes externos (SILVA *et al.*, 2016). As diversas manifestações patológicas que ocorrem nas vedações externas são resultantes da atuação simultânea dos vários agentes intervenientes de

degradação (JOHN; SATO, 2006 *apud* SILVA, 2014). Por isso, a durabilidade das fachadas depende de projetos que contemplem requisitos de proteção a esses agentes de exposição (SILVA, 2014).

### 2.2.2 Classificação das fachadas

As fachadas podem ser classificadas quanto à sua densidade, de modo que essas podem ser leves ou pesadas. As fachadas leves são aquelas que têm densidade superficial baixa, cujo limite aproximado é de 100 kg/m<sup>2</sup>. Já nas fachadas pesadas, os elementos têm densidade superficial superior ao limite pré-determinado de 100 kg/m<sup>2</sup> (OLIVEIRA, 2009). Entretanto, a NBR 15575- 4 (2013) considera que o limite que distingue esses tipos de fachadas é de 60 kg/m<sup>2</sup>.

De acordo com Sabbatini *et al.*, (1998) *apud* Oliveira (2009), as fachadas também podem ser classificadas quanto ao momento em que os revestimentos são incorporados à vedação, podendo ser uma vedação com revestimento incorporado, uma vedação com revestimento posteriormente aderido ou uma vedação sem revestimento. Como exemplo de vedações com revestimento incorporado tem-se os painéis arquitetônicos pré-fabricados de concreto, em que as vedações são posicionadas no local definitivo sem que haja a necessidade de revesti-las posteriormente. Por outro lado, nas vedações com revestimento posteriormente aderido, tem-se, como exemplo, as paredes de alvenaria que são revestidas após serem construídas, seja de forma aderido ou não. Por fim, como exemplo de vedações sem revestimento tem-se as fachadas envidraçadas, que são formadas por elementos que dispensam revestimentos.

Outra classificação importante é em relação à estruturação. Segundo Sabbatini (2002), as fachadas podem ser autoportantes ou estruturadas. No primeiro caso, as paredes têm a capacidade de se sustentar, pois funcionam não somente como vedação, mas como estrutura, e essa situação pode ser exemplificada pelas paredes em alvenaria estrutural. Entretanto, nas fachadas estruturadas, as paredes de vedação necessitam de uma estrutura reticulada para sustentá-las. Esse segundo caso pode ser verificado nas paredes de vedação em alvenaria de blocos cerâmicos.

O mesmo autor informa que as fachadas também podem ser classificadas como monolíticas ou modulares, sendo que a visibilidade das juntas é determinante

para essa distinção. As fachadas monolíticas são aquelas que não apresentam juntas aparentes, como acontece nas paredes externas em alvenaria rebocada. Já as modulares são aquelas em que as juntas são visíveis, como ocorre nos painéis pré-fabricados de fachada.

Por fim, as fachadas leves podem ser classificadas em cortina e semi-cortina. A fachada cortina é totalmente externa à edificação, passando em frente às lajes dos pavimentos formando uma pele. Porém, na fachada semi-cortina, há uma camada interna de vedação que constitui o fechamento entre os pavimentos e outra externa, de revestimento, que passa em frente às lajes dos pavimentos. A camada interna da fachada semi-cortina pode ser uma parede de alvenaria de blocos cerâmicos (OLIVEIRA, 2009).

Alguns autores distinguem fachada “cortina” de “semi-cortina” com base no número de camadas e nas funções que elas devem exercer. Assim, afirmam que uma fachada cortina é aquela que tem apenas uma camada que passa em frente às lajes dos pavimentos capaz de promover à edificação estanqueidade à água e ao ar, como acontece, por exemplo, nas peles de vidro; enquanto na fachada semi-cortina existem duas camadas com funções diferentes, sendo uma externa, de revestimento, que passa em frente às lajes dos pavimentos e proporciona estanqueidade à água, e outra interna, de vedação, que fecha os pavimentos promovendo estanqueidade ao ar. A fachada ventilada é um exemplo claro de fachada semi-cortina.

Medeiros e Sabbatini (1999) concluem: tradicionalmente, são aplicados, nos edifícios brasileiros, revestimentos completamente aderidos às paredes de vedação externa, como os revestimentos argamassados e os cerâmicos, sendo esses denominados de “aderidos”. Porém, quando os painéis de revestimento são fixados às paredes de vedação através de uma estrutura metálica de sustentação, seja por insertes metálicos, seja por subestrutura, esse tipo de revestimento denomina-se “não aderido”.

### **2.3 Revestimento não aderido**

O revestimento não aderido é aquele fixado às paredes externas de vedação por meio de estrutura metálica denominada “subestrutura”, e nessa, são fixados os painéis de fechamento. Esses painéis normalmente ficam afastados das paredes

externas em torno de 10 a 20 cm, contudo essa distância pode variar devido à falta de alinhamento vertical (prumo) da base (MEDEIROS *et al.*, 2014). Os mesmos autores acrescentam que a subestrutura desse tipo de revestimento é constituída de perfis extrudados de alumínio, ancoragens, também em alumínio e parafusos e chumbadores em aço inoxidável. Além disso, a disposição dos perfis pode ser na vertical e/ou na horizontal em função do tipo de fixação adotado para os painéis e da própria resistência dos painéis aos esforços de vento, peso próprio e impacto.

O revestimento não aderido deve ser dimensionado de modo que permita a remoção do ar quente que se aloja no espaçamento entre o painel de fechamento e a parede externa de vedação do edifício (SIQUEIRA JÚNIOR; MEDEIROS, 2003). Assim, Medeiros *et al.*, (2014) esclarecem: entre o painel e a parede externa forma-se uma câmara de ar em movimento onde ocorre o chamado “efeito chaminé”, e esse, por sua vez, consiste no movimento ascensional do ar quente, promovendo sua renovação natural. Entretanto, para que isso aconteça, é preciso que haja o correto dimensionamento da câmara de ar e das suas aberturas de ventilação, seja na base e no topo do sistema, seja entre os painéis de fechamento.

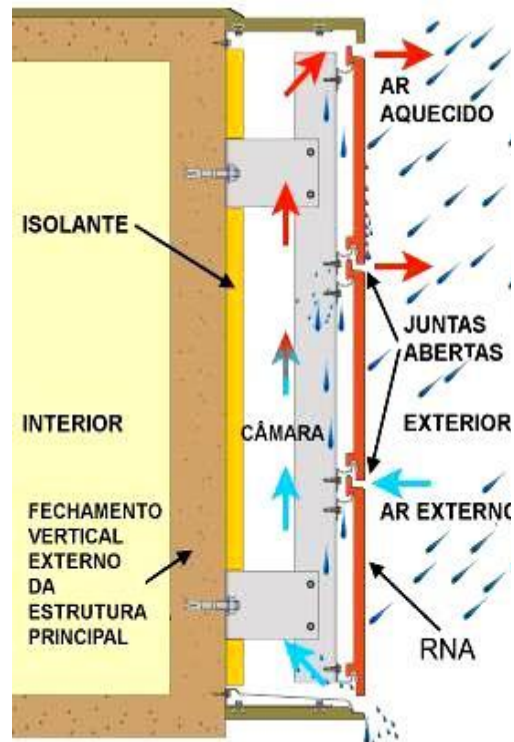
A câmara de ar ventilada contribui de forma decisiva para o desempenho térmico e para a eficiência energética da edificação, pois, além de remover o calor de dentro dela, promove o sombreamento da parede externa de vedação (VEDOVELLO, 2012). Além disso, pode-se adicionar um material isolante térmico como, por exemplo, a lã de rocha no interior da câmara de ar, principalmente em edifícios localizados em regiões frias, de modo a manter a temperatura interna de conforto e obter menores demandas de energia por calefação. Entretanto, o isolamento não é indicado para edifícios localizados em climas quentes, pois impedem que os ganhos de calor, tanto internos quanto solar, sejam dissipados para o exterior (ATEM, 2016).

O espaço livre proporciona, tanto a drenagem de eventuais respingos de água que adentram à câmara, como também a evaporação da umidade presente em seu interior (RECATALÁ, 2017). Siqueira Júnior e Medeiros (2003) corroboram: a câmara é a principal responsável pelo desempenho higrotérmico da edificação, pois promove a interrupção da capilaridade e forma um espaço livre para a drenagem da água por gravidade. A câmara ventilada auxilia na remoção da umidade devido ao constante fluxo de ar que ocorre dentro dela, e essa ventilação torna-se ainda mais



necessária quando a umidade se aloja na face dos painéis de isolamento em lã de rocha, pois proporciona a sua secagem (FIGURA 3).

Figura 3 - Efeito chaminé e drenagem em revestimento não aderido



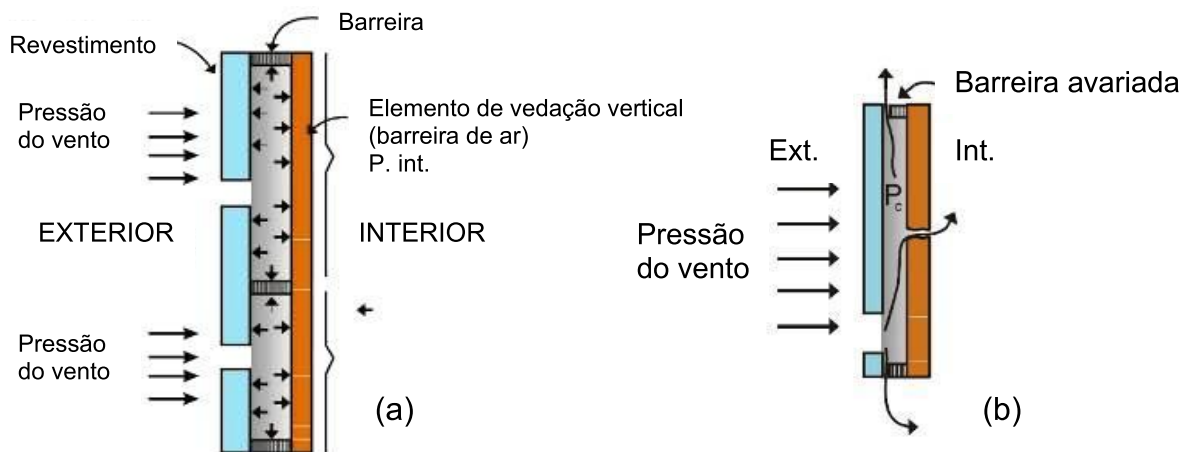
Fonte: (MACHADO, 2012, p. 37)

Dessa forma, a expressão “fachada protetora de chuva”, termo que também se refere ao revestimento não aderido, surgiu porque quando a chuva atinge o primeiro paramento (de revestimento), encontra uma primeira barreira que anula a energia cinética das gotas e a porção que eventualmente venha a passar pelas juntas não tem a força necessária para alcançar a parede externa de vedação, já que a câmara não oferece um meio físico para isso, escorrendo, por gravidade, pelo tardo do revestimento até chegar à base onde deve ser escoada pelo sistema de drenagem (CANADA MORTGAGE AND HOUSING CORPORATION, 2002 *apud* MACHADO; OLIVEIRA, 2013).

Porém, a estanqueidade também pode ser obtida pela “pressão equalizada”, estratégia que funciona da seguinte forma: quando as juntas entre os painéis são abertas e o sistema é estanque na base e no topo, o vento, que penetra através das juntas, preenche a câmara de ar até que a pressão interna se torne igual a externa, exercendo pressões em sentidos opostos. Dessa forma, a chuva dirigida não consegue entrar porque há uma força de igual intensidade repelindo-a para fora

(FIGURA 4 a). Essa situação, apesar de interessante, requer cuidados porque a intensidade do vento nunca é igual e sua direção sempre pode mudar. Além disso, como a câmara é pressurizada, caso a parede de vedação apresente fissuras, certamente haverá infiltração de ar para dentro dos ambientes internos (FIGURA 4 b) (CANADA MORTGAGE AND HOUSING CORPORATION, 2002 *apud* MACHADO; OLIVEIRA, 2013).

Figura 4 - Conceito de pressão equalizada (a) e infiltração de ar na edificação (b)



Fonte: (SIQUEIRA JÚNIOR, 2003, p. 15)

Por isso, entende-se também que o sistema tem várias barreiras e, para que a estanqueidade seja obtida, cada uma delas deve cumprir uma função específica, sendo que a barreira de revestimento, na linha de frente, tem a função de proteger a edificação da chuva dirigida, enquanto a parede de vedação, barreira interna, deve impedir a penetração de ar. O mesmo princípio, a título de exemplo, acontece em uma janela com venezianas, onde a chuva é barrada pelas palhetas enquanto o ar é barrado pelo vidro. Devido a esse funcionamento, o sistema também pode ser conhecido como “fachada de barreiras múltiplas” (PEREZ, 1988 *apud* MACHADO; OLIVEIRA, 2013).

Porém, o termo que melhor sintetiza os inovadores sistemas de revestimento não aderido é o de “fachada protetora do clima”, pois refere-se a todas as formas de proteção, já que impedem a entrada de sol porque têm uma primeira barreira revestimento; repelem as pressões de vento pela reação contrária de todo o conjunto; dificulta os diferenciais de temperatura pelo sombreamento que o paramento externo de revestimento faz no interno; e, por fim, na melhoria do isolamento acústico da fachada, principalmente quando há um isolamento em

material fibroso na câmara (lã de rocha) (CANADA MORTGAGE AND HOUSING CORPORATION, 2002 *apud* MACHADO, 2012).

Dessa forma, Medeiros *et al.*, (2014) destacam que, além de edificações novas, uma utilização interessante para o revestimento não aderido é a da reabilitação de edifícios, sobretudo quando esses apresentam comprometimento de seu desempenho como, por exemplo, térmico, acústico e falta de estanqueidade à água ou de fissuração, causando perda de vida útil. Além disso, tem-se a redução no consumo de energia pelo menor uso de sistemas de refrigeração e calefação e menor exposição da estrutura aos agentes de degradação. Essa solução, sob o aspecto da execução, permite uma intervenção não destrutiva, limpa e rápida, se comparada ao sistema convencional.

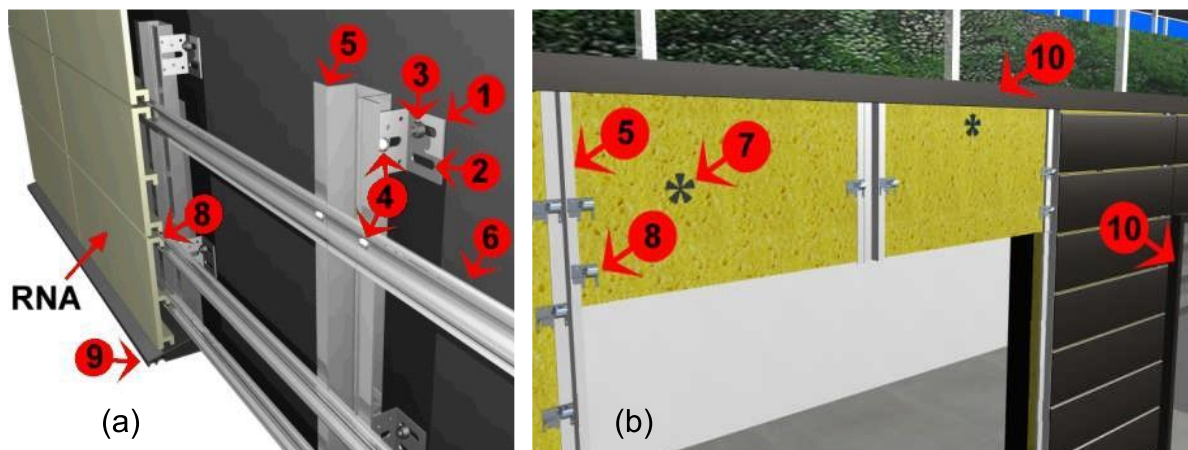
### 2.3.1 Revestimento cerâmico não aderido em fachadas

Apesar das variações existentes entre os sistemas presentes no mercado, principalmente em relação aos componentes de fixação das placas à subestrutura, basicamente o revestimento cerâmico não aderido em fachadas é constituído pelos seguintes elementos: painéis cerâmicos, subestrutura metálica, câmara de ar, isolamento térmico e parede suporte. Além desses, tem-se os perfis de acabamento localizados no contorno das esquadrias, na base e no topo da fachada, os quais devem cumprir funções importantes para o funcionamento do sistema (FIGURAS 5 a e b). Os referidos componentes devem apresentar características capazes de promover não somente desempenho à edificação, mas também durabilidade ao sistema de fachada, atendendo, portanto, à vida útil de projeto (VUP) (MACHADO, 2012; MACHADO; OLIVEIRA, 2013; MEDEIROS *et al.*, 2014).

As placas cerâmicas são fabricadas a partir de argilominerais vidrado, óxidos metálicos, dentre outros minerais que, após misturado e moldados, são queimados em fornos sob altas temperaturas. As placas cerâmicas podem ser extrudadas ou prensadas, como os porcelanatos, além de esmaltadas, quando recebem uma camada superficial que torna a superfície da placa vitrificada, ou não esmaltadas, simplesmente queimada no forno. Além disso, as placas cerâmicas podem ser lisas e rugosas, sendo que, sob o aspecto da limpeza, as lisas permitem um melhor escoamento dos resíduos superficiais, sendo interessante em locais com alto índice de poluição. Por fim, as placas também podem ser claras ou escuras, sendo que as

escuras têm maior capacidade de absorver os raios solares, ficando, portanto, sujeitas a maiores temperaturas (BAÍÁ; CAMPANTE, 2008).

Figura 5 - Dispositivos e componentes metálicos da subestrutura (a e b)



Fonte: (MACHADO; OLIVEIRA, 2013, p. 138)

Legenda: 1) Perfil de ancoragem; 2) Furo oblongo do perfil de ancoragem; 3) Chumbadores: dispositivos de fixação dos perfis de ancoragem no substrato; 4) Parafusos: dispositivos de fixação do perfil montante nos perfis de ancoragem, e de fixação dos perfis secundários no perfil montante; 5) Perfis montantes (primários); 6) Perfis guias (secundários): existente em apenas algumas das tipologias; 7) Dispositivos de fixação da manta isolante; 8) Dispositivos de fixação: no próprio perfil guia (secundário) ou por meio de cliques; 9) Dispositivos de drenagem da água da câmara de ar e dispositivos de segurança contra invasões de seres voadores na câmara; 10) Rufos de proteção da câmara de ar pela cobertura, requadramentos em geral.

Os painéis cerâmicos devem apresentar baixa absorção de água, propriedade ligada à sua porosidade, pois quanto mais abertos os poros, maior é a quantidade de água a penetrar na placa. O grau de absorção de água influencia outras propriedades, tais como: resistência mecânica, ao gelo, química, ao impacto e ao choque térmico. A resistência mecânica está associada ao módulo de resistência à flexão e à carga de ruptura, e essas estão relacionadas com a carga máxima que a placa é capaz de suportar ao ser flexionada, dentre outras que possam causar ruptura, esmagamento ou quebra. Essa propriedade depende tanto da absorção de água quanto da espessura, sendo que, quanto menor a porosidade, maior a resistência à flexão (NBR 13818, 1997; BAÍÁ; CAMPANTE, 2008; MEDEIROS; SABBATINI, 1999).

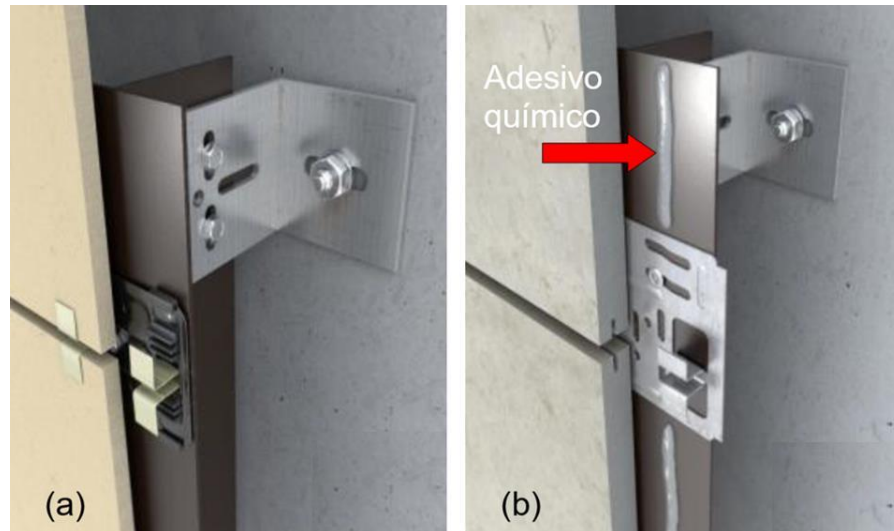
Outra propriedade importante é a resistência ao gelo, já que, em regiões frias, a água que penetra nos poros da placa cerâmica, ao congelar, aumenta de volume e danifica-a. Além disso, a placa cerâmica não pode dilatar-se significativamente quando exposta a variações de temperatura, pois, do contrário, aparecerão microfissuras no esmalte da placa (gretamento), além de que essas podem se soltar da fachada caso a largura das juntas seja incompatível com o espaço que a placa precisa para se movimentar. O mesmo pode ocorrer tanto por variações bruscas de temperatura, fenômeno também chamado de choque térmico, quanto por expansão por umidade, entretanto no segundo caso o aumento de tamanho é irreversível. As placas também precisam resistir não somente a eventuais ataques químicos, mas também às manchas, de modo a não terem sua aparência alterada, seja pela ação de produtos químicos quando esses entram em contato com a placa, seja pela resistência a sujidades que podem aderir-se a sua superfície (NBR 13818, 1997; BAÍA; CAMPANTE, 2008; MEDEIROS; SABBATINI, 1999).

As características dimensionais também merecem atenção no momento da especificação, já que as placas devem atender a critérios de tolerância, tais como: ortogonalidade, curvatura, empenamento e retitude dos lados (NBR 13818, 1997; BAÍA; CAMPANTE, 2008). A ortogonalidade é definida pela perpendicularidade dos lados da placa cerâmica, formando ângulos retos de 90 graus, estando, assim, no esquadro. A curvatura, por sua vez, pode ser central ou lateral. Na central ocorre o desvio vertical no meio da placa (flecha) em relação a sua diagonal, enquanto na lateral, como o próprio nome sugere, o desvio vertical ocorre em relação aos lados da placa. Já no empenamento, o desvio vertical ocorre em apenas um dos cantos da placa, em relação aos outros três, e a retitude dos lados consiste em perceber se os lados da placa estão retos, sem curvaturas côncavas ou convexas (NBR 13818, 1997; BOBADILLA, 2007).

As placas cerâmicas podem ser presas à subestrutura de diferentes formas. Em sistemas com placas cerâmicas em porcelanato, que geralmente tem pequena espessura, os painéis precisam ser beneficiados com cortes nas bordas inferior e superior para seu encaixe nas fixações ocultas, entretanto esses podem ser dispensados caso sejam adotadas fixações aparentes (SIQUEIRA JÚNIOR; MEDEIROS, 2003; MEDEIROS, *et al.*, 2014). Por outro lado, alguns sistemas requerem, além de fixações mecânicas, fixações químicas (FIGURAS 6 a e b),

sendo necessário aplicar adesivo químico a base de poliuretano ao perfil T montante para promover a aderência entre o verso da placa e a subestrutura (DIT 530, 2011).

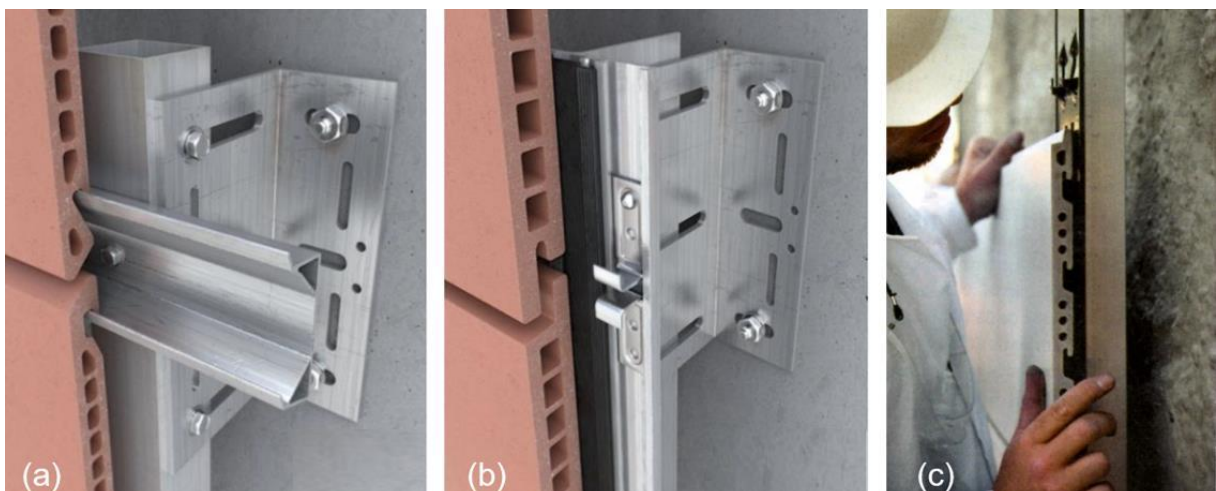
Figura 6 - Fixação aparente (a) e fixação oculta (b)



Fonte: (FAVEBRÁS, 2013, p. 2)

Porém, nos sistemas em placas cerâmicas extrudadas, os painéis são fabricados com vincos, saliências e ranhuras (seja nas bordas inferior e superior, seja no verso do painel) que simplificam a sua instalação nas fixações que, por sua vez, ficam ocultas, dispensando qualquer tipo de processo de colagem (SILVA, 2012) (FIGURAS 7 a e b). As fixações localizadas na borda inferior do painel chamam-se cliques sustentadores, uma vez que suportam o peso da placa, enquanto as fixações da borda superior são os cliques retentores, já que evitam o tombamento do painel (MACHADO, 2012).

Figura 7 - Fixação por guias (a), fixação por montantes e cliques (b) e perfil *rail* (c)



Fonte: (FAVEBRÁS, 2013, p. 3; SILVA, 2012, p. 61)



Uma forma bastante eficiente para a instalação das placas é através do perfil *rail* (FIGURA 7 c), já que num único perfil, fixado sobre o perfil T, tem-se todos os cliques de fixação (garras) para encaixe no verso das placas, evitando-se, assim, que esses sejam instalados individualmente. Além disso, apresenta um mecanismo de compressão que impede a vibração dos painéis quando esses são expostos a ventos fortes, evitando-se, assim, a geração de ruídos internos (SILVA, 2012; MEDEIROS *et al.*, 2014).

As juntas horizontais entre os painéis cerâmicos podem ser abertas, como ocorre nas placas em porcelanatos devido à sua pequena espessura, ou do tipo macho-fêmea, sendo essa comum em placas cerâmicas extrudadas onde se têm maior espessura (MACHADO, 2012; MEDEIROS *et al.*, 2014). As juntas horizontais abertas não são indicadas para fachadas localizadas em locais propícios aos efeitos de chuva dirigida, já que os respingos de água podem passar pelas juntas e adentrar à câmara num volume excessivo, degradando, assim, os materiais em seu interior, isolamento e parede (RECATALÁ, 2017). Entretanto, em locais de clima árido, com baixa intensidade pluviométrica, onde deseja-se o máximo de ventilação na câmara por razões térmicas, a escolha por juntas abertas traz eficiência energética ao edifício (ATEM, 2016).

Assim, Medeiros *et al.*, (2014) destacam que os painéis cerâmicos extrudados, os quais geralmente tem juntas horizontais do tipo macho-fêmea, minimizam sensivelmente a entrada de água na câmara quando comparados às placas em porcelanato. Machado (2012), por sua vez, informa que a borda da placa, no sistema macho-fêmea, deve apresentar um desnível para encaixe de pelo menos 5 cm para que a junta seja eficiente, além de inclinação sentido interno-externo, de modo a conduzir a água da chuva (que incide contra a fachada em eventos de chuva dirigida) para fora do sistema. Assim, a junta macho-fêmea é indicada principalmente em edifícios implantados em regiões propícias à ação de chuva dirigida (RECATALÁ, 2017).

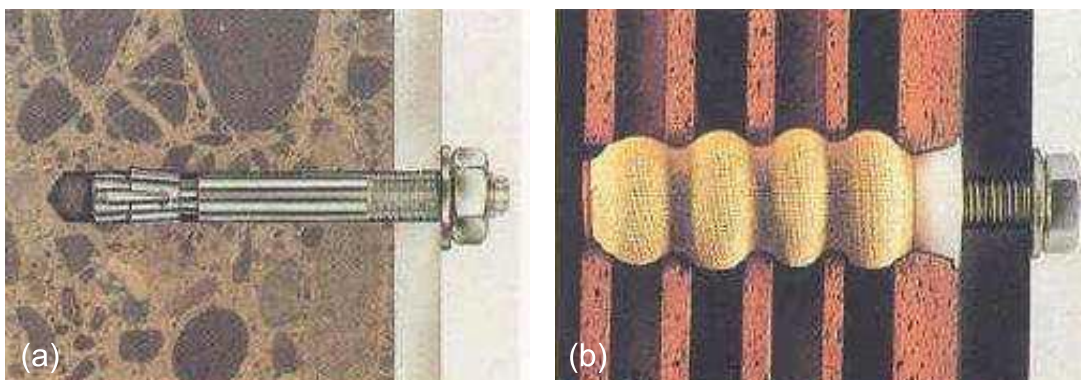
A subestrutura metálica deve ser executada em alumínio, formada por perfis T verticais, posicionados conforme a paginação das placas de revestimento no plano da fachada. Esses, por sua vez, são fixados à estrutura (ou às paredes externas de vedação) por meio de ancoragens em forma de U ou L, constituídas do mesmo material dos montantes. A conexão dos perfis T às ancoragens é realizada através de parafusos autoperfurantes de aço inoxidável, e a distância entre ancoragens é

estabelecida em função da capacidade resistente da base de suporte e das ações de vento que se verificam no local de implantação da obra (SIQUEIRA JÚNIOR; MEDEIROS, 2003). Uma placa de fibra de vidro ou neoprene pode ser aplicada entre o perfil de ancoragem e a parede suporte, evitando, dessa forma, a ocorrência de perdas de calor, do ambiente interno, por condução, fenômeno conhecido como “ponte térmica” (SILVA, 2012).

As ancoragens têm a responsabilidade de transferir os esforços atuantes no revestimento não aderido para a envoltória da edificação, e essas podem ser de sustentação ou retenção. As de sustentação, são presas aos elementos estruturais do edifício e constituem os chamados “pontos fixos”, ou seja, furos comuns que não permitem o deslocamento vertical dos perfis T decorrente da dilatação térmica. Têm por função suportar não somente o peso próprio do conjunto, mas também as cargas provenientes das ações do vento (seja de pressão ou sucção). As ancoragens de retenção, por sua vez, são fixadas às paredes externas da edificação, geralmente em três pontos, e sua função é suportar as cargas horizontais decorrentes das ações de vento para evitar a flexão dos perfis T e permitir a dilatação térmica dos montantes por meio dos furos oblongos dos pontos deslizantes, dilatando-se e contraindo-se livremente (MACHADO, 2012; MEDEIROS *et al.*, 2014; RECATALÁ, 2017).

A junção das ancoragens à envoltória do edifício precisa ser feita através de fixações adequadas à base suporte, seja ela em concreto armado, seja em alvenaria de blocos cerâmicos. Nos elementos estruturais, geralmente usa-se chumbadores mecânicos, de modo que, na medida em que esses recebem torque, aumentam a pressão no concreto prendendo-se por atrito (FIGURA 8 a).

Figura 8 - Fixação por chumbador (a) e parafuso e bucha de *nylon* (b)



Fonte: (SIQUEIRA JÚNIOR, 2003, p. 165)



Por outro lado, nos elementos vazados, como a alvenaria de blocos cerâmicos, usa-se buchas em *nylon*, já que essas, ao se expandirem pela introdução do parafuso, não exercem pressões significativas às paredes do bloco que possa rompê-lo (FIGURA 8 b) (SIQUEIRA JÚNIOR, 2003; MACHADO, 2012).

A câmara de ar, por sua vez, pode ser projetada para ser ventilada ou não. Quando não ventilada, ou seja, fechada na base e no topo, o aquecimento provocado pela radiação proporciona um estoque temporário de calor que protege os ambientes internos de eventuais perdas, sobretudo nos lugares onde o inverno é rigoroso. Porém, quando ventilada, ocorre a remoção do calor pelo efeito chaminé, evitando o aquecimento da parede de vedação e, conseqüentemente, a transferência de calor para o interior do edifício (UUTTU, 2001 *apud* SIQUEIRA JÚNIOR, 2003; ATEM, 2016). A ventilação na câmara proporciona não somente a evaporação da umidade presente na face externa das paredes da envoltória, mas também a eliminação do vapor de água proveniente dos ambientes internos da edificação, mantendo, dessa forma, tanto a parede quanto a isolamento térmico secos (SIQUEIRA JÚNIOR, 2003; RECATALÁ, 2017).

Atem (2016) informa, com base em simulações computacionais, que, em regiões frias, câmaras de ar não ventilada, com largura de 5 cm e com a presença de isolamento térmico, pode promover eficiência energética à edificação pelo menor uso de sistemas de calefação, enquanto em lugares predominantemente quentes, câmaras com o máximo de ventilação, com largura de 15 cm e sem isolamento, tendem a proporcionar menor consumo de energia pelo menor uso de sistemas de refrigeração. Mesmo que o sistema seja projetado como não ventilado, como indicado para os lugares frios, aberturas na base do sistema são necessárias para permitir o escoamento de água que eventualmente passe pelas juntas (CROSET, 1970 *apud* SIQUEIRA JÚNIOR, 2003).

O isolamento térmico deve ser instalado dentro da câmara na face externa da parede de vedação e tem por objetivo fornecer resistência ao fluxo de calor, seja esse vindo do exterior por radiação solar e do entorno, seja vindo dos ambientes internos da edificação. Assim, um isolante térmico deve ter baixa condutividade térmica devido a sua baixa densidade, ser imputrescível e inatacável por pragas, ser incombustível e ser resistente à água. A aplicação pelo exterior das paredes visa a redução das pontes térmicas, durabilidade das paredes frente aos agentes climáticos e a menor possibilidade de condensação do vapor de água dentro da

parede. Além do mais, em reabilitações de edifícios o isolamento pode ser instalado pelo exterior sem comprometer o uso interno da edificação (COSTA, 1974 *apud* SIQUEIRA JÚNIOR, 2003).

Bobadilla (2007) informa que os sistemas de isolamento pelo exterior mais utilizados em sistemas de revestimento não aderido são os painéis em lã de rocha e a espuma de poliuretano projetado (FIGURA 9 a e b).

Figura 9 - Isolamento em poliuretano projetado (a) e painéis em lã de rocha (b)



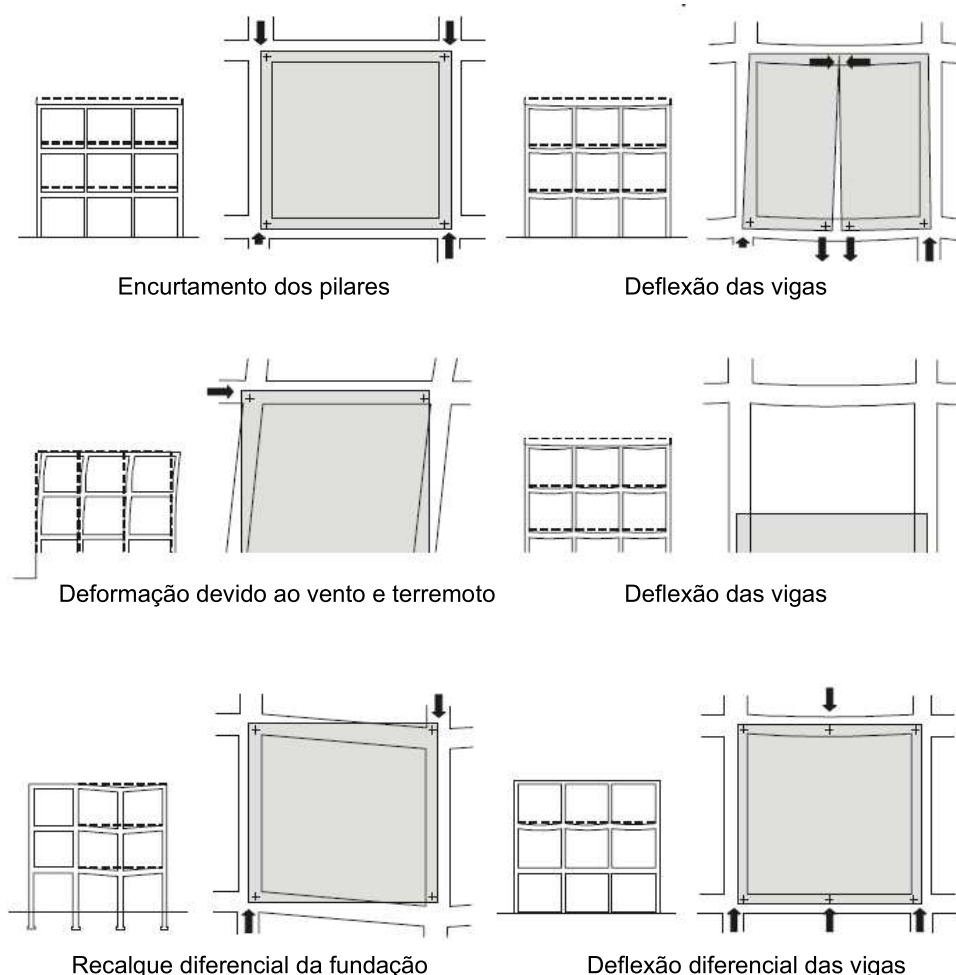
Fonte: (DIREITO, 2012, p. 20 e p. 22)

A espessura do isolamento varia de 3 a 12 cm (sendo 5 cm recorrente), a depender da transmitância térmica pretendida para a parede. O poliuretano projetado é de rápida aplicação, assegura continuidade sem juntas, eliminando completamente as pontes térmicas, e tem boa aderência à parede externa. Apresenta também baixa permeabilidade ao vapor de água, reduzindo a possibilidade de problemas com condensação e desenvolvimento de micro-organismos. Já os painéis em lã de rocha destacam-se pela sua contribuição no isolamento térmico e acústico devido à sua estrutura fibrosa (NIAMPIRA DAZA, 2014; NIAMPIRA DAZA; ZAMORA, 2018). Além disso, são repelentes à água e, diferentemente da espuma de poliuretano, são classificados como incombustíveis (DIREITO, 2012).

A base suporte, formada pela estrutura e paredes externas, deve ser estável e resistente ao fogo, além de ter resistência mecânica e baixa absorção de água (MACHADO, 2012). Entretanto, como os elementos da base suporte tem alta porosidade, recomenda-se sempre a sua impermeabilização antes da instalação do

revestimento não aderido (MACHADO; OLIVEIRA, 2013; MEDEIROS *et al.*, 2014). Suas paredes devem constituir uma base confiável para a fixação do sistema, mesmo quando essas são construídas em blocos vazados (SIQUEIRA JÚNIOR, 2003). Além disso, deve proporcionar estabilidade térmica aos ambientes internos devido à inércia térmica dos seus materiais, sobretudo em lugares onde se têm grande amplitude em um curto espaço de tempo (SOUSA, 2010). Seus elementos estruturais, por sua vez, não podem movimentar-se excessivamente a ponto de impor deformações (FIGURA 10), não somente ao sistema de vedação, mas também ao revestimento, causando desconforto visual ou, até mesmo, perda de estabilidade (SIQUEIRA JÚNIOR; MEDEIROS, 2003).

Figura 10 - Deformações a que o revestimento está sujeito



Fonte: (SIQUEIRA JÚNIOR; MEDEIROS, 2003, p. 10)

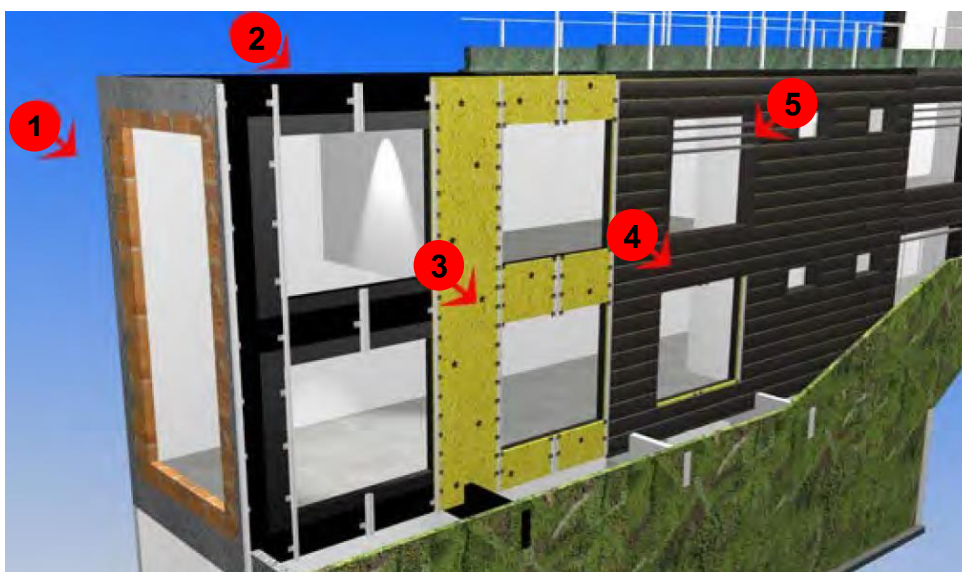
Dentre as diversas movimentações a que a estrutura está sujeita, destaca-se a movimentação lenta como uma das mais preocupantes, principalmente devido à

esbeltez com que as estruturas de concreto armado são concebidas no Brasil, de modo a causar encurtamento nos pilares do edifício, sobretudo nos mais altos, e flexão nas vigas. Tem-se também as forças de vento, responsáveis pelo surgimento de empuxo lateral na estrutura e no revestimento, recalques diferenciais de fundação que causam distorções na estrutura do edifício e os esforços transmitidos por interações higrotérmicas, as quais podem sujeitar os revestimentos a esforços não previstos, provocando falhas no sistema de vedação e, até mesmo, colapso da subestrutura (SIQUEIRA JÚNIOR; MEDEIROS, 2003). As trincas, que se manifestam nas paredes externas devido às movimentações, causam perda de estanqueidade, seja pela penetração de água, seja pela infiltração ar, e degradação dos materiais da parede (MEDEIROS; FRANCO, 1999).

### 2.3.2 Passo a passo de execução

A montagem do revestimento não aderido em uma fachada passa por 5 etapas distintas e sequenciais: Etapa 1: conclusão e impermeabilização da base suporte, ou seja, elementos estruturais e paredes externas de vedação; Etapa 2: instalação da subestrutura na base suporte já concluída e impermeabilizada; Etapa 3: fixação do isolamento térmico quando esse for especificado em projeto; Etapa 4: instalação dos painéis cerâmicos de revestimento; Etapa 5: montagem dos acabamentos e complementos (FIGURA 11) (MACHADO; OLIVEIRA, 2013).

Figura 11 - Etapas de montagem do revestimento não aderido

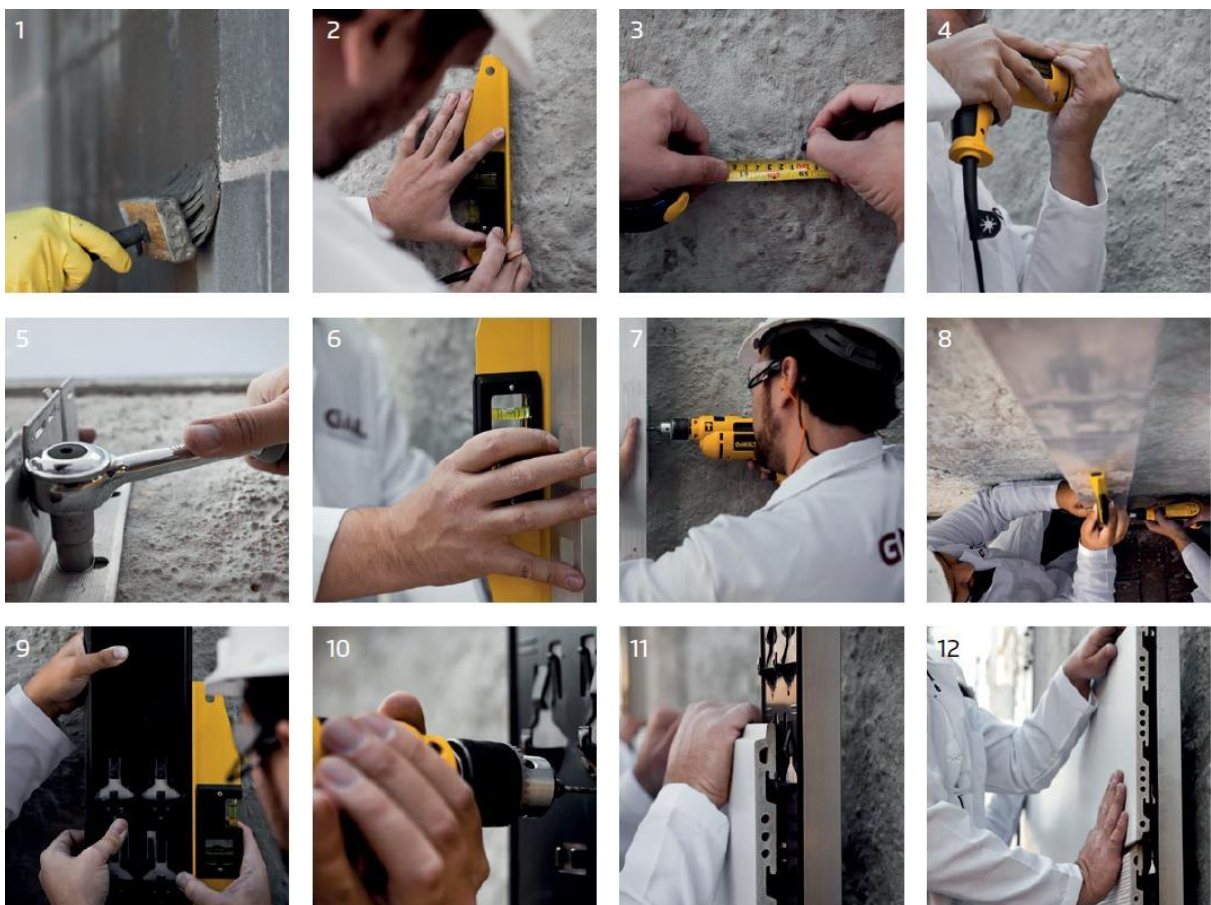


Fonte: (MACHADO; OLIVEIRA, 2013, p. 139)



Porém, de maneira mais detalhada, Gail (2013) destaca que o passo a passo de montagem do sistema pode ser compreendido pelas seguintes figuras e explicações (FIGURA 12): Etapa 1: a impermeabilização oferece estanqueidade à água para a base suporte, evitando que os respingos de água, que eventualmente passem pelo sistema de juntas, atinjam a parede de modo a causar sua degradação; Etapas 2 e 3: a marcação inicial é feita na horizontal e na vertical conforme o projeto, possibilitando o início dos trabalhos; Etapa 4: após a marcação, inicia-se a furação para a instalação das ancoragens, limpando os furos antes de prendê-las.

Figura 12 - Passo a passo de execução



Fonte: (GAIL, 2013, p. 35)

Na etapa 5: as ancoragens são realizadas por meio de cantoneiras estruturais de alumínio (perfis L) que, por sua vez, podem ser de sustentação ou estruturais, cuja função é ancorar o sistema à estrutura, ou de retenção, cuja finalidade é alinhar o montante. As cantoneiras de retenção têm furos oblongo que permite a dilatação dos montantes (perfis T) que ocorre pela variação de temperatura; Etapa 6: Após a instalação das ancoragens, é realizada a conferência de prumo para a instalação do

montante (perfil T). As dimensões do perfil T, espessura de aba, número de parafusos a prender e distanciamento com a parede de vedação, são calculadas e seus respectivos detalhes devem constar em projeto. Etapa 7 e 8: Após a conferência e posicionamento do perfil conforme o prumo real da obra, é realizada a instalação do perfil T, sendo que a posição e o número de parafusos para a instalação desse devem constar em projeto.

Na etapa 9 e 10: O perfil *rail*, que já vem pré-perfurado, é parafusado sobre o montante (perfil T) por meio de parafusos autoatarraxantes em aço inoxidável; Etapa 11 e 12: em seguida, o painel cerâmico é encaixado nas “garras” dos perfis *rail* por meio de ranhuras existentes no seu verso (tardoz da placa), sempre no sentido de baixo para cima, de modo a ficar estável. O painel cerâmico pode ser instalado em dois ou três perfis *rail* (apoios), decisão essa que depende do dimensionamento do sistema.

### 2.3.3 Vantagens do revestimento cerâmico não aderido em fachadas

Os painéis de revestimento não aderido em fachadas podem ser em diferentes materiais, tais como: alumínio, o concreto reforçado com fibras, as pedras naturais e artificiais, entre outros. Nesse sentido, o Quadro 3 compara algumas das características mais relevantes desses painéis de revestimento.

Quadro 3 - Comparativo dos materiais de painéis para revestimento não aderido

Material	Massa superficial (g/cm <sup>2</sup> )	Módulo de ruptura (Mpa)	Expansão por umidade (mm/m)	Coefficiente de dilatação térmica (°C <sup>-1</sup> ·10 <sup>-6</sup> )	Absorção de água na face (g/cm <sup>2</sup> )
Porcelanato	1,85	45 - 57	<0,1	6,0	<0,001
Mármore	5,32	10 - 11	<0,1	4,1 - 4,6	0,006
Granito	5,43	11 - 16	< 0,1	7,1 - 7,9	0,013
Fenólico	1,38	108	0,6 / 1,5	9,4 - 19,7	0,007
Alumínio	0,54	Deformável	< 0,1	23,1	0,001

Fonte: (BOBADILLA, 2007)

Para Siqueira Júnior e Medeiros (2003), os painéis cerâmicos tornaram-se grandes concorrentes das placas pétreas para revestimento não aderido, pois apresentam algumas vantagens em relação a esse material: menor absorção de água; menor peso por unidade de área; homogeneidade do material, já que as placas pétreas devem ser escolhidas na jazida por critérios de cor e aspecto; menor potencial de manchamento, uma vez que nas placas pétreas ocorre a lixiviação de

sais solúveis, manchando-as por eflorescência; menor controle na recepção e escolha para aplicação em obra; e maior perspectiva de durabilidade.

Medeiros *et al.*, (2014) destacam que, apesar do maior custo direto frente às técnicas convencionais, a utilização do sistema promove: montagem rápida e sem desperdício de materiais, podendo ser executado com a estrutura em andamento; menor incidência de descolamentos, trincas e infiltrações oriundas de movimentações térmicas e estruturais; facilidade de manutenção e trocas não destrutivas de painéis; estanqueidade à água sem a necessidade de aplicação de selantes nas juntas; eliminação de condensações devido à rápida evaporação e transporte da umidade pelo efeito chaminé; a possibilidade da utilização da largura da câmara para a passagem de tubulações. Campos (2011), por sua vez, acrescenta: economia de energia; cores inalteradas com o passar do tempo; menor aderência de poeira ou sujeira, facilitando, assim, a limpeza; resistência à poluição e corrosão, já que o sistema é composto por cerâmica, alumínio e aço inoxidável.

Medeiros *et al.*, (2014) informam ainda que a aplicação do sistema simplifica a logística da obra, já que há uma expressiva redução do número de atividades que, por sua vez, acaba traduzindo-se em rapidez de execução. Acrescenta que, apesar de ter um baixo nível de pré-montagem, pois os componentes vêm desmembrados e são instalados individualmente, o sistema permite alta velocidade de montagem. Além disso, com a instalação dos componentes de forma individualizada, tem-se a possibilidade de fazer ajustes em obra, por vezes necessários devido a erros de execução. Outro ponto importante é que, após a montagem das ancoragens, perfis e assentamento das placas, o serviço está terminado, sem a necessidade de aplicação de pinturas ou tratamentos sobre as placas cerâmicas.

Entretanto, percebe-se que, apesar de estar bem consolidado em outros países, faltam ainda no Brasil normas técnicas que estabeleçam parâmetros de projeto, execução e manutenção para o sistema de revestimento não aderido, bem como critérios para avaliação de desempenho (MACHADO; OLIVEIRA, 2013). A ausência de materiais balizadores favorece o aparecimento de manifestações patológicas nas fachadas dos edifícios, comprometendo, assim, seu desempenho (OLIVEIRA; MALLART, 2005 *apud* OLIVEIRA, 2009). Por isso, uma das primeiras decisões que o projetista deve tomar durante o processo de seleção da tecnologia é buscar uma empresa que se responsabilize por todo o sistema, oferecendo assessoramento técnico, ensaios de desempenho necessários aos componentes,

referências normativas, assessoramento nos processos de projeto, montagem, procedimentos operacionais e organizacionais da obra (MACHADO; OLIVEIRA, 2013).

#### **2.4 Desempenho em revestimento não aderido**

A NBR 15575 (2013) define desempenho das edificações como o comportamento em uso de um edifício ou partes pertencentes a este, de modo a proporcionar, aos usuários, condições adequadas para o atendimento das suas necessidades como segurança, saúde, higiene e economia, independente do sistema construtivo ou materiais utilizados. Os requisitos de desempenho devem ser avaliados através de ensaios de laboratório, ensaios de tipo, ensaios de campo, inspeções em protótipos ou em campo, simulações computacionais e análise de projetos, comparando os resultados obtidos com os valores prescritos em norma, de modo a concluir, através critérios quantitativos, se determinado sistema ou componente atende ou não às exigências dos usuários em três diferentes níveis: mínimo, intermediário e superior. Essa norma, apesar de obrigatória apenas em edifícios habitacionais (independentemente do número de pavimentos), pode servir como parâmetro para outros tipos de edificações, mesmo que seja pelo atendimento ao desempenho mínimo, tornando-as, assim, mais duráveis e energeticamente eficientes (CBIC, 2013).

Assim, o edifício, seus elementos e componentes, quando submetidos às condições de exposição, devem satisfazer a determinados requisitos e critérios de desempenho, que consistem na “tradução das exigências de caráter eminentemente humano para regras de qualidade, definidas objetivamente, que devem ser atendidas por um produto” (MITIDIERI FILHO, 1998). Os principais requisitos de desempenho a serem considerados na elaboração de projetos em revestimento não aderido são: segurança estrutural (resistência a cargas de vento e resistência a impactos), segurança contra incêndio (incombustibilidade dos fechamentos e proteção da subestrutura e fixações), estanqueidade ao ar e à água, desempenho acústico, desempenho térmico, e durabilidade dos componentes e resistência às ações de calor, de choques térmicos, resistência aos danos causados por acidentes, pelas condições ambientais, condições da montagem ou pelo uso (QUADRO 4) (SIQUEIRA JÚNIOR, 2003; MACHADO 2012).



Quadro 4 - Requisitos de desempenho em revestimento não aderido

Requisitos de desempenho na fase de uso	
Segurança	Segurança estrutural
	Resistência mecânica a cargas estáticas, dinâmicas e cíclicas decorrentes do uso normal ou abuso no uso (ação imediata e fadiga provocada pelo vento, impactos, riscamento, cargas verticais e alterações climáticas)
	Eficiência das ancoragens que ligam a subestrutura auxiliar à estrutura do edifício
	Eficiência do sistema de fixação das placas (que ligam as placas à subestrutura auxiliar)
	Capacidade de absorver deformações (verificadas através do correto projeto de fixação das placas)
	Segurança ao fogo
	Reação dos materiais ao fogo (combustibilidade e propagação de chama e liberação de gases e fumaça)
	Resistência do sistema ao fogo (integridade, estanqueidade e isolamento)
Habitabilidade	Estanqueidade à água
	Pouca absorção de água
	Eficácia na drenagem de águas pluviais
	Conforto térmico e economia de energia
	Estanqueidade ao ar
	Isolamento térmico no inverno e no verão
	Estética
	Planeza dos componentes e do conjunto
	Condição superficial (cor, brilho, textura...) e uniformidade de colocação
	Conforto acústico
	Isolamento e absorção sonora
	Não ser fonte de ruídos por ações das movimentações térmicas ou da vibração ou impactos provocados pelos agentes atmosféricos
	Adaptação ao uso
	Integração das instalações
	Facilidade de montagem e estocagem
Durabilidade	Durabilidade (manutenção do desempenho durante a vida útil)
	Conservação do aspecto (cor e brilho)
	Conservação das propriedades mecânicas (resistência ao impacto)
	Conservação das propriedades da subestrutura auxiliar
	Manutenção
	Facilidade e frequência de limpeza e manutenção
Custo global	

Fonte: (SIQUEIRA JÚNIOR, 2003)

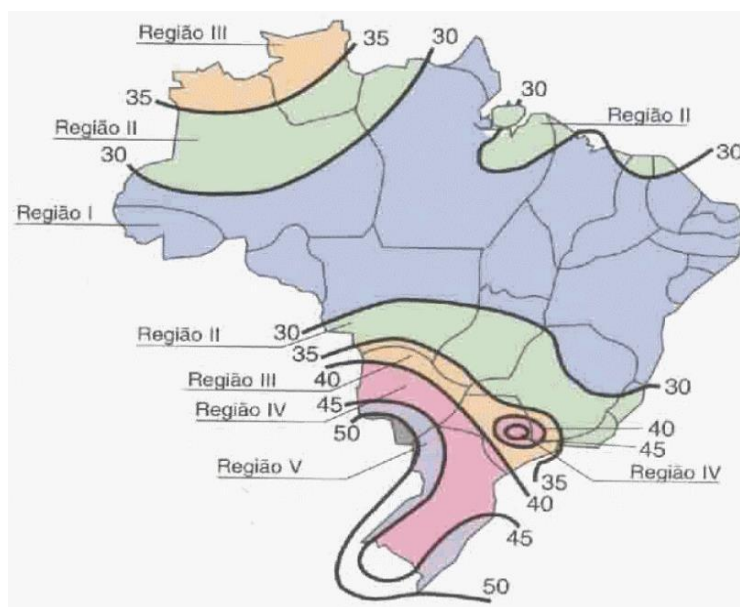
#### 2.4.1 Desempenho estrutural em revestimento não aderido

O revestimento não aderido deve ser projetado não apenas para se manter estável, mas para não se deformar excessivamente frente às cargas atuantes. Por isso, o projeto deve determinar as solicitações sobre a fachada, sejam essas estáticas ou dinâmicas, sejam essas permanentes ou acidentais, dentre as quais estão: peso próprio, cargas horizontais devido ao vento, variações de temperatura e higrotermia, movimentações da base suporte que devem ser absorvidas pelas fixações e juntas, entre outras relacionadas ao uso e a manutenção do edifício. O projeto deve também apresentar uma verificação dos valores admissíveis para

deformação dos componentes, ou seja, dispositivos de fixação, subestrutura e painéis de fechamento, ao considerar os efeitos de cada solicitação ou combinação de solicitações (OLIVEIRA; MELHADO, 2009).

Um dos primeiros esforços a serem verificados é a ação do vento, já que esse age diretamente na subestrutura (CAMPOS, 2011). A NBR 6123 (1988) informa que para a determinação das forças estáticas deve ser considerado: a velocidade básica do vento definida no gráfico das isopletras conforme a região do país, sendo que na região Sul tem-se as maiores velocidades (FIGURA 13); a velocidade característica do vento, a qual aplica-se, na velocidade básica do vento, ponderações cujo objetivo é adequá-la às condições reais de implantação, como, por exemplo, topografia, rugosidade do terreno, dimensões da edificação, altura do terreno, grau de segurança requerido, etc.; a pressão dinâmica na edificação, em que o valor da velocidade característica é transformado em um valor de pressão atuante; e, por fim, os coeficientes de pressão, em que define-se quais regiões da fachada sofrem pressão e sucção, com seus respectivos valores.

Figura 13 - Mapa de isopletras do vento no Brasil



Fonte: (NBR 6123, 1988 *apud* CAMPOS, 2011, p. 122)

Entretanto, Silva (2016), em sua dissertação, destaca que a então NBR 10821 (2011) fez uma padronização que pode ser usada como referência em edificações com até 90 metros de altura e configuração geométrica retangular. O autor informa que essa classificação pode ser usada tanto para esquadrias como para o

revestimento não aderido, já que têm um comportamento semelhante quando submetidos às cargas de vento. Assim, os valores sugeridos pela NBR 10821 (2011), para fins de definição de pressões de vento em esquadrias, podem servir de referência para serem aplicados ao dimensionamento do revestimento não aderido, desde que se sejam respeitados os limites impostos pela norma quanto à forma e altura da edificação (QUADRO 5).

Quadro 5 - Pressão de vento conforme a região e o número de andares

Quantidade de pavimentos	Altura máxima	Região do país	Pressão de Ensaio (Pe) positiva e negativa $Pe = Pp \times 1,2$	Pressão de segurança (Ps) positiva e negativa $Ps = Pe \times 1,5$	Pressão de água (Pa) $Pa = PP \times 0,20$
02	6 m	I	350	520	60
		II	470	700	80
		III	610	920	100
		IV	770	1160	130
		V	950	1430	160
05	15 m	I	420	640	70
		II	580	860	100
		III	750	1130	130
		IV	950	1430	160
		V	1180	1760	200
10	30 m	I	500	750	80
		II	680	1030	110
		III	890	1340	150
		IV	1130	1700	190
		V	1400	2090	230
20	60 m	I	600	900	100
		II	815	1220	140
		III	1060	1600	180
		IV	1350	2020	220
		V	1660	2500	280
30	90 m	I	660	980	110
		II	890	1340	150
		III	1170	1750	200
		IV	1480	2210	250
		V	1820	2730	300

Fonte: (NBR 10821, 2011 *apud* SILVA 2016)

Campos (2011), por sua vez, esclarece que, conhecidos os valores de pressão e sucção atuantes na edificação, pode-se realizar o dimensionamento da subestrutura. A autora demonstra que, para a análise do comportamento estrutural, devem ser realizados os seguintes cálculos: definição dos carregamentos nos perfis montantes e guias em que, através da área de influência, das pressões de vento e do comprimento de cada um dos perfis, define-se as cargas distribuídas aplicadas aos montantes e guias; cálculo da flecha máxima admissível aplicando-se a expressão  $L/175$ , sendo que L é o comprimento do perfil entre dois apoios; cálculo

do momento de inércia mínimo aplicando-se, em fórmula, os valores de carga distribuída, flecha máxima admissível, comprimento do perfil e módulo de elasticidade; cálculo do momento resistente mínimo aplicando-se, em fórmula, os valores de tensão máxima admissível do alumínio, carga distribuída e o comprimento do perfil; cálculo da dilatação térmica linear aplicando-se, em fórmula, os valores de coeficiente de dilatação térmica do alumínio, comprimento inicial da barra e a diferença de temperatura; análise estrutural dos perfis colunas e travessas na qual, com os valores mínimos calculados, escolhe-se os perfis com base nas informações técnicas do fabricante quanto ao momento de inércia e módulo de resistência; cálculo da flecha máxima admissível nos perfis e colunas aplicando-se os valores dos perfis escolhidos, de modo a concluir se a flecha projetada é menor do que a flecha admissível; e cálculo da tensão normal nos perfis montantes e guias aplicando-se, em fórmula, os valores de momento fletor e módulo de resistência, de modo que o resultado precisa ser inferior à tensão admissível do perfil para que haja, assim, segurança. As informações dos metais da subestrutura constam no Quadro 6.

Quadro 6 - Características técnicas das principais ligas utilizadas na subestrutura

Materiais	Classe	Tensão admissível (N/mm <sup>2</sup> )	Módulo de elasticidade (N/mm <sup>2</sup> )	Dilatação térmica (mm/m °C)	Peso específico (kg/m <sup>3</sup> )	Temperatura de fusão (°C)
Aço inox	AISI 304	145	200.000	0,016	7.900	1.500
	AISI 304 L	145	200.000	0,016	7.900	1.500
	AISI 321	145	200.000	0,016	7.900	1.500
	AISI 316	160	200.000	0,016	8.000	1.500
	AISI 316 L	160	200.000	0,016	8.000	1.500
	AISI 316Ti	160	200.000	0,017	8.000	1.500
Aço zincado	Fe 360 D	160	210.000	0,012	7.850	1.500
	Fe 430 D	190	210.000	0,012	7.850	1.500
	Fe 510 D	240	210.000	0,012	7.850	1.500
Alumínio extrudado	2014	204	69.000	0,023	2.700	580
	5083	64	69.000	0,023	2.700	580
	6060	85	69.000	0,023	2.700	580
	6061	140	69.000	0,023	2.700	580
	6082	155	69.000	0,023	2.700	580
	7020	126	69.000	0,023	2.700	580
	7075	270	69.000	0,023	2.700	580

Fonte: (Adaptado de UNI 11018, 2003)

Porém, quanto à flecha máxima admissível, percebe-se divergências entre autores. A CSTB 2383 (1990) *apud* Oliveira; Melhado (2009) define que a subestrutura, sob solicitação de cargas de pressão e depressão do vento, deve ser projetada para apresentar deslocamento máximo de L/300, sendo L o comprimento

livre do perfil. Já a UNI 11018 (2003) *apud* Machado; Oliveira (2012) define que a flecha máxima para os perfis verticais (montantes) deve ser de L/200 para cargas horizontais de vento e, para os perfis horizontais, L/300 para inflexões verticais devido ao peso e L/100 para inflexões horizontais devido ao vento. Por fim, Silva (2016), em sua proposta para adaptar ensaios prescritos na NBR 10821 (2011) para avaliação de desempenho em revestimentos não aderidos, considerou uma flecha máxima admissível de L/175, limitando-se a 3 cm.

Em relação às variações de temperatura, destaca-se que os montantes precisam de folga para se dilatar, já que o alumínio é bastante sensível a essa condição. Normalmente, na extremidade superior do montante, ocorre a ligação com o perfil de ancoragem por meio de “ponto fixo”. Entretanto, tanto na extremidade inferior quanto ao longo do perfil, as ligações ocorrem em “pontos deslizantes”, ou seja, através de parafusos fixados em furos oblongos nos perfis de ancoragem, permitindo a livre dilatação do montante. Essa folga evita o acúmulo de tensões nas ligações entre o montante e as ancoragens, diminuindo a possibilidade de ocorrerem deformações na subestrutura pelo empenamento dos perfis. A dilatação térmica também pode ocorrer em perfis montantes em pavimentos consecutivos, sendo necessário projetar juntas entre eles. Dessa forma, recomenda-se que os montantes fiquem limitados em um único pavimento, prevendo-se juntas conforme indicação do Quadro 7 (SIQUEIRA JÚNIOR; MEDEIROS, 2003; MACHADO; OLIVEIRA, 2012).

Quadro 7 - Largura mínima das juntas de dilatação em perfis de alumínio e de aço

$\Delta T$ (°C)	Junta alumínio (mm/m)	Junta de aço (mm/m)
60	1,8	0,9
50	1,4	0,7
40	1	0,5
30	0,6	0,3

Fonte: (UNI 11018, 2003)

Além disso, devem existir juntas entre os painéis de revestimento capazes de absorver tanto as deformações de ordem estrutural quanto as deformações de expansão e retração, seja da base suporte, seja do próprio revestimento (SIQUEIRA JÚNIOR, 2003). Campos (2011) corrobora: juntas são espaços deixados entre o perímetro das placas de revestimento cuja função é permitir a livre movimentação dessas devido às variações de temperatura. Entretanto, as juntas se dividem em quatro tipos: as estruturais, que devem coincidir com as do próprio edifício; as de compressão, que dividem a fachada no sentido horizontal na altura dos pavimentos

e devem ter largura mínima de 15 mm; as de expansão, que dividem a fachada no sentido vertical e devem ficar afastadas 2 m dos cantos do edifício e 5 m umas das outras, de modo que devem ter largura mínima de 10 mm; e as de assentamento, que varia conforme o tipo e dimensões dos painéis de revestimento, sendo que em painéis cerâmicos extrudados, por exemplo, a largura das juntas de assentamento vertical pode variar de 4 a 10 mm, enquanto a largura das horizontais pode variar de 8 a 10 mm (MESONES, 2001 *apud* DORDÁ *et al.*, 2010; DIT 631, 2017).

Como já dito, os montantes devem ser distanciados da base suporte por meio de perfis de ancoragem que possibilitam o aumento de largura da câmara de ar e a adequação da subestrutura a irregularidades presentes no substrato como falta de planicidade, prumo, etc. (MACHADO; OLIVEIRA, 2012). Entretanto, deve-se estabelecer limites aceitáveis para o desvio de prumo, sendo as ancoragens dimensionadas para as situações mais desfavoráveis. Dessa forma, o ajuste deve ser feito através de furos oblongos existentes nos perfis de ancoragem e pelas fixações em parafusos autobrocantes (MEDEIROS *et al.*, 2014). Deve ser evitado o uso de “calços” entre os perfis de ancoragem e a base suporte para compensar eventuais desvios geométricos, pois esses podem provocar momentos de grande intensidade nos chumbadores devido ao aumento da distância de fixação, tornando-os mais susceptíveis aos movimentos oscilatórios (MACHADO; OLIVEIRA, 2012).

A escolha dos chumbadores para fixação do sistema à base deve ser pautada nos seguintes aspectos: tipo, peso e dimensões da subestrutura; natureza da base suporte (concreto, alvenaria, etc.); condições do substrato medido por testes de arrancamento; cargas de vento; agressividade do clima local; forças sísmicas; movimentações térmicas e do próprio edifício; e cargas decorrentes de processos de manutenção e limpeza. Além disso, devem apresentar: resistência ao fogo; não sofrerem deformações ou deslocamentos quando em uso; compatibilidade mecânica e geométrica com os perfis de ancoragem; compatibilidade galvânica com outros componentes; e resistência à água a aos agentes atmosféricos corrosivos. Por fim, devem ser respeitados os seguintes afastamentos para que os chumbadores tenham desempenho adequado: de 10 vezes o diâmetro do furo entre eixos de chumbadores consecutivos; e de 5 vezes o diâmetro do furo entre o eixo do chumbador e a borda do elemento a ser fixado (MACHADO; OLIVEIRA, 2012).

Os elementos de fachada, bem como o revestimento não aderido, precisam apresentar resistência a impactos, tanto por parte dos ocupantes que estão no

interior da edificação quanto daqueles que estão na sua proximidade, de modo que não podem ser atravessados, empurrados para fora da sua posição ou permitir a queda de objetos para fora do edifício que possa causar lesões nas pessoas que estão no entorno desse (OLIVEIRA; MELHADO, 2009). Assim, o revestimento não aderido deve manter suas características de desempenho quando submetido a acidentes, ação de vandalismo e impactos corriqueiros, sem apresentar arestas cortantes ou quedas de componentes (ETAG 034, 2012; SILVA, 2016). A avaliação quanto ao impacto pode ser feita por ensaios de corpo mole e corpo duro.

Em relação ao impacto de corpo mole, a NBR 15575-4 (2013) estabelece que as vedações verticais sem função estrutural constituídas por elementos leves, densidade superficial inferior a  $60 \text{ kg/m}^2$ , localizadas no térreo, não podem ruir a uma energia de impacto de 720 J ou apresentar falhas que prejudiquem sua utilização quando submetidas a energias de impactos de 360 J e 240 J, respeitando-se as limitações de deslocamento. Entretanto, Silva (2016) destaca que essas energias não devem servir de parâmetro para avaliar somente o revestimento não aderido, mas sim o conjunto: vedo e revestimento. Assim, o autor esclarece, não somente por meio da sua pesquisa, mas também com base na ETAG 034 (2012), que a energia adequada para a avaliação do revestimento é de 60 J no térreo e demais pavimentos, onde não é admitida a ocorrência de falhas como fissuras, quebras, mossas, deformações permanentes e outras; e de 400 J no térreo e 300 J em pavimentos onde objetos possam ser jogados, não podendo haver a queda de partes do revestimento ou placas com arestas afiadas, admitindo-se, porém, fissurações, deformações das partes metálicas passíveis de manutenção corretiva, desde que sejam economicamente viáveis.

Já em relação ao impacto de corpo duro, a NBR 15575-4 (2013) determina que as vedações verticais com ou sem função estrutural, onde o impacto venha a ocorrer externamente em locais de acesso ao público, não podem apresentar falhas que comprometam a utilização a uma energia de impacto de 3,75 J, assim como não podem ruir, caracterizada pela ruptura ou transpassamento, a 20 J. Porém, Silva (2016), com base na ETAG 034 (2012), propõe que seja considerada a energia de impacto de 10 J no pavimento térreo e nos locais onde os objetos possam ser jogados, não podendo ocorrer a queda de nenhuma das partes do sistema de revestimento nem placas com arestas afiadas, admitindo-se, porém, fissuras na placa desde que seja possível a substituição.



#### 2.4.2 Desempenho ao fogo em revestimento não aderido

Existem três situações recorrentes para a origem de incêndios em fachadas: pela ação das chamas vindas de um edifício vizinho; por outros focos próximos à fachada; e dentro do próprio edifício, espalhando-se para o exterior pelas janelas. Essa última indica que o fogo, em algum recinto, atingiu seu desenvolvimento máximo, de modo que, com o aumento da temperatura, gera-se uma pressão interna capaz de romper os vidros, permitindo a saída das chamas e dos gases quentes para fora das janelas do ambiente (MARTINS, 2009; GUERRA, 2010; DIREITO, 2012).

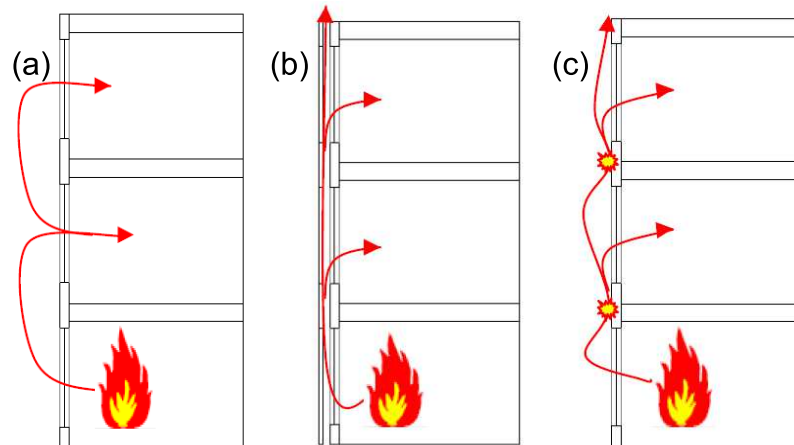
A propagação do fogo pela fachada pode ocorrer de forma rápida, uma vez que constitui uma via potencial para a chegada aos pavimentos superiores, causando sérios danos ao edifício. A partir daí, pode ocorrer de três formas: pelas janelas de um andar para outro, pela câmara de ar e pelo revestimento.

No primeiro caso, as chamas se propagam sequencialmente pelas janelas e, na medida em que a pluma de fogo rompe as vidraças, penetra nos ambientes e queima os materiais próximos como móveis, cortina, etc. (FIGURA 14 a). No segundo caso, a combinação: espaço limitado da câmara, ventilação contínua que oferece estoque ilimitado de oxigênio e efeito chaminé, onde a fumaça sobe por ser menos densa que o ar, favorece a propagação rápida das chamas e dos gases quentes pela câmara de ar, principalmente se houver um material de isolamento capaz de queimar com facilidade (FIGURA 14 b). Nesse caso, os perfis em alumínio da subestrutura entram em processo de fusão aos 600°C, temperatura essa que pode ser facilmente alcançada na primeira hora de incêndio, gerando risco de colapso total ou parcial do sistema de revestimento (DIREITO, 2012; FORERO, 2012).

Em relação ao revestimento, quando esse é classificado como combustível, pode promover um incêndio de alta intensidade, capaz de emitir elevada radiação, podendo, inclusive, gerar fumaça tóxica e/ou gotas incandescentes durante o seu processo de queima. O calor emitido pela pluma de fogo, ao projetar-se para fora das janelas, pré-aquece a superfície do revestimento e acelera o processo de pirólise e de propagação das chamas, causando não somente a combustão do material, mas também a liberação de calor (FIGURA 14 c) (FORERO, 2012).



Figura 14 - Formas de propagação do fogo na fachada



Fonte: (FORERO, 2012, p. 191)

Dessa forma, a velocidade de propagação das chamas, a densidade, opacidade e toxicidade da fumaça, o desprendimento de elementos do revestimento e isolamento térmico em chamas, ou ainda o colapso da subestrutura (FIGURA 15 a e b), dificultam o acesso às fachadas, tornando-se fatores determinantes para o sucesso do socorro e do combate ao fogo caso o acesso ao interior do edifício não possa ser efetuado por fachadas adjacentes (GUERRA, 2010).

Figura 15 - Incêndio em edifício através da câmara ventilada (a e b)



Fonte: (DIREITO, 2012, p. 39 e p. 41)

O mesmo autor reforça que o desprendimento de elementos do revestimento e isolamento térmico constituem fatores de ignição de focos de incêndio secundários, colocando em risco todos aqueles que estão no entorno fazendo o trabalho de combate ao incêndio. Entretanto, a propagação do fogo pode ser

minimizada pela adoção, já na fase de projeto, de medidas de combate ao incêndio no interior da edificação, sejam essas passivas, como o uso de compartimentações, sejam essas ativas, como a utilização de chuveiros automáticos.

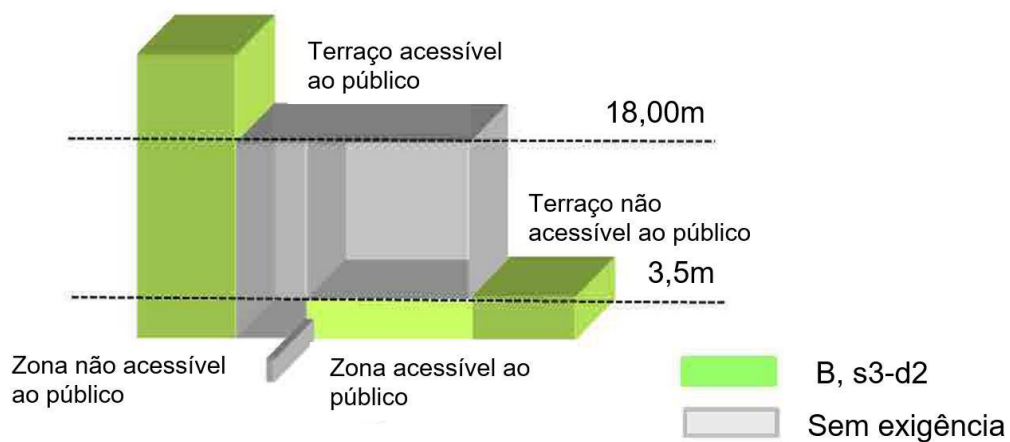
O comportamento dos materiais perante ao fogo deve ser estudado com base em dois critérios: reação e resistência ao fogo. A reação ao fogo pode ser entendida como a capacidade do material em favorecer o desenvolvimento do fogo, de modo a determinar a sua facilidade de combustão e as características de sua decomposição pela ação do calor, como, por exemplo, se é um bom condutor de calor, se atinge rapidamente seu ponto de ignição, se produz chamas, se gera fumaça ou se produz gotas incandescentes, etc. A resistência ao fogo, por sua vez, é o tempo durante o qual os elementos construtivos podem permanecer desempenhando sua função estrutural enquanto são atingidos pelo fogo, mantendo: estabilidade, isolamento térmica e estanqueidade (FORERO, 2012; CBIC, 2013).

A EN 13501-1 (2007) permite classificar, com base nas características de reação ao fogo, os materiais de construção, podendo ser quanto a sua contribuição ao fogo, dividindo-se em 7 níveis: A1, A2, B, C, D, E e F; quanto à produção de fumaça, dividindo-se em 3 níveis: s1, s2 e s3; e quanto à geração de partículas e gotas incandescentes, dividindo-se também em 3 níveis: d0, d1 e d2. Dessa forma, entende-se que a melhor classificação é a A1, s1, d0, pois refere-se a produtos que não contribuem ao fogo, que produzem fumaça de forma muito reduzida e que não geram partículas incandescentes. Por outro lado, entende-se que a pior classificação é a F, s3, d2, uma vez que correspondem aos produtos que sequer foram classificados quanto à contribuição ao fogo, que a produção de fumaça não é limitada e que as partículas incandescentes não se extinguem rapidamente. A título de exemplo, as lãs minerais têm classificação A2, s1, d0, as espumas de poliuretano, em geral, C, s3, d2 (BOBADILLA, 2007) e as placas cerâmicas A1, s1, d0 (DIT 631, 2017).

Na ausência de legislações brasileiras para segurança contra incêndio em revestimento não aderido, como parâmetro cita-se o CTE (2008), que define que as fachadas com altura inferior a 18 m, a classificação do revestimento, bem como do isolamento no interior da câmara, deve ser B, s3, d2 somente no andar térreo quando esse for acessível ao público, não havendo exigências para o restante da fachada. Porém, nas fachadas com altura superior a 18 m, a classificação deve ser B, s3, d2 ao longo de toda a altura da edificação (FIGURA 16). Em revestimentos

com câmara ventilada, como solução alternativa, pode-se reduzir essa classificação para C, s3, d2 (poliuretanos em geral) desde que sejam instaladas barreiras corta-fogo com resistência mínima de 30 min a cada 10 m ou 3 pavimentos, porém alguns autores defendem a compartimentação em todos os pavimentos. Segundo Scalzo (2016), o elemento corta-fogo deve ser em perfil de aço zincado com espessura 0,75 mm, a cada dois pavimentos, além disso, deve ser instalada no contorno das janelas para evitar a penetração de fumaça ao interior da câmara.

Figura 16 - Exigências de reação ao fogo em revestimento não aderido



Fonte: (CTE, 2008 *apud* FORERO, 2012, p. 91)

A RTSCIE (2008), por sua vez, define a classificação de reação ao fogo de cada um dos componentes do sistema de revestimento não aderido, atribuindo-lhes maior restrição à medida em que a altura da edificação se torna maior. Em edifícios com altura inferior a 9 m, as classificações devem ser: C, s2, d0 para a subestrutura, C, s2, d0 para o revestimento, e D, s3, d0 para o isolante térmico. Em edifícios com altura entre 9 m e 28 m, a classificação deve ser única, ou seja, B, s2, d0 para subestrutura, revestimento e isolante térmico. Em edifícios com altura superior a 28 m, a classificação deve ser A2, s2, d0 para todos os componentes (QUADRO 8).

Quadro 8 - Reação ao fogo em revestimento não aderido

Elemento	Edifícios de pequena altura (< 9 m)	Edifícios de média altura (9 a 28 m)	Edifícios com altura superior a 28 m
Estrutura de suporte do sistema de isolamento	C-s2 d0	B-s2 d0	A2-s2 d0
Revestimento da superfície externa e das que confinam o espaço de ar ventilado	C-s2 d0	B-s2 d0	A2-s2 d0
Isolante térmico	D-s3 d0	B-s2 d0	A2-s2 d0

Fonte: (RTSCIE, 2008)

A NBR 15575-4 (2013) também classifica os materiais quanto à sua reação ao fogo, estabelecendo os seguintes critérios de avaliação: combustibilidade, índice de propagação superficial de chama e densidade óptica de fumaça. A combustibilidade se divide em: I, IIA, IIB, IIIA, IIIB, IVA, IVB, VA, VB e VI, sendo que a classificação I corresponde aos materiais incombustíveis e as outras, aos combustíveis. O índice de propagação superficial de chama, classificação pertinente aos materiais combustíveis, varia de  $l_p \leq 25$  (para os materiais IIA e IIB) a  $l_p > 400$  (para os produtos VI). Outro requisito dos materiais combustíveis é a densidade óptica de fumaça, sendo que todas as classificações devem ter  $D_m < 450$ , exceto pela VI (QUADRO 9). Essa norma determina que os materiais a serem empregados na fachada devem ter classificação I ou IIB, entretanto Medeiros *et al.*, (2014) sugerem a classificação I, IIA, IIIA.

Quadro 9 - Classificação dos materiais de acabamento quanto à reação ao fogo

Classe		Método de ensaio		
		ISO 1182	ABNT NBR 9442	ASTM E662
I	Incombustível $\Delta T \leq 30 \text{ }^\circ\text{C}$ ; $\Delta m \leq 50 \%$ ; $t_f \leq 10 \text{ s}$	-	-	-
II	A	Combustível	$l_p \leq 25$	$D_m \leq 450$
	B	Combustível	$l_p \leq 25$	$D_m \leq 450$
III	A	Combustível	$25 < l_p \leq 75$	$D_m \leq 450$
	B	Combustível	$25 < l_p \leq 75$	$D_m \leq 450$
IV	A	Combustível	$75 < l_p \leq 150$	$D_m \leq 450$
	B	Combustível	$75 < l_p \leq 150$	$D_m \leq 450$
V	A	Combustível	$150 < l_p \leq 400$	$D_m \leq 450$
	B	Combustível	$150 < l_p \leq 400$	$D_m \leq 450$
VI		Combustível	$\geq 400$	-
Notas: $l_p$ - Índice de propagação superficial de chama; $D_m$ - Densidade específica óptica máxima de fumaça; $\Delta m$ - Variação da massa do corpo de prova; $t_f$ - Tempo de flamejamento do corpo de prova; $\Delta T$ - Variação da temperatura no interior do forno.				

Fonte: (NBR 15575-4, 2013)

A NBR 14432 (2000), por sua vez, estabelece o tempo de resistência ao fogo das paredes de vedação, levando em consideração a altura e o tipo de ocupação do edifício. Nesse caso, percebe-se que o tempo de resistência ao fogo pode variar de 30 min, para as edificações baixas e sem concentração de público, a 120 min, para os edifícios altos e/ou aquelas com concentração de público (QUADRO 10). A título de informação, Brentano (2010) informa que uma parede constituída por blocos cerâmicos com espessura de 13 cm (10 cm do bloco e 1,5 cm de reboco em cada

lado), tem um tempo de resistência ao fogo de 2 h e, se a espessura for de 23 cm (20 cm bloco e 1,5 cm de reboco em cada lado), o tempo aumenta para 4 h.

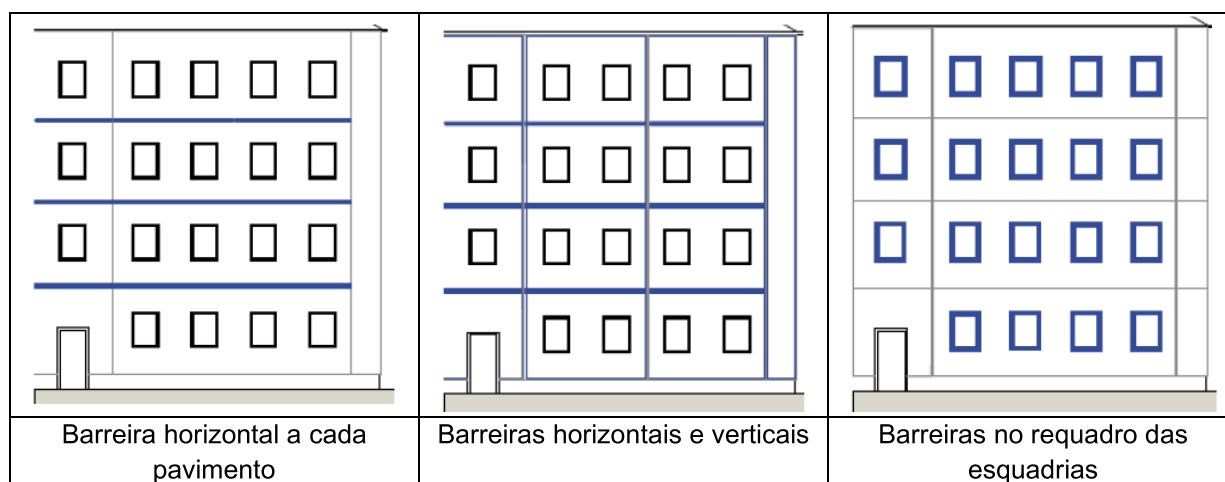
Quadro 10 - Tempo de resistência ao fogo das edificações

Ocupação	Classe P2 6 m < h ≤ 12 m	Classe P3 12 m < h ≤ 23 m	Classe P4 23 m < h ≤ 30 m	Classe P5 h > 30 m
Residencial	30 min	60 min	90 min	120 min
Serviços de hospedagem	60 min	60 min	90 min	120 min
Serviços profissionais	60 min	60 min	90 min	120 min
Locais de reunião de público	60 min	60 min	90 min	120 min
Serviços de saúde e institucionais	60 min	60 min	90 min	120 min

Fonte: (adaptado de NBR 14432, 2001)

As medidas de proteção contra incêndio em fachadas com câmara ventilada não devem se limitar a escolha adequada dos materiais quanto à sua reação e resistência ao fogo, mas também à instalação de barreiras corta-fogo capazes de impedir a entrada das chamas na câmara ou a propagação dessas aos pavimentos superiores (QUADRO 11).

Quadro 11 - Métodos para compartimentar câmaras ventiladas



Fonte: (FORERO, 2012)

As barreiras corta-fogo podem estar dispostas, em relação à fachada, na horizontal, na vertical ou no entorno das esquadrias e, dependendo da posição, podem assumir diferentes funções. As barreiras horizontais devem impedir a

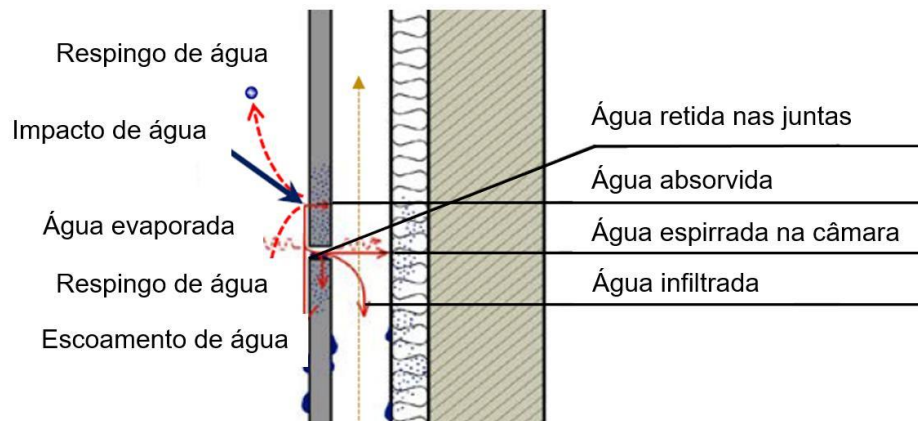
propagação das chamas aos pavimentos superiores pelo efeito chaminé, enquanto as verticais devem impedir a propagação das chamas não somente entre as janelas laterais, mas também entre fachadas adjacentes. Já as barreiras corta-fogo localizadas no entorno das esquadrias devem evitar a penetração das chamas na câmara de ar, principalmente na altura das vergas das janelas onde a pluma de fogo tende a atingi-la com intensidade (MARTINS, 2009; DIREITO, 2012, FORERO, 2012).

As barreiras corta-fogo devem ter resistência ao fogo de, no mínimo, 30 min, podendo ser em chapa metálica, lã mineral e materiais intumescentes. A chapa metálica interrompe a câmara de ar em toda a sua largura, embora ainda permita a entrada e saída de ar do seu interior, constituindo-se numa barreira física capaz de impedir a propagação das chamas. O mesmo ocorre com a lã mineral, já que essa é comprimida nas laterais da câmara para garantir uma compartimentação eficiente. Entretanto, isso não ocorre com material intumescente, pois o fechamento da largura da câmara acontece apenas quando o material é aquecido, aumentando de volume, favorecendo a ventilação da câmara durante a utilização normal do sistema. Nas três situações a instalação é feita por meios mecânicos, sendo que nas duas últimas são necessários suportes de aço para acomodar as barreiras corta-fogo em sua posição definitiva (MARTINS, 2009; DIREITO, 2012, FORERO, 2012).

#### 2.4.3 Estanqueidade à água em revestimento não aderido

As fachadas com câmaras ventiladas apresentam uma resposta diferente às ações da chuva dirigida quando comparadas às fachadas tradicionais, uma vez que essas têm, ao invés de uma, três superfícies de escoamento, sendo: a superfície externa do revestimento, a interna dele e a externa da parede de vedação. Nesse caso, uma parte da água escorre pelo revestimento formando um filme de escoamento, uma parte infiltra no revestimento caso esse seja em material poroso, uma parte fica estagnada nas juntas por tensão superficial, uma parte infiltra pelas juntas alcançando o interior da câmara, uma parte escorre pelo tardo do revestimento descendo por gravidade até o sistema de drenagem e uma última parte evapora do interior da câmara pelo efeito chaminé, caso a umidade fique alojada no isolamento (FIGURA 17) (MACHADO; OLIVEIRA, 2013; RECATALÁ, 2017).

Figura 17 - Resposta esquemática à água da chuva em revestimento não aderido.



Fonte: (RECATALÁ, 2017, p. 50)

O revestimento não aderido, dessa forma, atua como uma barreira semipermeável, uma vez que permite que certa quantidade de água passe para o interior da câmara de ar (AVELLANEDA; PARICIO, 2000). Entretanto, para que a água passe, é preciso que três fatores ocorram de forma combinada: presença de água, existência de discontinuidades ou aberturas e a ação de uma força capaz de empurrá-la (BOBADILLA, 2007). As principais forças que levam a água para dentro da câmara são: a tensão superficial, a entrada direta pelo vento e a diferença de pressão. Na tensão superficial, a água escorre pelo painel até chegar às juntas aonde adentra à câmara por gravidade ou capilaridade. Sua ocorrência é comum em juntas horizontais, sobretudo quando têm fina espessura (FIGURA 18 a). Já na diferença de pressão, a própria ventilação da câmara provoca uma sucção de ar e água para dentro da câmara pelas juntas. O efeito de sucção por depressão na câmara pode ocorrer tanto em juntas horizontais quanto verticais. Por fim, na ação direta do vento, a chuva pode cair com inclinação suficiente para penetrar nas juntas entre as placas. Sua entrada tende a ocorrer em juntas verticais com proporção (espessura / largura > 1) (FIGURA 18 b e c) (DORDÁ *et al.*, 2010).

Figura 18 - Tensão superficial (a), Diferença de pressão (b), Ação do vento (c)

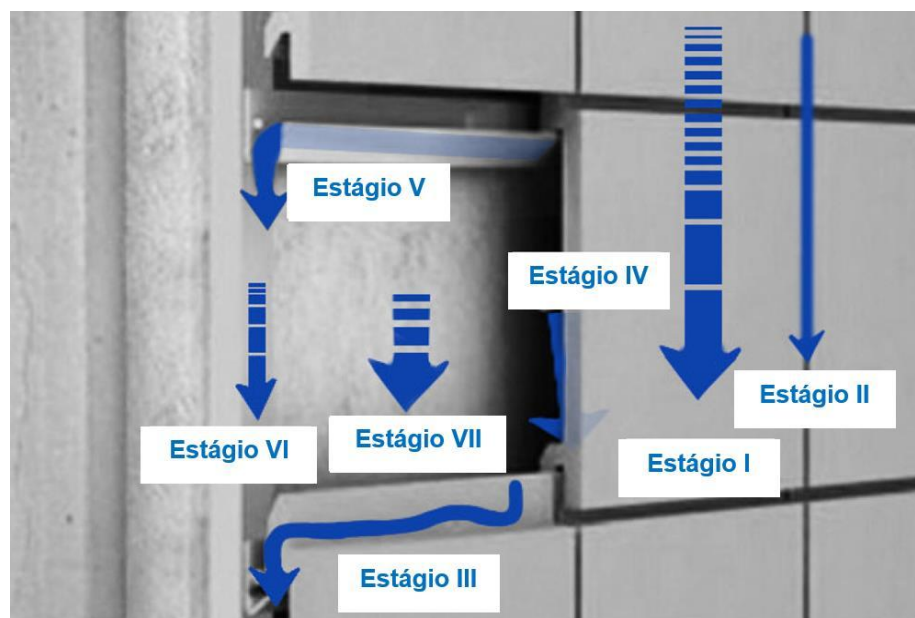


Fonte: (DORDÁ *et al.*, 2010, p. 4)



Recatalá, Morales e Bossche (2015) informam que, através de ensaios de micro-escoamento, é possível identificar os caminhos preferenciais da água da chuva quando percorre o revestimento não aderido, podendo inclusive, classificá-los em estágios de umedecimento que, segundo a autora, variam de I a VII. No estágio I, a água percorre a superfície externa do painel de revestimento; no II, o escoamento acontece pelas juntas verticais; no III, a água fica estagnada na borda superior do painel; no IV, o escoamento ocorre pelo tardo do da placa; no V, a água da chuva é coletada pelos perfis horizontais; no VI, acontece o escoamento de água pela face externa dos perfis verticais; e no VII, a água respinga na face externa do isolamento térmico. (FIGURA 19).

Figura 19 - Estágios de umedecimento do revestimento não aderido



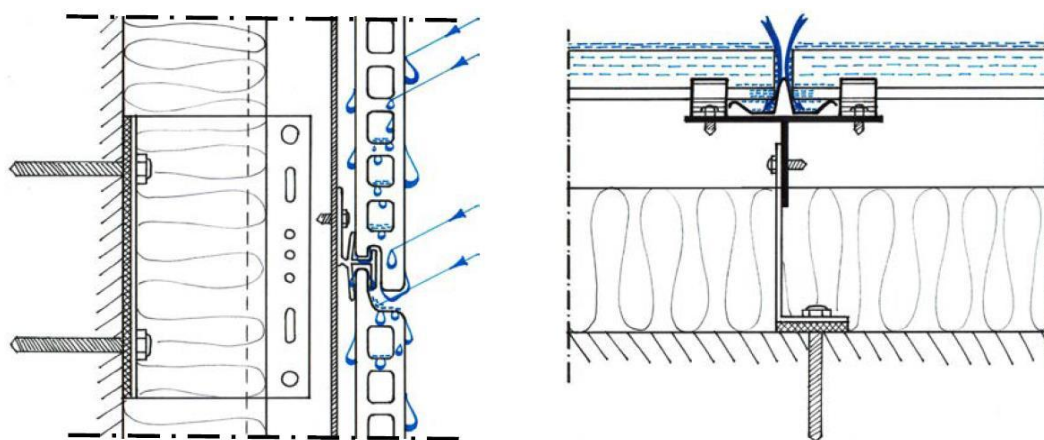
Fonte: (RECATALÁ, 2017, p. 116)

Recatalá (2017) descreve o comportamento de fachadas revestidas com painéis cerâmicos extrudados e prensados (porcelanato). Em relação aos extrudados, conclui-se que a entrada de água pelas juntas horizontais é improvável devido às juntas macho-fêmea e, caso essa venha a se alojar na borda superior do painel (estágio III), escorrerá para fora devido à inclinação. A entrada de água pela junta vertical é evitada pela instalação do “perfil junta” sobre o montante, de modo a obstruí-la. Caso a água atinja as laterais da placa nas juntas verticais (estágio II), pode escorrer para dentro dos orifícios por gravidade ou ação do vento. Além disso, pode ficar estagnada nos furos por tensão superficial até sair na próxima junta por



gravidade, caso a placa não esteja completamente nivelada. Outra situação, é que a água, ao penetrar na junta vertical pela ação do vento, alcança a interface entre o perfil junta e o tardo de placa e tende a descer aderida a esses como acontece num condutor vertical de drenagem (estágio IV). Somente uma pequena porção de água pode infiltrar no painel, já que tem baixa porosidade, além de que é improvável que o perfil T fique molhado (estágio IV), exceto se o perfil junta for instalado de forma errada. Além disso, é improvável que a água entre em contato com o clipe de fixação e o parafuso que o prende ao perfil T (estágio IV), a menos que o painel receba uma chuva de grande intensidade. Em relação ao revestimento, a água tende a escorrer por gravidade (estágio I) até chegar à junta na borda inferior da placa e parar na borda superior do painel adjacente (estágio III), mesmo sendo inclinada, podendo se espalhar para os lados por tensão superficial ou mesmo para cima por absorção. Porém, a tendência é que a água estagnada na borda superior da placa (estágio III) transborde e desça por gravidade (estágio I) (FIGURA 20).

Figura 20 - Gerenciamento da água em painéis cerâmicos extrudados

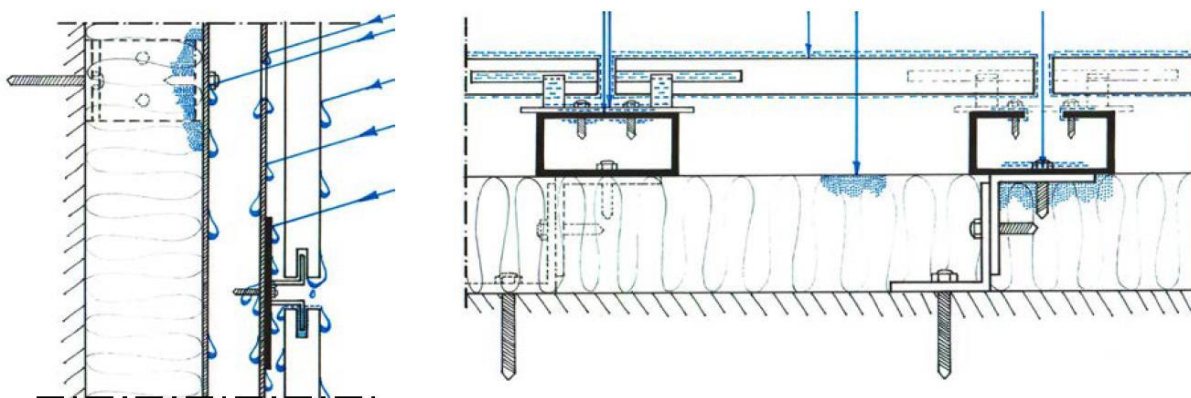


Fonte: (RECATALÁ, 2017, p.136)

Já em relação aos painéis em porcelanato, Recatalá (2017) conclui que a chuva dirigida pode atingir a camada de isolamento quando se infiltra pelas juntas horizontais (estágio VII), assim como pode atingir os perfis verticais devido à infiltração pelas juntas verticais. A partir disso, a tendência é que a água escorra por gravidade ao longo das superfícies: frontal, posterior e, até mesmo, interna do perfil. A entrada de água na área interna dos perfis verticais pode ocorrer pelos furos dos parafusos que prendem os cliques de fixação, sobretudo quando se tem incidência de vento, descendo por seu interior pela gravidade. Entretanto, os perfis verticais com

secção em forma de U podem permitir a passagem de água à camada de isolamento térmico pelos furos dos parafusos que os ligam aos perfis de ancoragem. Essa situação é desfavorável, já que a lã mineral, ao ser umedecida, pode transmitir umidade à parede de vedação. A água, ao incidir na placa em porcelanato, tende a escorrer por gravidade até atingir a borda inferior (estágio I), aderindo-se por tensão superficial ficando estagnada na junta (estágio III). Por fim, pode escorrer para fora, pingando sobre a superfície externa do painel adjacente, ou escorrer para dentro pela ação do vento (FIGURA 21).

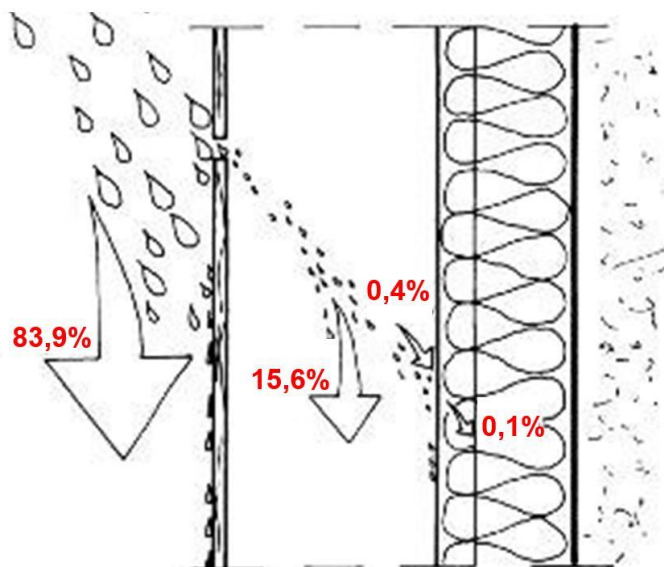
Figura 21 - Gerenciamento da água em painéis prensados (porcelanato)



Fonte: (RECATALÁ, 2017, p. 122)

A largura da junta é determinante no comportamento do sistema frente à água. Em juntas com 5 mm, a entrada de água é insignificante, enquanto nas juntas com 10 mm a entrada de água pode ser tornar abundante. Geralmente, a largura da junta de colocação é de 6 a 8 mm, por isso deve-se levar em consideração que uma certa quantidade de água sempre penetra na câmara (AVELLANEDA; APARICIO, 2000 *apud* BOBADILLA, 2007). Assim, a título de referência quanto à proporção de água que pode penetrar pelas juntas e alcançar as diversas camadas que compõem o sistema, a UNI 11018 (2003) mostra que: num corpo de prova onde as dimensões dos painéis de revestimento são de 600 x 600 x 10 mm; onde as juntas horizontais e verticais são abertas e têm largura de 8 mm; e a câmara tem profundidade de 100 mm; de toda a água que incide sobre o revestimento não aderido: 83,9% escorre pela superfície externa do painel; 15,6% adentram na câmara, porém perdem-se pela ação da gravidade; 0,4% atinge a camada de isolamento térmico; e apenas 0,1% infiltram no isolamento (FIGURA 22).

Figura 22 - Permeabilidade do revestimento com juntas abertas retas



Fonte: (UNI 11018, 2003 *apud* MACHADO, 2012, p. 141)

Silva (2016) também realizou um ensaio cujo objetivo era quantificar o volume de água que poderia chegar até a parede suporte, o qual foi chamado de ensaio de drenabilidade. O corpo de prova era composto por placas cerâmicas extrudadas com dimensões variáveis: a largura variava de 150 a 300 mm e o comprimento de 1185 a 1415 mm; e as juntas entre as placas tinham 5 mm. Os perfis metálicos apresentavam secção transversal de 50 x 73 mm e a parede suporte era uma chapa em policarbonato de 10 mm de espessura afastada cerca de 15 cm dos painéis cerâmicos (largura da câmara). Na base do policarbonato foi instalada uma calha para coletar toda a água que eventualmente passasse pelas juntas, atravessassem a câmara e escorressem por ele. O ensaio foi realizado com base na então NBR 10821-3 (2011), em que o corpo de prova foi submetido a uma pressão de 250 Pa que era compatível a classe IV para um edifício de 90 m. O resultado obtido foi que dos 120 l aspergidos contra o revestimento, apenas 0,5 l foram coletados, de modo que a relação entre a água aspergida e a água coletada foi de 0,4%, o que é considerado baixo já que o autor afirma que uma relação na ordem de 5% já garante estanqueidade ao sistema.

A NBR 15575-4 (2013) determina que as paredes devem ser estanques, não podendo apresentar infiltrações que provoquem borrifamentos, escorrimentos ou formação de gotas aderentes à superfície interna, podendo apenas apresentar manchas de umidade em área limitada. Para avaliação de desempenho, a parede de vedação deve ser submetida à aspersão de água durante 7 h, escorrendo a partir do

seu topo a uma vazão de 3 l / min / m<sup>2</sup>. Além disso, deve ser aplicada uma pressão de ar para simular a ação do vento, a qual varia de 10 Pa para a região I até 50 Pa para a região V (QUADRO 12).

Quadro 12 - Níveis de desempenho para estanqueidade de paredes de fachada

Região do Brasil	Condições de ensaio de paredes	
	Pressão estática Pa	Vazão de água L/min/m <sup>2</sup>
I	10	3*
II	20	
III	30	
IV	40	
V	50	

Nota: Para edificações térreas, com beirais de no mínimo 0,50 m de projeção, a pressão estática do ensaio pode ser reduzida de 10 Pa nas regiões II a V

Fonte: (NBR 15575-4, 2013)

Como resultado, a parede de vedação de edifícios com mais de um pavimento não deve apresentar, na sua face interna, uma área ou soma delas manchadas superior a 5% da área total aspergida na face externa, para que essa venha a alcançar o nível mínimo de desempenho. Entretanto, para alcançar os níveis intermediário e superior, não é permitida a ocorrência de manchas na face interna da parede de vedação.

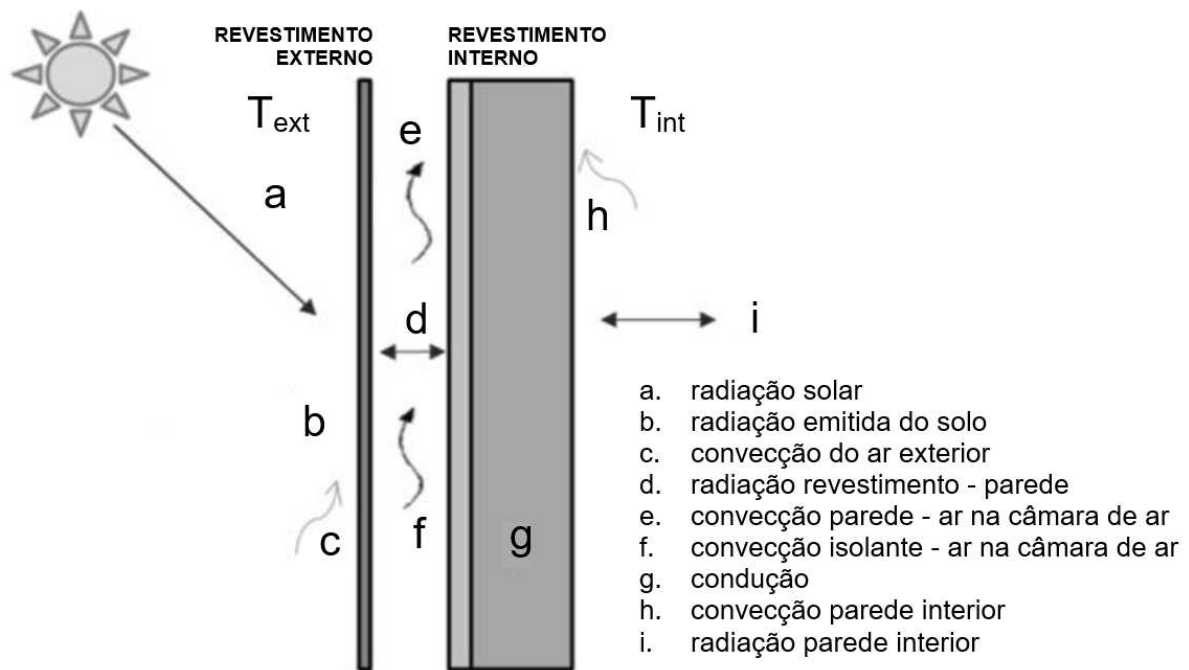
#### 2.4.4 Desempenho térmico em revestimento não aderido

Para projetar edifícios energeticamente eficientes, é preciso ter conhecimentos sobre os processos de transferência de calor, pois, dessa forma, consegue-se criar soluções capazes de associar diferentes materiais e espessuras às condições de conforto térmico previstas para a edificação (SPECHT *et al.*, 2010). Assim, pode-se afirmar que a transferência de calor em fachadas ocorre, por diferença de temperatura, de três formas: por condução, associada à transferência de calor por meio sólido; por convecção, pelo contato entre um fluido em movimento e uma superfície; e por radiação, sem contato, de modo que a transferência de calor ocorre pela emissão de ondas eletromagnéticas (ORDENES; LAMBERTS; GÜTHS, 2008).

As transferências de calor em painéis não aderidos ocorrem simultaneamente da seguinte forma: por radiação do sol (a), por radiação emitida do entorno (b) e por convecção do ar externo (c), podendo ser de forma natural ou forçada, quando há

incidência de vento. Os painéis de revestimento também podem perder calor durante a noite, principalmente em locais de clima quente. Na sequência ocorre transferência de calor, por radiação do revestimento para a parede (d) e por convecção, do painel de revestimento para a câmara de ar (e) e dessa para a superfície externa da parede de vedação (f). Após, o fluxo de calor atravessa a parede de vedação por condução (g), alcançando, dessa forma, a superfície interna do ambiente. Por fim, a transferência de calor ocorre por convecção (h) e radiação da superfície interna da parede para o interior do ambiente (i) (FIGURA 23) (ATEM, 2016).

Figura 23 - Transmissão de calor em revestimento não aderido



Fonte: (ATEM, 2016 *apud* MORAES FILHO, 2019, p. 40)

De acordo com Giancola (2010), em revestimentos não aderidos, os fatores que influenciam no processo de transferência de calor são: a quantidade de radiação solar incidente, a velocidade e direção dos ventos locais, o material do revestimento, a cor do revestimento, a espessura e a forma das juntas, a quantidade de entradas e saídas de ar, a liberdade de movimento de ar no interior da câmara, a altura da câmara de ar, os materiais das paredes de vedação e, por fim, a espessura do isolamento térmico. Penso (2017) corrobora: a cor, a composição do revestimento e as condições do clima local (vento, temperatura e radiação solar), interferem no modo como esse sistema se comporta quanto à economia de energia.

Nesse sentido, Balter *et al.*, (2017) informam que dentre diversos fatores que influenciam no funcionamento adequado da câmara de ar, destacam-se a temperatura e a velocidade do ar. Através de medições de temperatura e velocidade do vento no interior da câmara de ar em diversos edifícios localizados em Barcelona, nos períodos da manhã e da tarde durante o verão, os autores demonstraram como a incidência solar sobre a fachada, bem como o grau de ventilação da câmara, podem afetar a velocidade do ar no interior da câmara, propriedade essa que promove a remoção do ar quente em seu interior e, automaticamente, diminui a demanda por refrigeração no edifício. Assim, todas as características dos edifícios foram levantadas, dentre as quais podem-se citar: largura da câmara, largura útil da câmara (sem obstruções), área de ventilação na base e topo, área de ventilação das juntas e comprimento da câmara. No primeiro estudo, no qual foi realizada uma comparação entre dois edifícios com diferentes características em relação à câmara de ar, constatou-se que o edifício cuja câmara ventilava apenas pelas juntas, ou seja, era fechada na base e no topo, a velocidade média do ar, no interior da câmara, diminuía cerca de 87,6% em relação à velocidade média externa. Já no edifício em que a ventilação da câmara se dava pela base e juntas, porém fechada no topo, a velocidade média do ar no interior da câmara diminuía apenas 12,6% em relação à velocidade média externa. Dessa forma, entendeu-se que a ventilação pelas extremidades da câmara (base e topo) é mais eficiente do que a ventilação pelas juntas, mesmo quando essas dispõem da mesma área de abertura.

Na segunda análise, Balter *et al.*, (2017) relacionaram o percentual de aberturas das juntas entre as placas com o movimento do ar na câmara, observando o quanto a velocidade do ar na câmara poderia mudar nos períodos da manhã e da tarde. O estudo mostrou que, na medida em que a fachada recebe incidência solar e a câmara tem sua temperatura aumentada, há um aumento na velocidade do ar dentro da câmara, entretanto esse aumento pode ser maior ou menor dependendo da quantidade de aberturas na base, topo e juntas. A título de exemplo, destaca-se que o edifício destinado à faculdade de ciências (UAB), apesar de ser desprovido de aberturas nas juntas entre as placas, apresentava entrada de ar na base da câmara e saída de ar no topo dela. Nesse edifício, a velocidade do ar no interior da câmara pela manhã era de 0,1 m/s, enquanto no período da tarde, com a incidência solar, a velocidade do ar interno era de 0,37 m/s. O mesmo pôde ser observado no Hospital Santo Antônio, porém nesse não há aberturas na base e no topo da câmara, mas



sim grandes aberturas nas juntas entre as placas. Nesse caso, a velocidade do ar no interior da câmara era de 0,07 m/s no período da manhã, enquanto no período da tarde, com a incidência solar, a velocidade aumentou para 0,23 m/s. Entretanto, no edifício residencial Av. Diagonal, a velocidade interna do ar na câmara foi de 0,1 m/s no período da manhã, período de incidência solar, e 0 m/s no período da tarde. Nessa situação, apesar do aumento, percebe-se que a velocidade no interior da câmara é muito baixa, contudo isso pode ser explicado pela inexistência de ventilação nos extremos da câmara, pela menor área de juntas entre as placas e, principalmente, pela obstrução que os perfis horizontais geram à câmara, de modo a prejudicar o fluxo de ar.

Por meio de simulações computacionais num edifício modelo, Atem (2016) apresenta as estratégias adequadas para edifícios em revestimento não aderido localizados nas zonas bioclimáticas 1, 2 e 3, consideradas as mais frias do território brasileiro. A autora informa que uma fachada com isolamento térmico no interior da câmara promove a manutenção da temperatura interna de conforto e a obtenção de menores demandas por calefação, diminuindo a demanda anual por energia em 21,63% na zona 1, 22,44% na zona 2 e 17,05% na zona 3, se comparada à uma fachada sem isolamento. Destaca-se também que a cor escura do revestimento (absortância 0,6) aumenta a temperatura da câmara, de modo a evitar a perda de calor dos ambientes internos para o exterior, sobretudo no inverno, reduzindo, dessa forma, a demanda anual por energia em 1,39% na zona 1, 0,51% na zona 2 e 0,79% na zona 3, quando comparado ao revestimento em cor clara (absortância de 0,2). A quantidade de ar que passa no interior da câmara nessas zonas pouco afeta as demandas por energia, de modo que os melhores resultados são alcançados quando não há ventilação na câmara, estratégia essa que diminui a demanda anual por energia em 1,06% na zona 1, 0,74% na zona 2 e 1,09% na zona 3, se comparada à câmara de ar ventilada (entradas de ar na base e topo da fachada e juntas abertas). A largura da câmara pouco influencia quando se tem isolamento térmico na câmara, entretanto os melhores resultados são alcançados com câmaras de ar com 3 cm nessas zonas, reduzindo a demanda anual em 0,40% na zona 1, se comparada à uma câmara com 15 cm de largura. Por fim, a autora informa que a melhor configuração de revestimento não aderido para as zonas bioclimáticas 1, 2 e 3 passa pelas seguintes decisões: parede de vedação em tijolos maciços, isolamento térmico de 5 cm no interior da câmara, câmara de ar estreita (largura de

3 cm) e sem ventilação, e revestimento em painéis cerâmicos de cor escura (absortância 0,6) com menor massa (QUADRO 13).

Quadro 13 - Ações nas diferentes camadas nas zonas 1, 2 e 3

Camada	Estação	Função	Ação de projeto
Revestimento	Inverno	Acumular mais calor no inverno	Cor escura/ material indiferente
	Verão	-	Zona 3 - cor clara
Câmara de ar	Inverno	Manter a temperatura no inverno	Sem ventilação / largura indiferente
	Verão	-	-
Isolamento térmico	Inverno	Manter as temperaturas interiores altas no inverno	Isolamento térmico moderado, preferencialmente lã de rocha com acabamento liso (diminuir a rugosidade interna)
	Verão	-	-
Parede de vedação	Inverno	Manter as temperaturas interiores mais altas no inverno. Ter inércia térmica para resistir a amplitude térmica	Materiais com inércia térmica como bloco cerâmico maciço.
	Verão	-	-

Fonte: (Adaptado de ATEM, 2016)

Como contraponto, Atem (2016) apresenta as estratégias que devem ser adotadas em revestimento não aderido em edifícios localizados nas demais zonas bioclimáticas, cujas temperaturas são elevadas. O isolamento térmico mostra-se inadequado nessas zonas, já que os ganhos de calor, tanto internos quanto solares, não podem ser dissipados pelas paredes de vedação com a sua presença, de modo que a sua eliminação gera redução na demanda anual por energia em 21,61% na zona 4 e 15,38% na zona 5. Além disso, revestimentos em cores claras (absortância de 0,2) absorvem menos o calor proveniente da radiação solar e, conseqüentemente, evitam o aumento da temperatura na câmara de ar, reduzindo a demanda anual em 2,15% na zona 4, 3,6% na zona 5 e 2,25% na zona 6, quando comparado ao revestimento escuro (absortância de 0,6). Outra questão importante é que pode-se reduzir a demanda por refrigeração aumentando a ventilação na câmara de ar (com entradas e saídas maiores e juntas abertas entre as placas), diminuindo, assim, a demanda anual em 12,28% na zona 4, 2,49% na zona 5 e 1,79% na zona 6, comparando-se com uma câmara de ar sem ventilação. Quando o isolamento térmico da câmara é espesso, aumentar ou diminuir a largura da câmara não modifica as condições do edifício. Entretanto, se não houver isolamento, câmaras estreitas (3 cm) apresentam maiores demandas se comparadas às de 9 e 15 cm, de modo a diminuir a demanda anual por energia em 17,26% na zona 8.



Assim, a autora esclarece qual configuração é mais adequada às zonas bioclimáticas 4, 5, 6, 7 e 8: parede de vedação tijolos maciços, sem isolamento térmico no interior da câmara, câmara de ar larga (15 cm) e com o máximo de ventilação, e revestimento em painéis cerâmicos de cor clara (absortância 0,2) com maior massa (QUADRO 14).

Quadro 14 - Ações nas diferentes camadas nas zonas 4, 5, 6, 7 e 8

Camada	Estação	Função	Ação de projeto
Revestimento	Inverno		
	Verão	Não absorver calor	Cor claro / $\alpha \leq 0,5$ / material com mais inércia.
Câmara de ar	Inverno	-	-
	Verão	O ar deve passar pela câmara. Manter a temperatura mais baixa possível (10 a 15 cm).	Com máxima ventilação. Efeito chaminé (entradas e saídas grandes) ou indução de ventilação mecânica.
Isolamento térmico	Inverno	Não deve ser utilizado nesses climas por reter o calor na câmara e dentro do próprio edifício (ganhos solares internos).	Isolamento térmico moderado, preferencialmente lã de rocha com acabamento liso (diminuir a rugosidade interna)
	Verão	-	-
Parede de vedação	Inverno	-	Materiais com inércia térmica como bloco cerâmico maciço.
	Verão	Inércia térmica para resistir a amplitude térmica	-

Fonte: (Adaptado de ATEM, 2016)

A NBR 15575-4 (2013) estabelece os critérios mínimos de desempenho térmico dos elementos de fachada, sendo que os critérios especificados por essa norma se referem aos valores de transmitância térmica e capacidade térmica das paredes externas em função das zonas bioclimáticas brasileiras. Assim, os valores de U e CT de paredes sugeridas em estudos preliminares devem ser confrontadas com os valores exigidos, de modo que, caso atendam simultaneamente a  $U \leq U_{\text{limite}}$  e  $CT \geq CT_{\text{limite}}$ , considera-se que a parede atende ao nível mínimo de desempenho. Em relação à transmitância térmica (U) a norma estabelece que, nas zonas 1 e 2, consideradas mais frias, o valor de U deve ser inferior a  $2,5 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$ . Porém, nas outras zonas, consideradas mais quentes, tem-se duas situações: caso o revestimento especificado seja em cor clara (absortância à radiação solar  $\leq 0,6$ ), o valor de U deve ser inferior a  $3,7 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$ , entretanto, caso a cor do revestimento seja escura (absortância à radiação solar  $> 0,6$ ), o valor de U deve ser inferior a  $2,5 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$ . Em relação à capacidade térmica (CT), para as zonas de 1 a 7, o valor de CT deve ser superior a  $130 \text{ kJ}/(\text{m}^2.\text{K})$ , enquanto na zona 8, não há restrições para o

valor CT (QUADRO 15). Caso as paredes não atendam a qualquer um desses critérios, a verificação do atendimento ao desempenho térmico como um todo deve ser realizada por simulação computacional.

Quadro 15 - Valores para transmitância térmica (U) e capacidade térmica (CT)

Transmitância térmica U (W/m <sup>2</sup> .K)		
Zonas 1 e 2	Zonas 3, 4, 5, 6, 7 e 8	
U ≤ 2,5	α ≤ 0,6	α > 0,6
	U ≤ 3,7	U ≤ 2,5
α é absorvância à radiação solar da superfície externa da parede.		
Capacidade térmica (CT) (kJ/m <sup>2</sup> .K)		
Zona 8	Zonas 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7	
Sem requisito	≥ 130	

Fonte: (NBR 15575-4, 2013)

#### 2.4.5 Desempenho acústico em revestimento não aderido

O ruído pode ser definido como um som indesejável, sendo um dos principais causadores de distúrbios do sono, estresse e perturbação do ritmo biológico. O som e o ruído propagam-se através de ondas sonoras e ao incidirem sobre superfície da fachada, promovem sua vibração. Nos revestimentos não aderido a transferência sonora ocorre da seguinte forma: uma parte dessa energia é refletida pelos painéis, outra parte é atenuada por um material acusticamente absorvente e uma última parte é transmitida para os ambientes (SANTOS FILHO; SPOSTO; CALDAS, 2017).

As paredes de vedação em alvenaria oferecem isolamento acústico pela lei da massa, ou seja, o isolamento entre dois meios diferentes aumenta em função da massa superficial da parede de separação adotada. Entretanto, duplicar a massa da parede permite aumentar o isolamento acústico em apenas 6 dB (HARRIS, 1995), sendo, nesse caso, mais interessante adotar sistemas leves para alcançar maiores níveis de isolamento com menor massa.

A utilização de envelopes formados por duas ou três camadas de diferentes materiais e espessuras impedem o avanço das ondas sonoras em estágios, com base na lei da massa-mola-massa. Esse princípio físico consiste em ter uma primeira camada de fechamento com uma densidade de superfície específica que, ao unir-se à outra camada de fechamento com densidade de superfície diferente, fornece uma melhoria em comparação com um fechamento simples. Da mesma forma, se uma distância de separação é aplicada entre essas duas camadas,

formando uma câmara de ar, uma mudança de impedância ocorre em todo o sistema, pois o ar contido na câmara se comporta como um material elástico, sem aumentar a densidade da superfície. A câmara contribui para o aumento do nível de isolamento se a sua espessura for de 8 a 12 cm e se, no seu interior, for adicionada uma camada de material com propriedades absorventes. Esse material melhora o comportamento acústico da câmara, evitando a ocorrência de frequências ressonantes, pontes acústicas e ondas estacionárias (NIAMPIRA DAZA, 2014).

Niampira Daza e Zamora (2018), através de ensaios de campo, avaliaram se o desempenho do revestimento não aderido mudava em função do tipo de junta entre as placas e o grau de ventilação da câmara de ar. Dentre as juntas estudadas estão: fechadas, abertas e em forma de escamas, já em relação ao grau de aberturas da câmara foram analisadas as seguintes configurações: 0%, 25%, 50%, 75% e 100% de abertura nas extremidades inferior e superior da câmara de ar. A base suporte era composta por uma parede dupla de tijolos com câmara de ar entre elas, sendo que a parede interna apresentava espessura de 14 cm, a câmara 7 cm e a parede exterior 9 cm. Já o revestimento era em painéis de fibrocimento com dimensões de 1,20 x 2,40 m e espessura de 12,5 mm, perfis verticais de 50 x 50 mm a cada 60 cm e câmara de ar com espessura de 10 cm, sendo 4 cm ocupada pela camada de isolamento em lã de rocha com densidade entre 30 e 60 kg/m<sup>3</sup> e 6 cm de largura útil da câmara.



Os painéis foram instalados em uma parede opaca do edifício e as claraboias, destinadas à iluminação zenital, foram fechadas com uma manta acústica, de modo a isolar o ambiente interno. Uma fonte emissora de ruído foi instalada no entorno do edifício e seus níveis foram captados por um microfone a uma distância de 2 m da fachada, bem como no ambiente interno, onde a parede de vedação foi revestida por painéis não aderidos.

O primeiro ensaio foi realizado apenas na parede suporte (sem revestimento) e, após cumpridos todos os procedimentos de ensaio de campo, o resultado, apresentado pela diferença padronizada de nível ponderada a 2 m de distância da fachada ( $D_{2m,nT,w}$ ), foi de 47 dB. Já no segundo ensaio, no qual foi aplicado o revestimento com juntas fechadas, vários graus de abertura da câmara foram testados para avaliar a influência dessa configuração. Ao contrário do que se imaginava, o grau de abertura da câmara não foi determinante no desempenho, sendo que os valores alcançados de  $D_{2m,nT,w}$  para os graus de abertura em 0%, 25%,

50%, 75% e 100% foram de 58 dB, 59 dB, 58 dB, 59 dB e 39 dB (medição descartada), respectivamente.

No terceiro ensaio foram instalados painéis em fibrocimento com juntas abertas, de modo que os valores de  $D_{2m,nT,w}$  para os graus de abertura em 0%, 25%, 50%, 75% e 100% foram de 55dB, 56 dB, 55 dB, 54 dB e 57db, respectivamente. No quarto e último ensaio foram aplicados sobre a fachada painéis em fibrocimento em forma de escamas (com sobreposições), de modo que os valores de  $D_{2m,nT,w}$  para os graus de abertura em 0%, 25%, 50%, 75% e 100% foram de 42 dB (medição descartada), 55 dB, 55 dB, 56 dB e 57 dB, respectivamente. Uma situação preocupante é que nas baixas frequências (até 250 Hz), em todos os ensaios, o revestimento não aderido apresentou pior desempenho em relação à própria parede suporte, sendo um fator que deve ser levado em consideração durante a elaboração do projeto, já que grande parte do ruído incidente nas fachadas, principalmente devido ao tráfego de veículos, ocorre nessas faixas de frequência (QUADRO 16) (SANTOS FILHO; SPOSTO; CALDAS, 2017).

Quadro 16 - Resultados dos ensaios em campo

	Fachada com juntas fechadas $D_{2m,nT,w}$ (C;Ctr)					
	0% aberta	25% aberta	50% aberta	75% aberta	100% aberta	Parede base
	58dB (-2;-5)	59dB (-2;-6)	58dB (-3;-5)	59dB (-3;-6)	39dB (0;1)	47dB (0;-2)
	Fachada com juntas abertas $D_{2m,nT,w}$ (C;Ctr)					
	0% aberta	25% aberta	50% aberta	75% aberta	100% aberta	Parede base
	55dB (-2;-5)	56dB (-2;-5)	55dB (-2;-5)	54dB (0;-3)	57dB (-2;-5)	47dB (0;-2)
	Fachada com juntas em forma de escamas $D_{2m,nT,w}$ (C;Ctr)					
	0% aberta	25% aberta	50% aberta	75% aberta	100% aberta	Parede base
	42dB (-1;0)	55dB (-4;-6)	55dB (-4;-6)	56dB (-5;-7)	57dB (-3;-6)	47dB (0;-2)




Fonte: (NIAMPIRA DAZA; ZAMORA, 2018)

Niampira Daza (2014), através de ensaios em laboratório analisou o comportamento do revestimento não aderido quanto ao desempenho acústico. Nesses ensaios, foram analisadas três configurações quanto ao grau de abertura da câmara, na base e no topo do revestimento: 0%, 50% e 100% (totalmente aberta),

de modo que foram criadas aberturas no revestimento com dimensões de 4 m x 10 cm, que eram fechadas conforme a necessidade do ensaio, a 40 cm do piso e do teto. Avaliou-se também a influência da largura da câmara no desempenho do sistema, de modo que foram testadas três larguras úteis diferentes: 11 cm, 14,2 cm e 17,5 cm. A base suporte era composta de uma parede de concreto de 20 cm. O revestimento era composto por painéis de fibrocimento com dimensões de 1,20 x 2,40 m e espessura de 12,5 mm, perfis verticais de 50 x 50 mm a cada 60 cm e no interior da câmara, rente à parede de concreto, foi instalado um isolamento em lã de rocha com espessura de 6 cm. As juntas entre os painéis de revestimento eram, em todos os ensaios, fechadas.

No primeiro ensaio, a parede suporte foi avaliada sem revestimento, de modo que, após realizados todos os procedimentos, o valor obtido para o índice de redução sonora ponderado ( $R_w$ ) para esse elemento foi de 43 dB. Já o segundo ensaio, que foi realizado com revestimento não aderido, o qual apresentava juntas fechadas entre as placas, a avaliação dava-se em função da largura da câmara que nesse caso era de 11 cm e do grau de ventilação da câmara de ar nas suas extremidades inferior e superior, a qual variava em 0%, 50% e 100% (QUADRO 17).

Quadro 17 - Resultados dos ensaios em laboratório

	Fachada com câmara de 11,0 cm $R_w$ (C;Ctr)			
	Câmara de ar 100% ventilada	Câmara de ar 50% ventilada	Câmara de ar 0% ventilada	Parede base
	64 (-2;-7) dB	63 (-1;-6) dB	64 (-2;-7) dB	43 (0;-1) dB
	Fachada com câmara de 14,2 cm $R_w$ (C;Ctr)			
	Câmara de ar 100% ventilada	Câmara de ar 50% ventilada	Câmara de ar 0% ventilada	Parede base
	63 (-2;-7) dB	63 (-2;-7) dB	64 (-2;-7) dB	43 (0;-1) dB
	Fachada com câmara de 17,5 cm $R_w$ (C;Ctr)			
	Câmara de ar 100% ventilada	Câmara de ar 50% ventilada	Câmara de ar 0% ventilada	Parede base
	62 (-2;-8) dB	63 (-2;-8) dB	64 (-2;-7) dB	43 (0;-1) dB

Fonte: (NIAMPIRA DAZA, 2014)

Tal como nos ensaios de campo, os ensaios de laboratório mostraram que o grau de abertura da câmara não altera o desempenho acústico do conjunto, já que

os valores de  $R_w$  em 0%, 50% e 100% foram de 64 dB, 63 dB e 64 dB, respectivamente. No terceiro ensaio, em que a largura da câmara era de 14,2 cm, os valores de  $R_w$  em 0%, 50% e 100% foram de 64 dB, 63 dB e 62 dB, respectivamente. Porém, no quarto ensaio, a largura da câmara era de 17,5 cm, os valores de  $R_w$  em 0%, 50% e 100 % foram de 64 dB, 63 dB e 62 dB, respectivamente. Dessa forma, foi possível concluir que o grau de abertura nas extremidades da câmara não altera significativamente o desempenho do conjunto, comportamento esse que já havia sido detectado nos ensaios de campo. Contudo, a grande diferença foi que nos ensaios de laboratório o revestimento não aderido apresentou melhor desempenho em todas as faixas de frequência, inclusive nas baixas, ao contrário do que foi observado nos ensaios de campo.

A NBR 15575-4 (2013) estabelece que, no que diz respeito a isolamento sonora de fachadas ensaiadas em campo, as quais consideram portas, janelas, paredes e revestimento, a atenuação acústica entre o ruído padrão gerado externamente e a intensidade sonora registrada no interior da construção, em área de dormitório, devem atender aos limites indicados no Quadro 18 (CBIC, 2013).

Quadro 18 - Diferença padronizada de nível ponderada para ensaios em campo

Classe de ruído	Localização da Habitação	dB	Nível de Desempenho
I	Habitação localizada distante de fontes de ruído intenso de quaisquer naturezas	$\geq 20$	M
		$\geq 25$	I
		$\geq 30$	S
II	Habitação localizada em áreas sujeitas a situações de ruído não enquadráveis nas classes I e III	$\geq 25$	M
		$\geq 30$	I
		$\geq 35$	S
III	Habitação sujeita a ruído intenso de meios de transporte e de outras naturezas, desde que esteja de acordo com a legislação	$\geq 30$	M
		$\geq 35$	I
		$\geq 40$	S

Nota 1 - Para vedação externa de salas, cozinhas, lavanderias e banheiros, não há requisitos específicos. Nota 2 - Em regiões de aeroportos, estádios, locais de eventos esportivos, rodovias e ferrovias há necessidade de estudos específicos.

Fonte: (NBR 15575-4, 2013)

No caso da avaliação da isolamento acústica em laboratório, com ensaios realizados em componentes, elementos e sistemas construtivos utilizados para fachadas (paredes, janelas, paredes com janelas etc.), indicam-se valores de referência na Quadro 19, com potencialidade de atendimento aos índices registrados no Quadro 18 (CBIC, 2013).



Quadro 19 - Índice de redução sonora ponderado para ensaios em laboratório

Classe de ruído	Localização da Habitação	Rw* dB	Nível de Desempenho
I	Habitação localizada distante de fontes de ruído intenso de quaisquer naturezas	≥ 25	M
		≥ 30	I
		≥ 35	S
II	Habitação localizada em áreas sujeitas a situações de ruído não enquadráveis nas classes I e III	≥ 30	M
		≥ 35	I
		≥ 40	S
III	Habitação sujeita a ruído intenso de meios de transporte e de outras naturezas, desde que esteja de acordo com a legislação	≥ 35	M
		≥ 40	I
		≥ 45	S
(*) valores aproximados / ordem de grandeza para potencial atendimento na situação real de campo			

Fonte: (NBR 15575-4, 2013)

#### 2.4.6 Durabilidade e manutenibilidade em revestimento não aderido

Durabilidade expressa o período de tempo em que um produto tem o potencial de cumprir as funções a que foi projetado, num patamar de desempenho igual ou superior ao que foi pré-definido. Para tanto, é preciso que haja a correta utilização, assim como a realização de manutenções periódicas, conforme orientações do fabricante, recuperando parcialmente a perda de desempenho resultante da degradação. Assim, a manutenção pode ser definida como o conjunto de atividades a serem realizadas para conservar ou recuperar a capacidade funcional da edificação ou seus sistemas constituintes a fim de atender às necessidades dos usuários (CBIC, 2013).


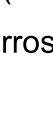
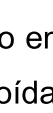
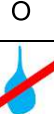
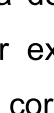
Junto à durabilidade, surgem outros dois conceitos de igual importância: vida útil e vida útil de projeto (VUP). Vida útil é o período de tempo em que um edifício ou suas partes se prestam às atividades para as quais foram projetados e construídos. Já a vida útil de projeto (VUP) é um período estimado de tempo para o qual um sistema é projetado a fim de atender aos requisitos de desempenho estabelecidos em norma, levando em consideração o estágio de conhecimento no momento do projeto e supondo o atendimento da periodicidade e correta execução dos processos de manutenção (CBIC, 2013). A NBR 15575-4 (2013) estabelece que a vida útil de projeto (VUP), para revestimentos não aderidos, deve ser ≥ 20 anos para atender ao desempenho mínimo e ≥ 30 anos para atender ao desempenho superior.

Segundo Medeiros *et al.*, (2014), a durabilidade do revestimento não aderido depende sobretudo da qualidade dos seus componentes, como as placas de

revestimento, os perfis verticais, horizontais e de ancoragem, além de parafusos e chumbadores. Um aspecto relevante da durabilidade desse sistema de fachada são as ancoragens e perfis utilizados e suas respectivas resistências à corrosão. A corrosão do aço carbono é um processo vinculado a um ciclo químico natural. A condição essencial para que haja corrosão é a presença de água e oxigênio em contato com o metal. Uma atmosfera muito úmida, por exemplo, é um grande contribuinte para que a corrosão ocorra. Na ocorrência da corrosão eletroquímica, a superfície metálica apresenta pequenas regiões com potenciais elétricos diferentes que, em contato com água ou com a umidade do ar, fecha um circuito, de modo que a região com potencial eletroquímico menor sofre corrosão.

Já a corrosão bimetalica, ocorre quando dois metais, com diferentes potenciais eletroquímicos, estão em contato elétrico e imersos em um fluido condutor de íons (como a água, por exemplo) (QUADRO 20). Dessa forma, aquele com menor potencial eletroquímico sofrerá corrosão. O fluido possui uma grande influência no potencial de corrosão dos metais.

Quadro 20 - Indicações gerais de possibilidades de compatibilização entre metais

Subestrutura - metal A	Subestrutura - metal B		
	Aço inox	Aço zincado	Alumínio
Aço inox	O		P
Aço zincado		O	
Alumínio	P		O
Legenda:			
O	Ótimo - possível em todas as condições		
	Possível em condições permanentemente secas		
P	Possível com devidas precauções		

Fonte: (Adaptado de UNI 11018, 2003)

A água de chuva possui condutividade elétrica suficiente para estabelecer a reação entre dois metais em contato. A situação em que a corrosão é mais provável é aquela em que a área exposta a ser corroída é significativamente menor em relação à região que corrói. Assim, o método mais comum para prevenir ou minimizar a corrosão bimetalica é baseado na ideia de interromper o caminho elétrico através dos metais. Esse isolamento pode ser obtido por meio do uso de buchas ou arruelas de borracha como o neoprene e plásticos como o *nylon*. Essa



solução é eficiente quando se separa os metais e também o possível contato com uma camada de água (MEDEIROS *et al.*, 2014).

Os metais mais utilizados em sistemas de revestimento não aderido são: o alumínio, normalmente usados nos perfis verticais, horizontais e de ancoragem; o aço inoxidável, geralmente usados em componentes menores devido ao custo elevado, como parafusos, chumbadores e cliques para fixação das placas de revestimento; e o aço zincado, que são usados nos perfis de acabamento no entono das janelas, na base e no topo da fachada para permitir a circulação de ar na câmara e nas barreiras corta-fogo, as quais podem compartimentar a fachada no sentido horizontal e vertical. Esses metais devem ser especificados corretamente para que não sofram corrosão durante a vida útil desse sistema, principalmente em regiões litorâneas, onde há incidência de chuvas e névoas salinas que podem comprometer a durabilidade dos metais.

O alumínio tem elevada resistência à corrosão, pois, quando exposto à atmosfera, forma uma fina e invisível camada de óxido que protege o metal de oxidações posteriores, entretanto essa camada pode ser destruída caso o metal seja exposto à álcalis, ficando desprotegido. A NBR 12609 (2017) estabelece que a película de anodização deve ter entre 11 e 15  $\mu\text{m}$  para uso em áreas urbanas e rurais, 16 a 20  $\mu\text{m}$  para edifícios em área litorânea sujeitos à névoa salina e de 21 a 25  $\mu\text{m}$  em ambientes industriais ou marinhos (QUADRO 21).

Quadro 21 - Espessura da camada anódica

Classe (a)	Espessura da camada anódica ( $\mu\text{m}$ )	Nível de agressividade	Ambiente típico
A 13	11 a 15	Baixa/média	Urbano/rural
A 18	16 a 20	Alta	Litorâneo (b)
A 23	21 a 25	Excessiva	Industrial/marítimo
(a) Os números 13, 18 e 23, que sucedem a letra "A", identificam o valor médio da camada, expresso em micrômetros ( $\mu\text{m}$ ).			
(b) O ambiente marítimo abrange somente os prédios frontais ao mar e sujeitos à névoa salina. Áreas marítimas mais internas são consideradas litorâneas.			

Fonte: (NBR 12609, 2017)

Em geral, os perfis são extrudados e compostos por ligas da série 6000, cujos elementos de composição são alumínio, magnésio e silício (OLIVEIRA, 2009). Além disso, devem receber tratamentos térmicos que lhes dão maior resistência mecânica, indicando-se, nesse caso, as têmperas T5 ou T6 (SIQUEIRA JÚNIOR, 2003; MACHADO, 2012). As referidas ligas apresentam boa capacidade de

extrusão, média resistência mecânica e excelente condição para aplicação de anodização (processo eletrolítico que promove a formação de uma película uniforme de óxido na superfície do alumínio) (OLIVEIRA, 2009).

Os aços inoxidáveis são ligas ferrosas que contêm baixo teor de carbono e, pelo menos, 12% de cromo, sendo divididos em três grupos: martensíticos, ferríticos e austeníticos. Dentre os referidos grupos, os aços austeníticos são os mais utilizados na construção civil pela sua elevada resistência mecânica e à corrosão (TEBECHERANI, 2002 *apud* OLIVEIRA, 2009). A UNI 11018 (2003) informa que os principais tipos de aços inoxidáveis são: AISI 304, AISI 321, AISI 316, AISI 316L e AISI 316 Ti, sendo que a escolha por um tipo ou outro depende da classe de agressividade ambiental, a qual divide-se em rural, urbana, industrial ou marítima. O Quadro 22 relaciona os referidos aços inoxidáveis à classe de agressividade ambiental, para que esses sejam especificados corretamente, sem que haja risco de corrosão ou superdimensionamento do sistema de fixação (clipes, parafusos e chumbadores).

Quadro 22 - Desempenho dos aços inoxidáveis em função do ambiente

Aços inox	Ambiente Rural			Ambiente Urbano			Ambiente industrial			Ambiente Marino		
	B	M	A	B	M	A	B	M	A	B	M	A
AISI 304	O	O	O	O	O	(O)	(O)	(O)	↓	O	(O)	↓
AISI 321	O	O	O	O	O	(O)	(O)	(O)	↓	O	(O)	↓
AISI 316	↑	↑	↑	↑	O	O	O	O	(O)	O	O	(O)
AISI 316 L	↑	↑	↑	↑	O	O	O	O	(O)	O	O	(O)
AISI 316 Ti	↑	↑	↑	↑	O	O	O	O	(O)	O	O	(O)
Legenda												
B	Baixa		M	Média		A	Alta					
↑	Potencialmente hiperdimensionado											
O	Dimensionamento ótimo no que diz respeito à corrosão x custo											
↓	Hipodimensionado											
(O)	Utilização com a devida precaução											

Fonte: (Adaptado de UNI 11018, 2003)

De acordo com Machado (2012), em relação aos aços não inoxidáveis, os revestimentos de proteção dos perfis em aço devem apresentar recobrimento de zinco por processos de imersão a quente para evitar a corrosão. A camada de recobrimento poderá variar em função da agressividade do meio em que será aplicada a estrutura. O controle de qualidade do processo de galvanização dos perfis é de vital importância para a durabilidade do sistema construtivo. A corrosão pode ser definida como a deterioração que ocorre quando um material, normalmente

um metal, reage com seu ambiente, levando à perda de suas propriedades. O zinco é anódico e o ferro catódico, o que significa dizer que a região de zinco é sacrificada para que o aço continue intacto. Se ocorrer um risco na superfície, haverá consumo do zinco e não do aço (GNNECO; MARIANO; FERNANDES, 2003 *apud* MACHADO, 2012). A NBR 15253 (2014) estabelece que a massa mínima de revestimento zincado por imersão à quente deve ser de 275 g/m<sup>2</sup>, entretanto, Oliveira (2009) informa que pesquisas mostram que em ambientes marinhos a massa mínima deveria ser de 350 g/m<sup>2</sup>.

Os revestimentos também devem oferecer características técnicas capazes de garantir durabilidade durante a vida útil do sistema. Destaca-se que as placas cerâmicas presentes no mercado normalmente classificam-se como Bla, para os porcelanatos, e Al e Alla, para os painéis cerâmicos extrudados. A NBR 13818 (1997) estabelece que os porcelanatos, pertencentes ao grupo Bla, devem apresentar absorção de água  $\leq 0,5\%$ , módulo de resistência à flexão  $\geq 35$  N/mm<sup>2</sup> e carga de ruptura  $\geq 1300$  N. Além disso, suas tolerâncias dimensionais devem ficar limitadas aos seguintes valores:  $\pm 5\%$  para desvio de espessura;  $\pm 0,5\%$  para desvio de retitude dos lados;  $\pm 0,6\%$  para desvio de ortogonalidade;  $\pm 0,5\%$  para desvio de curvatura central;  $\pm 0,5\%$  para desvio de curvatura lateral; e  $\pm 0,5\%$  para desvio de empeno.

A NBR 13818 (1997) também determina que os painéis cerâmicos extrudados pertencentes ao grupo Al devem apresentar absorção de água  $\leq 3\%$ , módulo de resistência à flexão  $\geq 23$  N/mm<sup>2</sup> e carga de ruptura  $\geq 1100$  N. Já os painéis pertencentes ao grupo Alla devem apresentar absorção de água entre 3% e 6%, módulo de resistência à flexão  $\geq 20$  N/mm<sup>2</sup> e carga de ruptura  $\geq 950$  N. Quanto às tolerâncias dimensionais, os dois grupos devem limitar seus desvios aos seguintes valores:  $\pm 10\%$  para desvio de espessura;  $\pm 0,5\%$  para desvio de retitude dos lados;  $\pm 1\%$  para desvio de ortogonalidade;  $\pm 0,5\%$  para desvio de curvatura central;  $\pm 0,5\%$  para desvio de curvatura lateral; e  $\pm 0,8\%$  para desvio de empeno.

Além disso, todos os grupos, Bla, Al e Alla, devem apresentar: resistência a ataques químicos elevada ou média; resistência ao manchamento de 4 a 5 e expansão por umidade  $\leq 0,6$  mm/m, assim como devem “resistir” ao congelamento, ao choque térmico e “não gretar”. Baía e Campante (2008) sugerem que os painéis cerâmicos devem ter absorção de água entre 0% e 3% para os locais sujeitos a

neve e entre 0% e 10% para outras regiões. Entretanto, Medeiros e Sabbatini (1999) sugerem que a absorção de água fique limitada a 3%.

Manutenibilidade é o grau de facilidade de um sistema, elemento ou componente de ser mantido ou recolocado no estado no qual possa executar suas funções (CBIC, 2013). Para Oliveira (2009), esse requisito deve ser previsto em projeto para garantir acessibilidade, segurança no uso, manutenção, manuseio, conservação e limpeza dos componentes da fachada. É preciso também verificar, em projeto, a resistência dos elementos de fachada para cargas provenientes de equipamentos de limpeza, além de prever materiais e processos de limpeza possíveis para a tecnologia empregada, bem como planejar as operações de manutenção preventiva, além de indicar eventual troca de componentes e materiais pelo período de vida útil previsto em projeto.

A título de exemplo, Silva (2012) destaca que o revestimento cerâmico não aderido em fachadas apresenta um processo de manutenção bastante simplificado, o qual ocorre da seguinte forma:

a) ajuste na posição das placas cerâmicas a cada dois anos, em razão de eventuais movimentações da estrutura de alumínio; b) limpeza geral com água em baixa pressão (abaixo de 1200 psi), em áreas com excesso de poluentes no ar; c) vistoria de rufos e grelhas a cada dois anos, para verificar a eficiência da drenagem; d) vistoria para verificação de eventuais falhas em placas cerâmicas (rompidas acidentalmente) e do estado de conservação da subestrutura, a cada cinco anos; e) vistoria da face externa do sistema de vedação vertical externo a cada dois anos, para verificar o eventual aparecimento de fissuras na camada de impermeabilização, e refazer o tratamento, caso necessário, para evitar infiltração de água; f) vistoria das vedações entre o revestimento não aderido e outros componentes, como esquadrias, pele de vidro, pingadeiras e fechamentos, a cada dois anos, para evitar infiltração de água.

## **2.5 Projeto de revestimento não aderido em fachadas**

Segundo Medeiros *et al.*, (2014), o projeto de revestimento não aderido deve ser elaborado e detalhado de modo a facilitar a execução, além de permitir o atendimento aos níveis mínimos de desempenho previstos pelas normas. Assim, durante a especificação do revestimento, uma série de variáveis devem ser

ponderadas, como: altura da edificação, geometria da fachada, disposição das esquadrias, material que constitui o painel, o qual pode apresentar tratamento superficial, sistema de fixação e medidas dos painéis.

Siqueira Júnior (2003) corrobora: precisam ser considerados todos os fatores construtivos que influenciam no custo e no desempenho do sistema, como a base suporte, a necessidade do uso de isolante térmico no interior da câmara, o tipo de câmara a ser adotada, ventilada ou não, a qualidade dos painéis, a coordenação modular, a altura do pé-direito dos pavimentos, a altura total da edificação e a interação com os demais componentes que compõem a fachada.

O mesmo autor informa: para que haja racionalização do sistema construtivo, é de fundamental importância que, durante a elaboração do projeto de um edifício novo, o arquiteto considere uma medida modular que permita produzir uma fachada formada, em sua grande maioria, por componentes cerâmicos inteiros, o que traria grandes vantagens econômicas e estéticas. Porém, no caso de *retrofit*, as medidas existentes normalmente requerem cortes dos painéis cerâmicos. Deve-se ter em conta que uma quantidade excessiva de cortes é antieconômica.

Por isso, em projetos de arquitetura sem qualquer modulação, ou seja, projetos que não foram desenvolvidos racionalmente, cabe ao projetista da fachada propor a otimização da paginação, buscando a coordenação modular, já que a perda de material decorrente do número excessivo de recortes, utilização de maior número de montantes, e de mão de obra requeridas para ajustes, é um contra senso quando se tem um sistema cuja montagem tem caráter industrial, podendo inviabilizá-lo economicamente.

O projeto precisa ainda considerar os seguintes aspectos: a coordenação dimensional entre os diversos componentes do revestimento, bem como desses com os demais subsistemas com os quais interage; a especificação dos componentes com as características desejáveis para cada uma das solicitações as quais o revestimento está sujeito; e a interferência entre os diversos subsistemas do revestimento vertical externo (vedação, estrutura, esquadrias e instalações) (SIQUEIRA JÚNIOR, 2003).

Siqueira Júnior; Medeiros (2003) acrescentam que, para que o projeto atenda às necessidades de execução, deve apresentar as seguintes especificações (QUADRO 23):

Quadro 23 - Escopo do projeto de revestimento não aderido em placas cerâmicas

Quais informações devem constar no projeto destinado à execução?	
A	Condições de início para a execução dos serviços
B	Ferramentas de uso pessoal
C	Equipamentos para transporte vertical e horizontal
D	Definição das plataformas de trabalho
E	Definição dos locais para armazenamento dos dispositivos e componentes
F	Dimensionamento da equipe de produção
G	Procedimentos de produção
H	Referências, dimensões e características de acabamento das placas cerâmicas
I	Paginação das placas cerâmicas, de modo a se evitar cortes e estabelecer os parâmetros arquitetônicos
J	Tipo e dimensionamento da fixação a ser utilizada (visível ou não visível)
K	Definição da subestrutura em função do tipo de fixação escolhido, cargas e dimensões das placas
L	Tipo e dimensões dos chumbadores a serem utilizados para a fixação da subestrutura à vedação da edificação
M	Detalhe das ligações entre chumbadores e subestrutura (ancoragens)
N	Acabamento superficial do elemento de vedação externo
O	Necessidade ou não da implantação de isolante térmico
P	Detalhe da interface do sistema com as esquadrias
Q	Detalhe dos dispositivos localizados nas aberturas de entrada e saída do ar
R	Espessura das juntas entre as placas cerâmicas
S	Distância entre o paramento externo (tardoz das placas) e a vedação externa
T	Forma de fixação dos chumbadores e parafusos
U	As tolerâncias e forma de controle que serão adotadas

Fonte: (SIQUEIRA JÚNIOR; MEDEIROS, 2003)

Oliveira (2009) descreve os conteúdos e objetivos das principais etapas do projeto de revestimento de fachadas leves, os quais incluem o revestimento não aderido (QUADRO 24).

Quadro 24 - Etapas, conteúdos e objetivos do projeto de fachadas leves

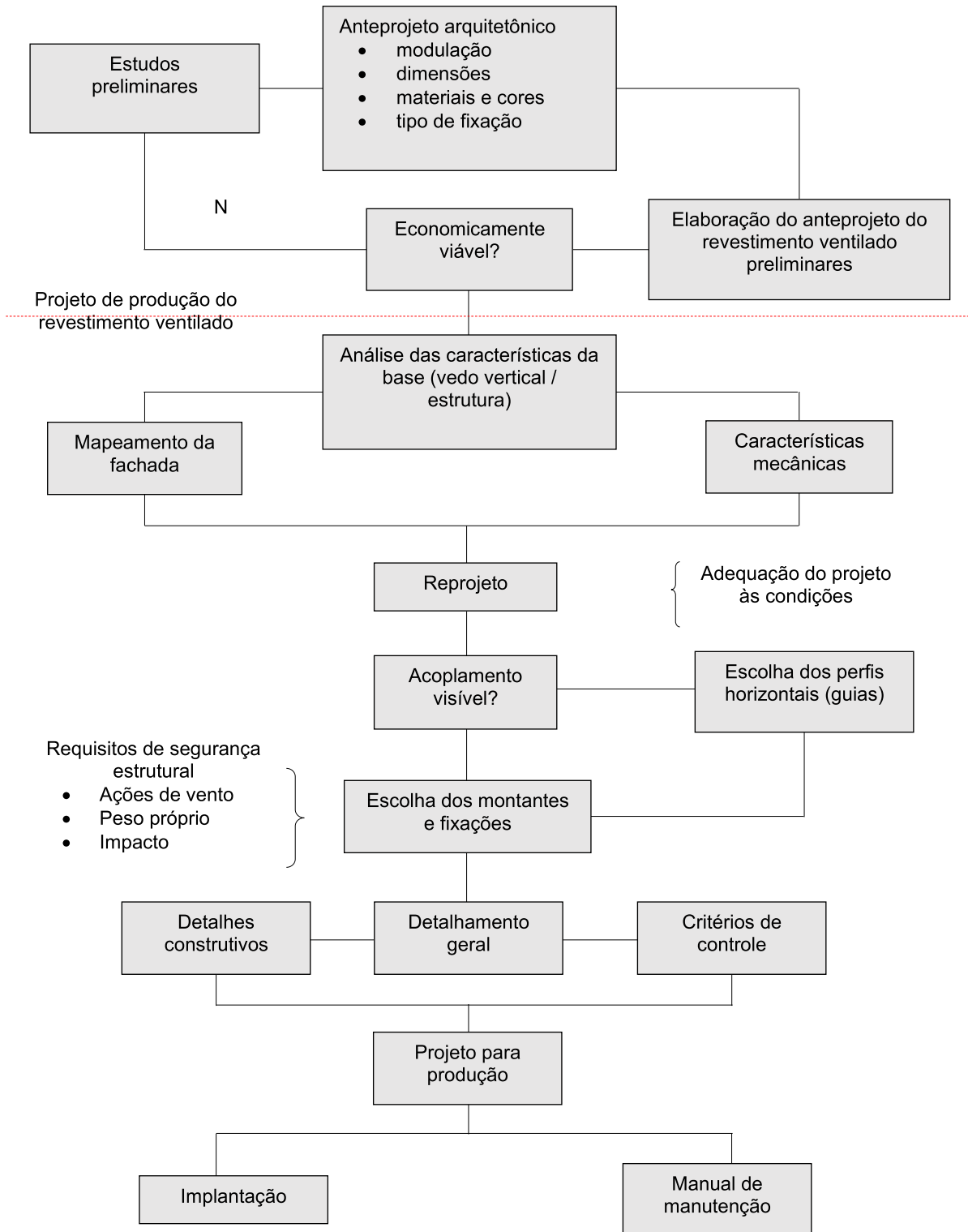
Etapas	Conteúdos / Objetivos
Estudo preliminar	Formular a fachada segundo as exigências do programa de necessidades definido pelo cliente e levar em conta outras experiências (retroalimentação)
	Consolidar a capacidade funcional do produto, ou seja, identificar e especificar as funções técnicas dos diferentes elementos e componentes arquitetônicos a serem empregados na fachada
	Avaliar as diferentes opções arquitetônicas e selecionar a opção “ótima”
	Fazer uma pré-avaliação dos custos para execução do empreendimento, levando em conta algumas das alternativas propostas
	Selecionar, a partir do projeto de arquitetura, a tecnologia de fachada a ser adotada, baseando-se nos requisitos estabelecidos pelo empreendedor, e em critérios que analisam benefícios técnicos, menor custo e menor risco
	Identificar e definir critérios para os requisitos de desempenho estabelecidos no programa de necessidades
	Estabelecer os indicadores de conformidade dos componentes que formam as fachadas leves
	Memorial descritivo, explicativo e justificativo: precisar a composição geral das

Anteprojeto	fachadas (definição de tecnologias construtivas e pré-dimensionamentos)
	Lista das interfaces (levantamento preliminar): fazer listagem preliminar das interfaces e também localizar em quais etapas do processo essas interfaces devem ser solucionadas
	Conjunto de anteprojetos gráficos: esboços, plantas, cortes e vistas Representar graficamente a solução adotada
	Analisar custo global da fachada selecionada, ou seja, custo de produto versus durabilidade, mais custo de operação e manutenção
	Estabelecer um cronograma de execução preliminar
Projeto básico (pré-executivo)	Documento que evidencia a compatibilização do projeto com as normas Consolidar a escolha dos elementos e componentes do edifício em função da compatibilidade com as legislações e normas técnicas pertinentes, especialmente relativas à salubridade e segurança, e com critérios industriais (qualidade do produto) e técnicos (desempenhos esperados)
	Projeto preliminar de uso e manutenção da fachada: avaliar as interfaces com as questões de manutenibilidade, considerando os equipamentos empregados na limpeza das fachadas e sua instalação, acessibilidade para inspeção, etc.
	Analisar e especificar a modulação dos elementos da fachada
	Lista das interfaces entre as soluções encontradas (compatibilização preliminar entre projetos): identificar as interfaces entre subsistemas, elementos e componentes existentes (interfaces técnicas e operacionais)
	Conjunto de projetos gráficos: desenvolver desenhos que mostrem a solução consolidada das fachadas, identificando todos os elementos e componentes
	Estudo das tolerâncias geométricas: definir tolerâncias geométricas dos elementos de fachada e da fachada montada e (especificar preliminarmente tolerâncias de fabricação e montagem)
	Caderno de prescrições técnicas (CPT): sintetizar as prescrições técnicas da fachada, descrever as características construtivas dos elementos de fachada e definir critérios para recebimento da fachada após montagem. Para a elaboração do CPT, é necessário realizar revisão e compatibilização das definições de projeto com as tecnologias construtivas definidas
	Memoriais de cálculo do elemento fachada e seus componentes: produzir um documento que apresente o dimensionamento da fachada e dos seus componentes, inclusive mostrando atendimento aos critérios de segurança
Detalhamento	Completar e detalhar os projetos pré-executivos, respeitando as definições iniciais do projeto. Esse detalhamento dependerá das características do produto do fornecedor selecionado. Ratificar as tolerâncias de fabricação e montagem dos elementos de fachada
	Projeto para a produção, incluindo projeto do canteiro de obras e lista das interfaces da fachada com a execução: finalizar o estudo para a produção e estabelecer o projeto do canteiro de obras (local de armazenamento, acessos, equipamentos de transportes, etc.), e identificar e solucionar as interfaces com a execução/montagem da fachada com a dos outros serviços
	Compatibilização definitiva e síntese dos procedimentos: reanalisar as interfaces e definir soluções, ou seja, realizar a compatibilização entre os detalhamentos construtivos de cada subsistema que tenha interface com a fachada, bem como a síntese dos processos de produção, identificando procedimentos contraditórios e resolvendo interfaces entre equipes

Fonte: (adaptado de OLIVEIRA, 2009)

Siqueira Júnior (2003) acrescenta que uma sequência lógica que aborde as várias etapas relativas ao desenvolvimento do processo de projeto, pode ser representada pelo fluxograma da Figura 24.

Figura 24 - Fluxograma para a elaboração do projeto de revestimento não aderido



Fonte: (SIQUEIRA JÚNIOR, 2003)



### 3 MÉTODO

Esta pesquisa bibliográfica foi desenvolvida por meio de etapas sequenciais que visa sistematizar as principais informações de projeto para a tomada de decisão, discutir sobre os aspectos relacionados ao desempenho e à construtibilidade em revestimentos não aderido e definir os documentos gráficos e descritivos que devem compor o projeto. Assim, as etapas que constituem o método são as seguintes: a) pesquisa bibliográfica, em que foram compiladas informações relevantes ao desenvolvimento do projeto; b) sistematização das principais informações de projeto; c) definição dos documentos gráficos e descritivos a serem apresentados ao término das seguintes etapas: estudo preliminar, anteprojeto e projeto executivo; d) apresentação e análise dos principais documentos gráficos que constituem o projeto executivo.

#### 3.1 Pesquisa bibliográfica

Através de teses, dissertações, artigos científicos, catálogos e normas técnicas, foram compiladas as principais informações para a elaboração do projeto de revestimento não aderido, as quais foram organizadas em cinco tópicos: o projeto, a fachada, o revestimento não aderido, o desempenho e o projeto em revestimento não aderido. No projeto, foram destacados conceitos como construtibilidade e coordenação modular, dois temas fundamentais que promovem, através do projeto, a simplicidade ao processo de execução e a adoção de medidas modulares compatíveis com outros subsistemas da edificação. Na fachada, foram reunidas as principais informações sobre os agentes de degradação presentes no meio externo, como a radiação solar, chuva dirigida, vento, etc., os quais devem ser considerados durante a elaboração do projeto para que o edifício mantenha o desempenho para o qual foi projetado. No revestimento não aderido, foram coletadas informações referentes ao funcionamento do sistema, seus componentes, seu passo a passo de execução, além de suas vantagens frente ao sistema aderido. No desempenho do revestimento não aderido, foram reunidas informações sobre os requisitos de desempenho, como: segurança estrutural e ao fogo, estanqueidade, desempenho térmico e acústico, durabilidade e manutenibilidade, as quais se fundamentaram em ensaios de (campo e laboratório), simulações, bem como em

critérios de desempenho prescritos em diversas normas. Por fim, no projeto de revestimento não aderido, as informações coletadas definem os objetivos e conteúdo do projeto nas fases: estudo preliminar, anteprojeto, projeto pré-executivo e detalhamento.

### 3.2 Parâmetros de projetos de revestimento cerâmico não aderido em fachadas

As informações compiladas na pesquisa bibliográfica foram sistematizadas em quadros técnicos que definem os parâmetros para a elaboração de projetos em revestimento cerâmico não aderido em fachadas. Estes quadros foram classificados segundo os seguintes requisitos: construtibilidade, segurança estrutural e ao fogo, estanqueidade, desempenho térmico e acústico e durabilidade. Na construtibilidade, destacaram-se pontos como o peso e as dimensões dos painéis cerâmicos, enquanto na segurança estrutural abordaram-se aspectos como a largura das juntas entre as placas de revestimento, bem como entre montantes de andares consecutivos. Na segurança ao fogo, foram pontuadas questões como o uso de barreiras corta-fogo para impedir a propagação das chamas pela fachada, enquanto na estanqueidade foram indicados dispositivos que impedem a infiltração de água na câmara. No desempenho térmico, destacou-se a adequação das placas e da câmara de ar às características do clima local, enquanto no desempenho acústico pontuou-se a importância do isolamento, bem como da base suporte, para a atenuação do ruído. Por fim, na durabilidade foram destacados os dispositivos que evitam o contato entre metais incompatíveis, assim como as especificações mais importantes do revestimento, como absorção de água, por exemplo.

### 3.3 Definição dos documentos gráficos e descritivos nas etapas de projeto

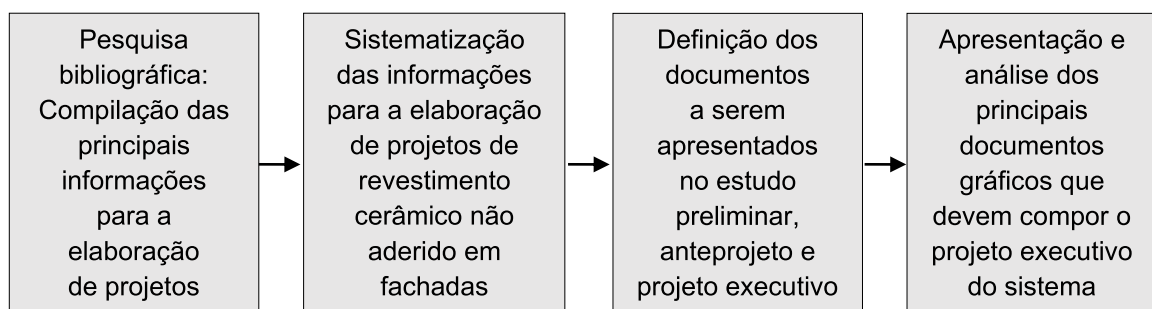
Através de quadros técnicos, foram definidos os principais documentos gráficos e descritivos que devem ser apresentados ao final das principais fases do projeto, como estudo preliminar, anteprojeto e projeto executivo. Além disso, indicaram-se as escalas apropriadas e o conteúdo de cada tipo de documento, estabelecendo um padrão mínimo de apresentação de projetos de revestimento cerâmico não aderido em fachadas.

### 3.4 Apresentação e análise dos documentos gráficos do projeto executivo

Por meio da elaboração do projeto executivo apresentaram-se as principais elevações e detalhes construtivos que devem compor o projeto de revestimento cerâmico não aderido em fachadas. Além disso, foram analisados, em cada um dos desenhos, aspectos relacionados ao desempenho e à construtibilidade, destacando a importância de cada um dos componentes para o sistema e como estes devem ser montados no canteiro de obras. As elevações mostraram a paginação dos painéis de revestimento na fachada, a disposição dos perfis da subestrutura e a posição das barreiras corta-fogo. Já os detalhes construtivos apresentaram especificações de todos os componentes do sistema de revestimento, bem como suas ligações aparafusadas em diversos pontos da fachada.

Assim, o método desta dissertação pode ser expresso através do seguinte fluxograma (FIGURA 25):

Figura 25 - Fluxograma do Método



Fonte: (do autor)

## 4 RESULTADOS

Neste capítulo, as informações compiladas na fundamentação teórica foram sistematizadas em quadros técnicos, a fim de constituir parâmetros para a elaboração de projetos de revestimento cerâmico não aderido em fachadas. Além disso, foram listados os principais documentos técnicos a serem apresentados nas etapas do estudo preliminar, anteprojeto e projeto executivo. Por fim, foi apresentado um projeto executivo de revestimento não aderido para ilustrar como este pode ser desenvolvido para atender às necessidades da obra.

### 4.1 Parâmetros de projetos de revestimento cerâmico não aderido em fachadas

As informações compiladas na pesquisa bibliográfica, através de dissertações, teses, artigos científicos, normas técnicas e catálogos, foram sistematizadas de modo a estabelecer os parâmetros para a elaboração de projetos em sistemas de revestimento cerâmico não aderido em fachadas. Assim, foram agrupadas de acordo com os seguintes temas: construtibilidade, segurança estrutural e ao fogo, estanqueidade, desempenho térmico e acústico e durabilidade.

A construtibilidade pode ser implementada no projeto de revestimento cerâmico não aderido em fachadas por meio da adoção de painéis de grandes dimensões e de baixo peso, assim como pela padronização dos elementos. Além disso, sua inserção deve contemplar a especificação de sistemas com o menor número de componentes, modulação compatível com outros subsistemas e que possam ser instalados pelo uso de ferramentas simples (QUADRO 25).

Quadro 25 - Parâmetros de projeto para promover construtibilidade

O que se deve considerar em projeto para que haja simplificação do processo de montagem (construtibilidade pelo projeto)?	Autores
<ul style="list-style-type: none"> <li>Para promover agilidade ao processo de montagem e diminuir a quantidade de componentes em obra, pode-se adotar sistemas com placas cerâmicas de grandes dimensões, de modo a aumentar o espaçamento entre os montantes, o que diminui a quantidade de perfis montantes a serem instalados, e a produtividade em cada procedimento de assentamento devido a maior área dos painéis. Em média, as placas disponíveis no mercado têm as seguintes dimensões: altura entre 20 e 50 cm e comprimento entre 50 e 150 cm. Essa condição precisa ser validada pelo dimensionamento da subestrutura;</li> </ul>	Medeiros <i>et al.</i> , (2014); Gail (2013); Siqueira Zucchetti (2010); Júnior (2003);

<ul style="list-style-type: none"> <li>• Para tornar o processo de montagem mais ergonômico ao trabalhador, devem ser especificados sistemas de revestimento com menor peso, o que tende a promover produtividade ao canteiro de obras e menor incidência de faltas, por parte dos trabalhadores, decorrentes de problemas de saúde relacionados a esforços excessivos. Em média, os sistemas têm peso de 30 kg/m<sup>2</sup>;</li> </ul>	<p>Medeiros <i>et al.</i>, (2014); Gail (2013); Zucchetti (2010); Siqueira Júnior (2003);</p>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Para promover simplicidade ao processo de montagem, deve-se especificar revestimentos com o menor número de componentes, de modo a minimizar a variabilidade dos produtos e processos e diminuir a quantidade de etapas para a montagem. A título de exemplo, cita-se os perfis <i>rail</i>, os quais são parafusados aos montantes com todos os cliques de fixação já posicionados, eliminando-se o trabalho de serem instalados um a um;</li> </ul>	<p>Zucchetti (2010); Rodrigues (2005); Rodríguez; Heineck (2003);</p>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Deve-se especificar painéis de revestimento com modulação compatível com os tamanhos dos vãos das esquadrias e altura do pé-direito, evitando cortes desnecessários em obra que tendem a encarecer o sistema pelo desperdício de materiais e tempo de mão de obra. Sugere-se a adoção do “módulo padrão” de 20 ou 30 cm (2M ou 3M), de modo a integrar as diversas modalidades de projeto (revestimento, vedações, estrutura e esquadrias);</li> </ul>	<p>Medeiros <i>et al.</i>, (2014); Machado (2012); Siqueira Júnior (2003);</p>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• A especificação do sistema de revestimento deve prever o uso de ferramentas e equipamentos simples, de uso habitual dos trabalhadores, de modo a promover simplicidade ao processo. As principais ferramentas e equipamentos são: furadeiras e brocas, ferramentas para serviços de impermeabilização, mesa de corte para eventuais ajustes nos painéis cerâmicos, parafusadeira, fio de prumo, régua de nível, serra para corte dos painéis, nível, trena, EPIs, andaimes, balancim, guincho ou minigrua;</li> </ul>	<p>Medeiros <i>et al.</i>, (2014); Silva (2012); Zucchetti (2010); Siqueira Júnior (2003);</p>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• O projeto deve promover a simplificação da montagem por meio da padronização de medidas e componentes, como a adoção de placas cerâmicas, perfis montantes e de ancoragem com o menor número de variações dimensionais, bem como parafusos e chumbadores com diâmetros e comprimentos “padrão”.</li> </ul>	<p>Zucchetti (2010); Rodrigues (2005); Rodríguez; Heineck (2003);</p>

Fonte: (do autor)

A segurança estrutural, para ser alcançada, deve permitir a livre movimentação dos painéis de revestimento, devendo-se prever juntas. O mesmo deve ocorrer entre os montantes de andares consecutivos. O sistema deve ser dimensionado para se manter estável e não se deformar excessivamente, e as fixações (chumbadores, buchas e parafusos) precisam ser adequados à base suporte de instalação (alvenaria ou concreto). O Quadro 26 aborda diversos quesitos que proporcionam segurança estrutural.

Quadro 26 - Parâmetros de projeto para atender a segurança estrutural

O que se deve considerar em projeto para que o sistema tenha segurança estrutural?	Autores
<ul style="list-style-type: none"> <li>A flecha máxima para os perfis verticais (montantes) deve ser de L/200 (cargas horizontais de vento) e, para os perfis horizontais, L/300 para inflexões verticais (devido ao peso) e L/100 para inflexões horizontais (devido ao vento);</li> </ul>	UNI 11018 (2003);
<ul style="list-style-type: none"> <li>A junta entre montantes de pavimentos consecutivos, na altura da laje do pavimento, deve ser de 0,6 mm/m para uma variação de temperatura de 30 °C; 1 mm/m para uma variação de 40 °C e 1,4 mm/m para uma variação de 50 °C para perfis em alumínio;</li> </ul>	UNI 11018 (2003);
<ul style="list-style-type: none"> <li>A junta estrutural deve ter a mesma largura e posição do que a junta de dilatação do edifício. O sistema de revestimento deve ser independente em cada lado da junta, pois, se for contínuo, haverá o risco de queda de partes do revestimento devido às movimentações impostas pela estrutura de concreto armado;</li> </ul>	Dordá <i>et al.</i> , (2010);
<ul style="list-style-type: none"> <li>As juntas de compressão entre os painéis, situada na altura dos pisos dos pavimentos, devem ter largura mínima de 15 mm;</li> </ul>	Dordá <i>et al.</i> , (2010);
<ul style="list-style-type: none"> <li>As juntas de expansão, que separam os painéis no sentido vertical, devem ter largura mínima de 10 mm;</li> </ul>	Dordá <i>et al.</i> , (2010);
<ul style="list-style-type: none"> <li>As juntas de assentamento variam conforme o sistema, porém podem apresentar de 4 a 10 mm quando na vertical e de 8 a 10 mm quando na horizontal;</li> </ul>	Dordá <i>et al.</i> , (2010);
<ul style="list-style-type: none"> <li>As ancoragens de sustentação, as quais devem suportar o peso do revestimento e os esforços de vento, devem ser fixadas nas vigas de concreto por chumbadores mecânicos, com diâmetro médio, de 6,3 mm, enquanto as ancoragens de retenção devem ser fixadas nas paredes de vedação por parafusos com diâmetro médio de 6,3 mm e buchas de <i>nylon</i> de 8 mm. Porém, o diâmetro dos parafusos e chumbadores pode variar conforme as solicitações de vento;</li> </ul>	Medeiros <i>et al.</i> , (2014); Campos (2011); Machado (2012);
<ul style="list-style-type: none"> <li>Os montantes devem ser suspensos pela extremidade superior por ancoragens de sustentação, as quais devem resistir ao peso próprio do revestimento e as cargas de vento, de modo que a ligação entre esses componentes geralmente ocorre por parafusos de 5,5 mm em furos comuns ou furos oblongos horizontais para ajuste de prumo, os quais constituem os pontos fixos;</li> </ul>	Medeiros <i>et al.</i> , (2014); Machado (2012); Siqueira Júnior (2003);
<ul style="list-style-type: none"> <li>Ancoragens de retenção devem apoiar o montante ao longo do seu comprimento, em 3 ou 4 pontos até a sua extremidade inferior, para que não sofra flexão excessiva quando submetido às pressões de vento. Esforços repetitivos nos montantes podem gerar oscilações capazes de rompê-los por fadiga;</li> </ul>	Medeiros <i>et al.</i> , (2014); Machado (2012); Siqueira Júnior (2003);
<ul style="list-style-type: none"> <li>Os perfis de ancoragem, que prendem os montantes, devem sempre ser instalados em sentidos opostos na base suporte para contraventar os montantes em caso de esforços laterais de vento;</li> </ul>	Recatalá (2017); Machado (2012);
<ul style="list-style-type: none"> <li>Não devem ser instalados calços sob os perfis de ancoragem para compensar desvios geométricos, pois podem provocar momentos de grande intensidade nos chumbadores;</li> </ul>	Machado; Oliveira (2012);

<ul style="list-style-type: none"> <li>• A distância entre chumbadores consecutivos deve ser de, no mínimo, 10 vezes o seu diâmetro, enquanto a distância entre os chumbadores e a borda do concreto deve ser de, no mínimo, 5 vezes o seu diâmetro;</li> </ul>	Machado; Oliveira (2012);
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Em relação ao impacto de corpo mole, o revestimento deve suportar impactos de 60 J no térreo e demais pavimentos sem fissuras e deformações aparentes; de 400 J no térreo e 300 J em pavimentos onde os objetos possam ser jogados, sem ocorrência de quebra, não podendo haver queda de partes do revestimento ou placas com arestas afiadas, admitindo-se, porém, fissurações, deformações das partes metálicas, passíveis de manutenção corretiva desde que sejam economicamente viáveis.</li> </ul>	Silva (2016);
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Em relação ao impacto de corpo duro, o revestimento deve suportar energia de impactos de 10 J no pavimento térreo e locais onde os objetos possam ser jogados, não podendo ocorrer a queda de nenhuma das partes do sistema de revestimento ou placas com arestas afiadas, admitindo-se, porém, fissuras na placa desde que seja possível a substituição.</li> </ul>	Silva (2016);

Fonte: (do autor)

Tanto os painéis cerâmicos quanto o isolamento em lã de rocha não favorecem a propagação das chamas ao longo da fachada, contudo são necessárias barreiras corta-fogo para impedir a propagação pela câmara de ar. Estas compartimentações devem ser horizontais, verticais e de requadros de esquadrias. Destaca-se que fachadas sem critérios de compartimentação podem entrar em colapso já na primeira hora de incêndio devido à fusão dos montantes em alumínio. O Quadro 27 aprofunda estas questões.

Quadro 27 - Parâmetros de projeto para proporcionar segurança ao fogo

O que se deve considerar em projeto para que o sistema tenha segurança ao fogo?	Autores
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Deve-se indicar o tempo de resistência ao fogo das paredes de vedação, o qual pode variar de 30 min, para as edificações baixas e sem concentração de público, a 120 min, para os edifícios altos e/ou aquelas com concentração de público (ver Quadro 10). Uma parede constituída por blocos cerâmicos com espessura de 13 cm (10 cm do bloco e 1,5 cm de reboco em cada lado), tem um tempo de resistência ao fogo de 2 h e, se a espessura for aumentada para 23 cm (20 cm bloco e 1,5 cm de reboco em cada lado), o tempo aumenta para 4 h;</li> </ul>	Brentano (2010); NBR 14432 (2001);
<ul style="list-style-type: none"> <li>• O projeto deve especificar a reação ao fogo dos componentes do revestimento não aderido. Em edifícios com altura inferior a 9 m, as classificações devem ser: C, s2, d0 para a subestrutura, C, s2, d0 para o revestimento, e D, s3, d0 para o isolante térmico. Em edifícios com altura entre 9 m e 28 m, a classificação deve ser única, ou seja, B, s2, d0 para subestrutura, revestimento e isolante térmico. Em edifícios com altura superior a 28 m, a classificação deve ser A2, s2, d0 para todos os componentes (ver Quadro 8). As lãs minerais têm classificação A2, s1, d0, as espumas de poliuretano, em geral, C, s3, d2 e as placas cerâmicas A1;</li> </ul>	RTSCIE (2008); Bobadilla (2007);



<ul style="list-style-type: none"> <li>• As barreiras corta-fogo devem ser em aço (ponto de fusão em torno de 1.500 °C) com espessura de 0,75 mm, apresentando resistência ao fogo de, no mínimo, 30 min;</li> </ul>	Scalzo (2016); Forero (2012); Machado (2012)
<ul style="list-style-type: none"> <li>• As barreiras corta-fogo horizontais, que interrompem a câmara de ar na altura dos pisos dos pavimentos, podem ser instaladas a cada 1, 2 ou 3 pavimentos, evitando a propagação das chamas. Suas posições podem coincidir com a das juntas de compressão (ver Quadro 11);</li> </ul>	Direito (2012); Forero (2012); CTE (2008);
<ul style="list-style-type: none"> <li>• As barreiras corta-fogo verticais, que compartimentam a fachada no sentido vertical, devem ser dispostas a cada 6 m umas das outras e a 2 m dos cantos do edifício, coincidindo com as juntas de expansão (ver Quadro 11);</li> </ul>	Direito (2012); Forero (2012); Martins (2009);
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Deve-se também prever barreiras corta-fogo no requadro das esquadrias, de modo a impedir a penetração das chamas na câmara de ar, principalmente na altura das vergas das janelas onde a pluma de fogo, ao sair do ambiente, tende a atingi-la com intensidade (ver Quadro 11).</li> </ul>	Direito (2012); Forero (2012); Martins (2009);

Fonte: (do autor)

O projeto deve prever juntas horizontais do tipo macho-fêmea em locais de clima chuvoso e, nas juntas verticais, proteção através de perfis de EPDM, de modo a vedá-las. Em relação à subestrutura, deve-se evitar o uso de perfis horizontais com secção transversal que favoreça o acúmulo de água. Compartimentações na câmara ajudam no equilíbrio de pressões entre o interior e o exterior, contribuindo com a estanqueidade. O Quadro 28 aborda essas questões.

Quadro 28 - Parâmetros de projeto para promover estanqueidade à água

O que se deve considerar em projeto para que o sistema seja estanque à água?	Autores
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Deve-se especificar, em locais com altos índices pluviométricos, juntas do tipo macho-fêmea, de modo a promover estanqueidade ao sistema de revestimento. Já nos locais de clima árido, podem ser usadas juntas abertas, pois, nesse caso, deseja-se a máxima ventilação da câmara de ar, seja para o resfriamento dessa, seja para promover a secagem da parede ou isolamento que eventualmente esteja umedecido;</li> </ul>	Recatalá (2017); Atem (2016); Medeiros <i>et al.</i> , (2014);
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Deve-se, sempre que possível, indicar sistemas com juntas verticais vedadas por perfis em EPDM, de modo a impedir a penetração de água por elas. A água, ao penetrar nas juntas verticais, escorre pelos montantes mantendo-os úmidos, o que favorece a corrosão dos componentes metálicos;</li> </ul>	Recatalá (2017); Silva (2012);
<ul style="list-style-type: none"> <li>• As compartimentações da câmara de ar devem ser projetadas para promover o equilíbrio de pressões entre o interior e o exterior dessa. O vento, ao penetrar pelas juntas, tende a preencher a câmara de ar até que a pressão interna se torne igual a externa, exercendo pressões em sentidos opostos. Dessa forma, a chuva dirigida não consegue entrar porque há uma força de igual intensidade repelindo-a para fora. As compartimentações (barreiras corta-fogo) podem ser em aço zincado com espessura de 0,75 mm;</li> </ul>	Scalzo (2016); Bobadilla (2007); Siqueira Júnior (2003);



<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sempre que possível, deve-se evitar a utilização de sistemas com perfis horizontais (guias), pois a água, ao se infiltrar pelas juntas, tende a escorrer pelo tardo da placa cerâmica e se alojar no referido perfil como se fosse uma calha, de modo a comprometer a durabilidade dos elementos metálicos;</li> </ul>	Recatalá (2017);
<ul style="list-style-type: none"> <li>• O projeto deve definir o perfil de arranque, o qual precisa ser perfurado para promover não somente a drenagem das águas que entram na câmara de ar pela ação da chuva dirigida, mas também a entrada de ar que permite a secagem do isolamento térmico ou da própria parede suporte, caso encontrem-se úmidos. No “projeto executivo” sugeriu-se um perfil em aço com espessura de 0,75 mm, no mesmo padrão das compartimentações;</li> </ul>	Recatalá (2017); Machado (2012); Siqueira Júnior (2003);
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Deve-se prever em projeto a impermeabilização da parede de vedação, que geralmente ocorre em cimento polimérico, de modo a evitar o seu umedecimento. Na junção da estrutura e as paredes devem ser aplicadas telas em poliéster para evitar a fissuração;</li> </ul>	Gail (2013);
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Estudos mostram que, em revestimentos com juntas abertas e câmaras de ar com largura de 10 cm, de toda a água que incide no revestimento (100%), 83,9% escorre pela superfície externa do painel; 15,6% adentram na câmara, porém perdem-se pela ação da gravidade; 0,4% atinge a camada de isolamento térmico; e apenas 0,1% infiltram no isolamento, o que é considerado baixo já que uma relação na ordem de 5% já garante estanqueidade ao sistema.</li> </ul>	UNI 11018 (2003); Siqueira Júnior (2003);

Fonte: (do autor)

A configuração do revestimento cerâmico não aderido em fachadas deve apresentar adequação ao clima local, de modo que a câmara de ar deve se estreita, com isolamento térmico e não ventilada em climas frios, enquanto nos locais de clima quente deve ser larga, sem isolamento e com ventilação. A cor e a massa do revestimento também influenciam no desempenho térmico da edificação, indicando-se cor escura e menor massa nos locais de clima frio e cor clara e maior espessura nos locais quentes. O Quadro 29 leva em consideração estes e outros quesitos relacionados ao desempenho térmico.

Quadro 29 - Parâmetros de projeto para desempenho térmico

O que se deve considerar em projeto para que o sistema promova desempenho térmico?	Autores
<ul style="list-style-type: none"> <li>• A cor do revestimento, apesar de não ser determinante, pode contribuir na eficiência energética do edifício. Assim, em locais de clima quente, deve-se especificar placas com cores claras, enquanto nos climas frios, indica-se cores escuras. Porém, em fachadas sem incidência solar pode-se adotar tanto revestimento claro quanto escuro;</li> </ul>	Atem (2016);
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Em locais de clima quente, indica-se revestimentos com maior massa (espessura), enquanto nos locais de clima frio deve-se especificar revestimentos com menor massa, de modo a manter a câmara de ar aquecida;</li> </ul>	Atem (2016);

<ul style="list-style-type: none"> <li>Em climas quentes, porém não chuvosos, deve-se adotar juntas abertas para aumentar o grau de ventilação da câmara, de modo a refrigerá-la. Em locais de clima frio, as juntas podem ser fechadas para manter o ar quente no interior da câmara, de modo a evitar a perda de calor dos ambientes internos, porém, nesse caso, a câmara deve ser estanque;</li> </ul>	Atem (2016);
<ul style="list-style-type: none"> <li>Em locais de clima frio, a câmara de ar deve ser estreita, em torno de 5 cm, enquanto nos locais de clima quente, deve-se especificar câmaras com maior largura, em torno de 15 cm;</li> </ul>	Atem (2016);
<ul style="list-style-type: none"> <li>Indica-se isolamento térmico apenas em locais de clima frio para impedir a perda de calor dos ambientes internos para o exterior. Nos locais de clima quente, o isolamento não deve ser especificado, pois tende a dificultar a dissipação do calor interno (gerado por pessoas e equipamentos) para o exterior, o que acaba promovendo um maior consumo de energia por refrigeração;</li> </ul>	Atem (2016);
<ul style="list-style-type: none"> <li>A especificação de paredes em alvenaria como base suporte promove inércia térmica ao sistema de revestimento, tornando a temperatura do ambiente estável, mesmo frente a mudanças bruscas;</li> </ul>	Atem (2016); Sousa (2010);
<ul style="list-style-type: none"> <li>Deve-se adotar as seguintes estratégias de projeto em locais de clima frios: revestimento escuro (absortância de 0,6); placas com menor massa (espessura); com a presença de isolante térmico com espessura de 5 cm; a câmara de ar deve ser não ventilada (fechada na base e topo); a largura útil da câmara deve ser de 5 cm (estreita); base suporte em alvenaria de blocos cerâmicos pela inércia térmica; e juntas entre os painéis fechadas;</li> </ul>	Atem (2016);
<ul style="list-style-type: none"> <li>Para os locais de clima quente, deve-se especificar o revestimento com a seguinte configuração: revestimento em cor clara (absortância de 0,2); placas com maior massa (espessura); sem isolamento térmico; câmara de ar deve ter a máxima ventilação e maior largura, em torno de 15 cm; parede de suporte em alvenaria de blocos cerâmicos pela inércia térmica; e juntas abertas entre os painéis;</li> </ul>	Atem (2016);
<ul style="list-style-type: none"> <li>Deve-se especificar sob os perfis de ancoragens bases em neoprene ou fibra de vidro para evitar a transferência de calor dos ambientes internos para o exterior por condução, fenômeno conhecido como “ponte térmica”.</li> </ul>	Machado (2012);

Fonte: (do autor)

Em relação ao desempenho acústico, a presença do isolamento e a massa da parede suporte são determinantes para a atenuação do ruído aéreo, entretanto nem sempre o isolamento deve ser utilizado. Outro ponto importante, é que, conforme autores, o tipo de junta, a largura de câmara e o seu grau de abertura não influenciam no desempenho acústico do sistema não aderido em fachadas, deixando o projetista livre para optar pela configuração que trará maiores vantagens em relação ao desempenho térmico e à estanqueidade. O Quadro 30 destaca as questões relacionadas ao desempenho acústico.

Quadro 30 - Parâmetros de projeto para desempenho acústico

O que se deve considerar em projeto para que o sistema promova desempenho acústico?	Autores
<ul style="list-style-type: none"> <li>Deve-se especificar, se também for conveniente ao desempenho térmico, uma camada de isolamento em materiais com propriedades absorventes, de modo a promover a atenuação do ruído aéreo. Nesse caso, recomenda-se a utilização de painéis em lã de rocha com densidade entre 30 e 60 kg/m<sup>3</sup> e espessura de 5 cm;</li> </ul>	Niampira Daza (2014);
<ul style="list-style-type: none"> <li>Estudos mostram que juntas fechadas, apesar de um pequeno aumento, apresentam resultados bastante similares ao revestimento com juntas abertas. Além disso, a largura da câmara, estreita e larga, e o seu grau de abertura não influenciam significativamente os índices de redução sonora;</li> </ul>	Niampira Daza; Zamora (2018) Niampira Daza (2014);
<ul style="list-style-type: none"> <li>A presença do isolamento e a massa da parede de vedação tendem a ser determinantes para o desempenho acústico. Porém, quando não for indicado o isolamento, como nos locais de clima quente, deve-se especificar blocos cerâmicos com maior massa (espessura de 14 ou 19 cm).</li> </ul>	Niampira Daza (2014);

Fonte: (do autor)

As definições de projeto devem criar mecanismos para impedir a ocorrência de corrosão bimetálica, isolando o contato entre metais incompatíveis, sobretudo na presença de umidade. Além disso, as placas cerâmicas devem apresentar baixa absorção de água, característica que exerce influência em outras propriedades, como resistência mecânica, ao gelo, química, ao impacto e ao choque térmico. O Quadro 31 aborda todas essas questões.

Quadro 31 - Parâmetros de projeto para alcançar durabilidade

O que se deve considerar em projeto para que o sistema tenha durabilidade?	Autores
<ul style="list-style-type: none"> <li>A vida útil de projeto (VUP), para revestimentos não aderidos, deve ser <math>\geq 20</math> anos para atender ao desempenho mínimo e <math>\geq 30</math> anos para atender ao desempenho superior;</li> </ul>	NBR 15575-4 (2013);
<ul style="list-style-type: none"> <li>Devem ser especificados, entre metais diferentes, componentes de isolamento, como arruelas de borracha (como o neoprene) e plásticos (como o <i>nylon</i>), de modo a evitar a ocorrência de corrosão bimetálica, sobretudo quando se tem a presença de água;</li> </ul>	Medeiros <i>et al.</i> , (2014); UNI 11018 (2003);
<ul style="list-style-type: none"> <li>Os perfis de alumínio devem ser compostos por ligas da série 6000 e devem receber tratamentos térmicos que lhes dão maior resistência mecânica, indicando-se, nesse caso, as temperaturas T5 ou T6;</li> </ul>	Machado (2012); Oliveira (2009);
<ul style="list-style-type: none"> <li>Os componentes em aço inoxidável (parafusos, chumbadores e cliques de fixação), devem ter classificação AISI 304, AISI 321, AISI 316, AISI 316L e AISI 316 Ti, sendo que a escolha por um tipo ou outro depende da classe de agressividade ambiental, a qual divide-se em rural, urbana, industrial ou marítima (ver Quadro 22);</li> </ul>	UNI 11018 (2003);

<ul style="list-style-type: none"> <li>• A camada de anodização dos perfis em alumínio devem ter entre 11 e 15 <math>\mu\text{m}</math> para uso em áreas urbanas e rurais, 16 a 20 <math>\mu\text{m}</math> para edifícios em área litorânea sujeitos à névoa salina e de 21 a 25 <math>\mu\text{m}</math> em ambientes industriais ou marinhos;</li> </ul>	NBR 12609 (2017);
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Os componentes em aço zincado por imersão à quente (barreiras corta-fogo, perfis de arranque, coroação e de requadro de esquadrias), devem ser especificados com massa mínima de 275 <math>\text{g}/\text{m}^2</math>, porém em ambientes marinhos devem ter 350 <math>\text{g}/\text{m}^2</math>;</li> </ul>	NBR 15253 (2014); Oliveira (2009);
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Os porcelanatos, pertencentes ao grupo Bla, devem apresentar absorção de água <math>\leq 0,5\%</math>, módulo de resistência à flexão <math>\geq 35 \text{ N}/\text{mm}^2</math> e carga de ruptura <math>\geq 1300 \text{ N}</math>;</li> </ul>	NBR 13818 (1997);
<ul style="list-style-type: none"> <li>• As tolerâncias dimensionais para o grupo Bla (porcelanatos) deve ficar limitadas aos seguintes valores: <math>\pm 5\%</math> para desvio de espessura; <math>\pm 0,5\%</math> para desvio de retitude dos lados; <math>\pm 0,6\%</math> para desvio de ortogonalidade; <math>\pm 0,5\%</math> para desvio de curvatura central; <math>\pm 0,5\%</math> para desvio de curvatura lateral; e <math>\pm 0,5\%</math> para desvio de empeno;</li> </ul>	NBR 13818 (1997);
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Os painéis cerâmicos extrudados pertencentes ao grupo Al devem apresentar absorção de água <math>\leq 3\%</math>, módulo de resistência à flexão <math>\geq 23 \text{ N}/\text{mm}^2</math> e carga de ruptura <math>\geq 1100 \text{ N}</math>;</li> </ul>	NBR 13818 (1997);
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Os painéis pertencentes ao grupo Alla deve apresentar absorção de água entre 3% e 6%, módulo de resistência à flexão <math>\geq 20 \text{ N}/\text{mm}^2</math> e carga de ruptura <math>\geq 950 \text{ N}</math>;</li> </ul>	NBR 13818 (1997);
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Quanto às tolerâncias dimensionais, os grupos Al e Alla devem limitar seus desvios aos seguintes valores: <math>\pm 10\%</math> para desvio de espessura; <math>\pm 0,5\%</math> para desvio de retitude dos lados; <math>\pm 1\%</math> para desvio de ortogonalidade; <math>\pm 0,5\%</math> para desvio de curvatura central; <math>\pm 0,5\%</math> para desvio de curvatura lateral; <math>\pm 0,8\%</math> para desvio de empeno;</li> </ul>	NBR 13818 (1997);
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Os painéis cerâmicos devem apresentar: resistência a ataques químicos elevada ou média; resistência ao manchamento de 4 a 5 e expansão por umidade <math>\leq 0,6 \text{ mm}/\text{m}</math>, assim como devem “resistir” ao congelamento, ao choque térmico e “não gretar”;</li> </ul>	Baía; Campante (2008); NBR 13818 (1997);
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sugere-se que os painéis cerâmicos a serem usados em fachadas devem ter absorção de água entre 0% e 3% para os locais sujeitos a neve e entre 0% e 10% para outras regiões.</li> </ul>	Baía; Campante (2008);

Fonte: (do autor)

#### 4.2 Definição dos documentos gráficos e descritivos nas etapas de projeto

O desenvolvimento do projeto deve ser realizado em fases sequenciais, de modo que, no início, tem-se inúmeras possibilidades e, na medida em que as etapas avançam, essas vão sendo substituídas pelo detalhamento das decisões que, gradativamente, vão sendo tomadas. Assim, o projeto é constituído por documentos gráficos e descritivos que tem por objetivo a montagem adequada do sistema. O

projeto, como já visto, tem importante papel no processo de construção, desde que apresente informações em quantidade e qualidade suficiente.

Quadro 32 - Documentos a serem apresentados em diferentes fases do projeto

Estudo preliminar	Documentos
Listar os requisitos estabelecidos para a fachada no programa de necessidades, como, segurança estrutural, ao fogo, estanqueidade, desempenho térmico, acústico, durabilidade e manutenibilidade;	Planilha descritiva;
Apresentar, por meio de elevações, a proposta arquitetônica preliminar, com a paginação dos painéis de revestimento;	Elevações em escala 1:100;
Analisar a proposta arquitetônica preliminar com base nos requisitos do programa de necessidades, para selecionar o sistema de revestimento não aderido mais adequado ao edifício.	Memorial justificativo.
Anteprojeto	Documentos
Definir o sistema de revestimento não aderido e desenvolver um pré-dimensionamento para que se possa entender a configuração mais adequada, relacionando o afastamento entre montantes e as dimensões e espessura das placas cerâmicas com as pressões de vento incidentes;	Memorial justificativo;
Elaborar uma lista com as principais interfaces entre o revestimento e outros subsistemas como: esquadrias, paredes externas de vedação, estrutura, cobertura, entre outros;	Planilha descritiva;
Definir os requisitos e critérios de desempenho a serem atendidos pela fachada, bem como descrever as características dos principais componentes do sistema de revestimento não aderido;	Memorial descritivo;
Apresentar os anteprojetos gráficos, identificando os componentes a serem usados, a modulação adotada e os detalhes construtivos preliminares;	Elevações e detalhes em 1:100 e 1:10.
Projeto executivo	Documentos
Confrontar o projeto com as normas e legislações pertinentes, listando sobretudo aquelas que regulam as condições de salubridade e de segurança da edificação.	Planilha descritiva;
Estabelecer as tolerâncias geométricas de fabricação e de montagem dos componentes do revestimento não aderido, definindo os limites aceitáveis;	Memorial descritivo;
Descrever os procedimentos de manutenção para o sistema de revestimento escolhido, indicando os equipamentos a serem usados para limpar as placas ou substituir componentes, bem como as condições de acesso para a inspeção;	Memorial descritivo;
Compatibilizar as interfaces do sistema com outros subsistemas da edificação, de modo a encontrar soluções técnicas para a sua resolução;	Memorial descritivo;
Apresentar os projetos gráficos, com informações em quantidade e qualidade suficiente para que possam servir de referência na obra, bem como escala adequada para apresentação do sistema de revestimento;	Elevações e detalhes em 1:50 e 1:5;
Elaborar um caderno técnico informando os requisitos e critérios de desempenho adotados, os critérios de conformidade dos componentes que compõem o sistema de revestimento não aderido, a descrição das características construtivas dos elementos de fachada e os critérios para recebimento da fachada após a sua montagem, indicando limites para tolerâncias geométricas, diferenças de tonalidade das placas, etc.;	Caderno de prescrições técnicas;

Apresentar o memorial de cálculo do dimensionamento do sistema de revestimento não aderido, bem como seus componentes;	Memorial de cálculo;
Desenvolver o projeto do canteiro de obras, com local para estocagem dos componentes, acessos, equipamentos de transporte e ferramentas a serem usadas, as rotas de circulação interna, os critérios para recebimento do revestimento não aderido e seus componentes, entre outros.	Plantas, situação e memorial descritivo;

Fonte: (adaptado de OLIVEIRA, 2009)

#### 4.3 Apresentação e análise dos documentos gráficos do projeto executivo

Por meio de elevações e detalhes construtivos, o projeto executivo de revestimento cerâmico não aderido em fachadas foi desenvolvido com o intuito de demonstrar como esse sistema pode ser representado nesta etapa. Assim, os principais documentos gráficos a serem apresentados neste capítulo são:

- Elevação 1 - Paginação do revestimento;
- Elevação 2 - Disposição dos montantes e cliques;
- Elevação 3 - Locação dos perfis de ancoragem;
- Elevação 4 - Barreiras corta-fogo;
- Detalhe construtivo 1 - Junta vertical;
- Detalhe construtivo 2 - Junta horizontal;
- Detalhe construtivo 3 - Canto externo;
- Detalhe construtivo 4 - Canto interno;
- Detalhe construtivo 5 - Perfil de arranque;
- Detalhe construtivo 6 - Perfil de coroação;
- Detalhe construtivo 7 - Peitoril da janela;
- Detalhe construtivo 8 - Verga da janela;
- Detalhe construtivo 9 - Lateral da janela;
- Detalhe construtivo 10 - Barreira corta-fogo horizontal;
- Detalhe construtivo 11 - Barreira corta-fogo vertical;
- Detalhe construtivo 12 - Junta estrutural.

O sistema de revestimento escolhido para esse projeto executivo é formado por painéis cerâmicos extrudados, afastados da parede suporte através de subestrutura metálica que forma, entre os paramentos de revestimento e de vedação (parede em blocos cerâmicos), uma câmara de ar em movimento que é parcialmente

preenchida por painéis de isolamento térmico. De uma forma mais detalhada, descreve-se todos componentes especificados:

- Painéis de revestimento: foram adotados painéis cerâmicos extrudados com dimensões de 90 x 30 cm, espessura de 3 cm, junta do tipo macho-fêmea, cor clara (absortância de 0,2), esmaltados (lisos) e pertencentes ao grupo Alla, o qual tem as seguintes propriedades: absorção de água entre 3% e 6%, módulo de resistência à flexão  $\geq 20$  N/mm<sup>2</sup>, carga de ruptura  $\geq 950$  N, resistência a ataques químicos elevada ou média, resistência ao manchamento de 4 a 5 e expansão por umidade  $\leq 0,6$  mm/m, devem “resistir” ao congelamento, ao choque térmico e “não podem gretar”. Além disso, seus desvios dimensionais devem ficar limitados aos seguintes valores:  $\pm 10\%$  para desvio de espessura;  $\pm 0,5\%$  para desvio de retitude dos lados;  $\pm 1\%$  para desvio de ortogonalidade;  $\pm 0,5\%$  para desvio de curvatura central;  $\pm 0,5\%$  para desvio de curvatura lateral;  $\pm 0,8\%$  para desvio de empeno.

- Subestrutura metálica: os cliques de fixação das placas são em aço inoxidável AISI 304 com espessura de 1,5 mm, os quais são fixados aos montantes através de parafusos autobrocantes em aço inoxidável AISI 430 do tipo cabeça plana com diâmetro de 4,2 mm. Os montantes são em perfis T em alumínio extrudado 6060 T5 com espessura de 2 mm e dimensões de 10 cm, tanto para mesa quanto para a alma do perfil. Os montantes são fixados aos perfis de ancoragem por meio de parafusos autobrocantes em aço inoxidável AISI 304 do tipo cabeça hexagonal com diâmetro de 5,5 mm. Os perfis de ancoragem foram especificados em alumínio 6060 T5 com dimensões de 10 cm de largura e comprimento, 2 mm de espessura e 10 e 20 cm de altura para os perfis de sustentação e retenção, respectivamente. Os perfis de retenção são fixados às paredes de alvenaria através de parafusos em aço inoxidável com diâmetro de 6,3 mm e buchas de expansão em *nylon* de 8 mm, já os perfis de sustentação são instalados aos elementos de concreto por meio de chumbadores de expansão em aço inoxidável com diâmetro de 6,3 mm.

- Isolamento térmico e base suporte: rente à parede suporte, foi previsto uma camada de isolamento térmico em painéis em lã de rocha com densidade entre 30 e 60 kg/m<sup>3</sup> e espessura de 5 cm. Para a base suporte foi previsto uma estrutura em concreto armado e paredes de vedação em blocos cerâmicos com espessura de 14 cm impermeabilizada, na sua face externa, por duas demãos em cimento polimérico.

As definições gerais do projeto executivo, bem como o passo a passo para o seu desenvolvimento, são listadas no Quadro 33.



Quadro 33 - Definições gerais do projeto executivo

Passo a passo geral para o projeto executivo		
Nº	Descrição	Principais definições
1	Elevação 1: Paginação do revestimento	Cor, rugosidade, tipo e dimensões das placas cerâmicas; tipos de juntas entre as placas; perfis de acabamento;
2	Elevação 2: Disposição dos montantes e cliques;	Disposição dos montantes e cliques com seus respectivos afastamentos e especificações; junta entre montantes;
3	Elevação 3: locação dos perfis de ancoragem	Posicionamento das ancoragens de sustentação e retenção, com seus respectivos afastamentos e especificações;
4	Elevação 4: barreiras corta-fogo	Disposição das barreiras corta-fogo verticais e horizontais com seus respectivos afastamentos e especificações;
5	Detalhe construtivo 1: junta vertical	Dispositivos de vedação das juntas verticais; camadas do sistema; ligações aparafusadas; tipo de impermeabilização;
6	Detalhe construtivo 2: junta horizontal	Tipo de junta horizontal; especificação de cliques, ancoragens, parafusos e chumbadores; diferença entre tipos de ancoragens;
7	Detalhe construtivo 3: canto externo	Dimensionamento da subestrutura para atender aos esforços de vento; barreira corta-fogo para evitar propagação das chamas;
8	Detalhe construtivo 4: canto interno	Especificação de perfis de acabamento nos cantos da edificação; descidas de tubulações; indicação das camadas de revestimento;
9	Detalhe construtivo 5: perfil de arranque	Especificação do perfil de arranque para que promova ventilação de drenagem, bem como seu tratamento anticorrosivo;
10	Detalhe construtivo 6: perfil de coroação	Especificação das chapas de estruturação e revestimento; inclinação para escoamento de água; saída do ar quente;
11	Detalhe construtivo 7: peitoril da janela	Resolução da interface entre revestimento e peitoril das janelas; especificação pingadeira: inclinação e tratamento anticorrosivo;
12	Detalhe construtivo 8: verga da janela	Especificação das vergas metálicas das esquadrias resistentes ao fogo e com furos para a drenagem;
13	Detalhe construtivo 9: lateral da janela	Resolução da interface entre a lateral da esquadria e o revestimento. Indicação do isolamento conforme o clima local;
14	Detalhe construtivo 10: barreira corta-fogo horiz.	Especificação do material que constitui a barreira corta fogo horizontal; juntas de compressão da altura dos pisos;
15	Detalhe construtivo 11: barreira corta-fogo vert.	Especificação do material que constitui a barreira corta fogo vertical; Compartimentação da câmara para estanqueidade;
16	Detalhe construtivo 12: junta estrutural	Compatibilização das juntas estruturais do revestimento com as de dilatação da estrutura de concreto armado.

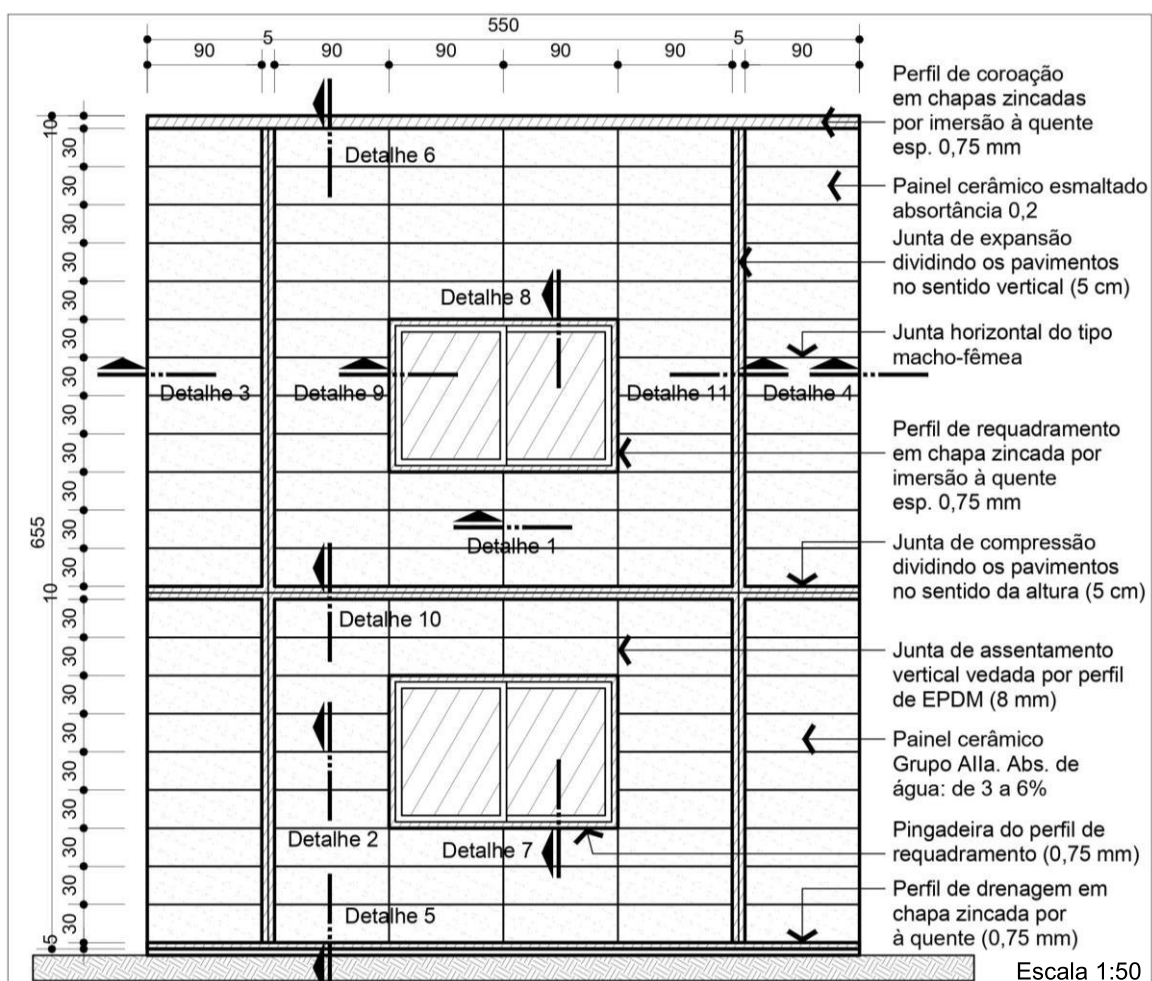
Fonte: (do autor)

Na elevação 1 (paginação do revestimento), deve-se apresentar informações como a cor, rugosidade e tipo de placa cerâmica a ser utilizada quanto ao seu grupo de classificação. Deve-se definir as dimensões dos painéis, adotando-se, sempre que possível, dimensões de fabricação, de modo a evitar o uso de placas em tamanhos personalizados ou recortes em obra que sempre oneram o sistema, sobretudo no segundo caso devido ao desperdício de materiais e de tempo de mão de obra. Além disso, as dimensões das esquadrias devem ser compatibilizadas com as dimensões dos painéis cerâmicos. Deve-se indicar também a largura das juntas entre os painéis cerâmicos, as quais permitem a livre movimentação do revestimento



e eventuais acomodações da estrutura (pequenas acomodações), podendo essas serem: estruturais, de mesma largura e posição das juntas de movimentação do edifício; de compressão, localizadas entre os pavimentos apresentando largura mínima de 1,5 cm; de expansão, a qual divide verticalmente a fachada e deve ter largura mínima de 1 cm; e de assentamento, entre todos os painéis cerâmicos. Todos os perfis de acabamento, como arranque, coroação e de requadro das esquadrias devem ser indicados na paginação do revestimento (FIGURA 26).

Figura 26 - Elevação 1 (paginação do revestimento)

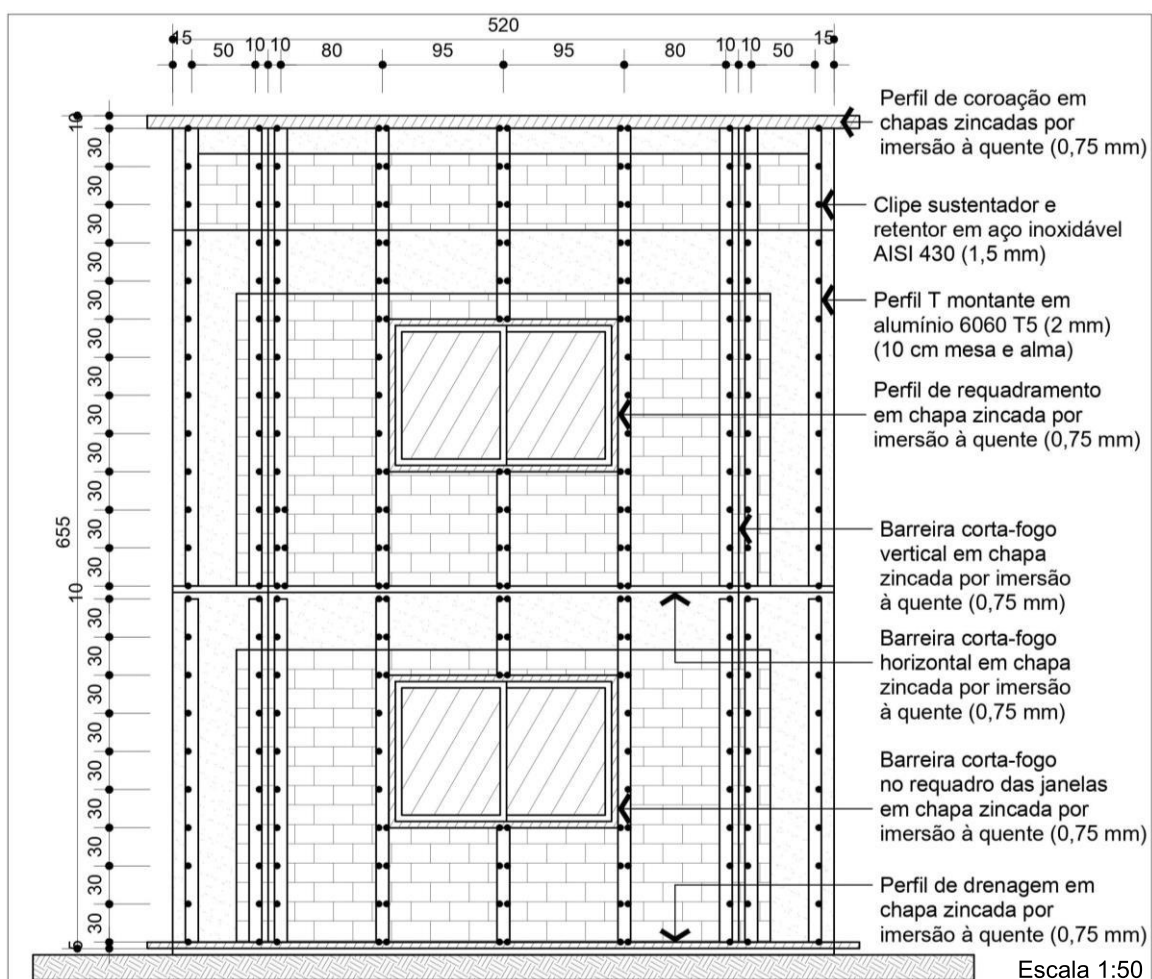


Fonte: (do autor)

Na elevação 2, disposição dos montantes e cliques, os montantes devem ser posicionados na fachada com seus respectivos afastamentos, seja entre montantes consecutivos, seja entre esses e os cantos do edifício. A distância entre montantes geralmente é definida pela largura dos painéis, no entanto, em alguns casos, como nos cantos do edifício ou em áreas próximas às esquadrias, podem ser menores. Os afastamentos entre os cliques também devem ser indicados nessa elevação, os quais

sempre são definidos pela altura dos painéis cerâmicos. Deve-se ainda prever uma junta entre os montantes de andares consecutivos para permitir a sua movimentação pela variação de temperatura, sugerindo-se que esses fiquem limitados a apenas um único pavimento. Deve-se especificar os metais que constituem esses elementos, com suas classificações, tratamentos e secções transversais, além de indicações sobre os perfis de acabamento e barreiras corta-fogo, as quais são necessárias para evitar a propagação das chamas pela câmara de ar (FIGURA 27).

Figura 27 - Elevação 2 (disposição dos montantes e cliques)

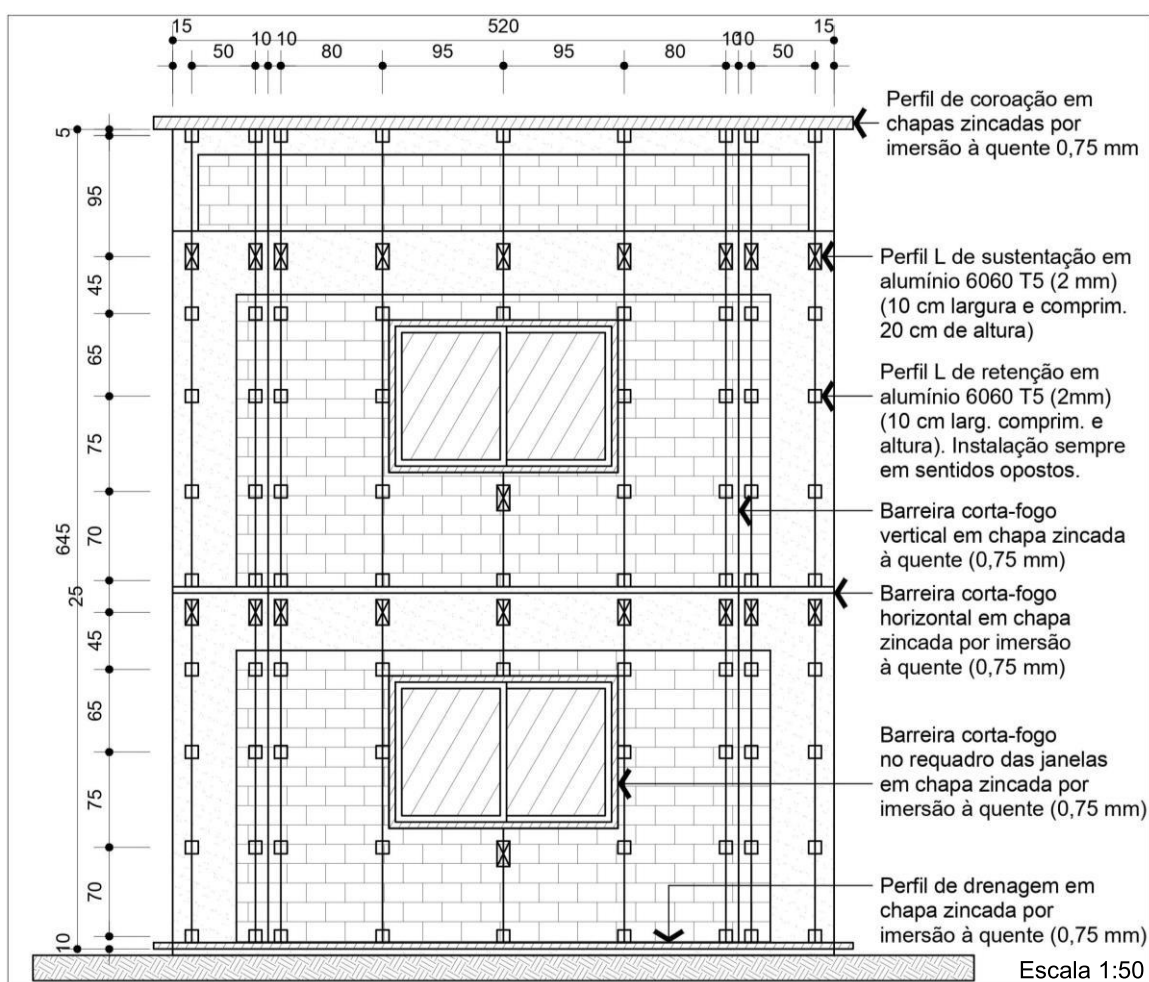


Fonte: (do autor)

A elevação 3, locação dos perfis de ancoragem, deve indicar os pontos para a instalação das ancoragens (sustentação ou retenção), indicando, no sentido da altura e da largura do edifício, os afastamentos entre os perfis consecutivos. As ancoragens de sustentação são perfis L fixados aos elementos estruturais, os quais suportam tanto o peso próprio do revestimento quanto as cargas de vento. Esses perfis sustentam os montantes por apenas uma das extremidades, geralmente a

superior, constituindo os chamados “pontos fixos”, os quais não permitem dilatação dos montantes. Já as ancoragens de retenção são perfis L fixados na alvenaria em 3 ou 4 pontos ao longo dos montantes, apoiando-os de forma distribuída para que não se deformem com a incidência de vento, provocando a ruptura do metal por fadiga (movimentos repetitivos). Esses constituem os “pontos deslizantes”, pois seus furos oblongos permitem a dilatação dos montantes. Informa-se ainda que ancoragens consecutivas devem ser sempre instaladas em sentidos opostos, de modo a travar o montante (contraventá-lo), sobretudo em rajadas de vento laterais. Deve-se especificar os metais, com suas dimensões e secções transversais (FIGURA 28).

Figura 28 - Elevação 3 (locação dos perfis de ancoragem)



Fonte: (do autor)

Na elevação 4, barreiras corta-fogo, deve-se indicar a posição das barreiras que promovem a compartimentação da câmara de ar em verticais e horizontais. Como já visto, a compartimentação pode ser benéfica à estanqueidade, já que promove a equalização de pressões entre o interior e exterior da câmara que impede

a entrada de água que ocorre pela incidência de chuva dirigida. Assim, quando na vertical, as barreiras de compartimentação são indicadas a cada 6 m umas das outras e a 2 m dos cantos da edificação, enquanto na horizontal, são indicadas em todos os pavimentos, podendo, nos dois casos, serem instaladas em posições que coincidam com as juntas de compressão e de expansão. Por outro lado, o uso de barreiras de compartimentação é indicado principalmente para impedir a propagação das chamas pelo interior da câmara, indicando-se sua instalação a cada 1, 2 ou 3 andares e nos cantos da edificação, de modo impedir a chegada de fumaça aos andares superiores e a fachadas adjacentes. Para que as orientações acima sejam atendidas, sugere-se que as juntas de compressão e expansão coincidam com a posição das barreiras, evitando-se não somente a entrada de água à câmara, mas a propagação de fumaça, além de permitir a correta movimentação do revestimento (FIGURA 29). Neste caso, como o comprimento dos painéis de revestimento é 90 cm, adotou-se um afastamento multimódulo de 5,40 m entre barreiras verticais na mesma fachada e de 1,80 m entre os cantos da edificação e a barreira corta-fogo.

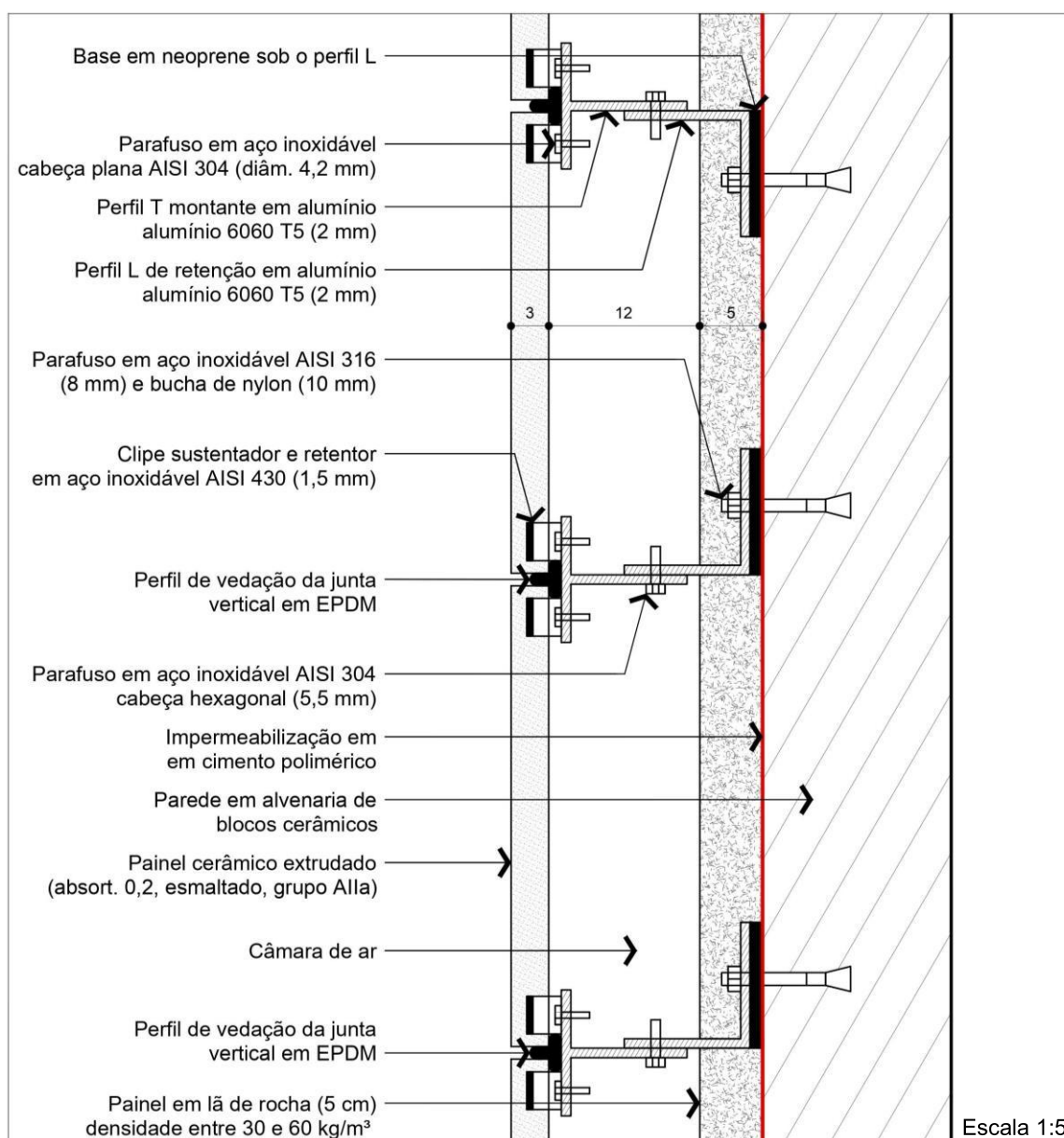
Figura 29 - Elevação 4 (barreiras corta-fogo)



Fonte: (do autor)

No detalhe construtivo 1, juntas verticais, deve-se indicar o dispositivo para a vedação das juntas, de modo a evitar a infiltração de água quando da incidência de chuva dirigida. Além disso, deve-se mostrar todas as camadas que compõem o sistema, com suas respectivas espessuras. Deve-se indicar os perfis que compõem a subestrutura, bem como ligações aparafusadas que os conectam, especificando materiais, secções transversais dos perfis e diâmetros dos parafusos e buchas. Deve-se indicar o sistema de impermeabilização adotado na base, de modo a evitar seu umedecimento devido a respingos de água, além de bases em material isolante sob as ancoragens para evitar a ocorrência de pontes térmicas (FIGURA 30).

Figura 30 - Detalhe construtivo 1 (junta vertical)

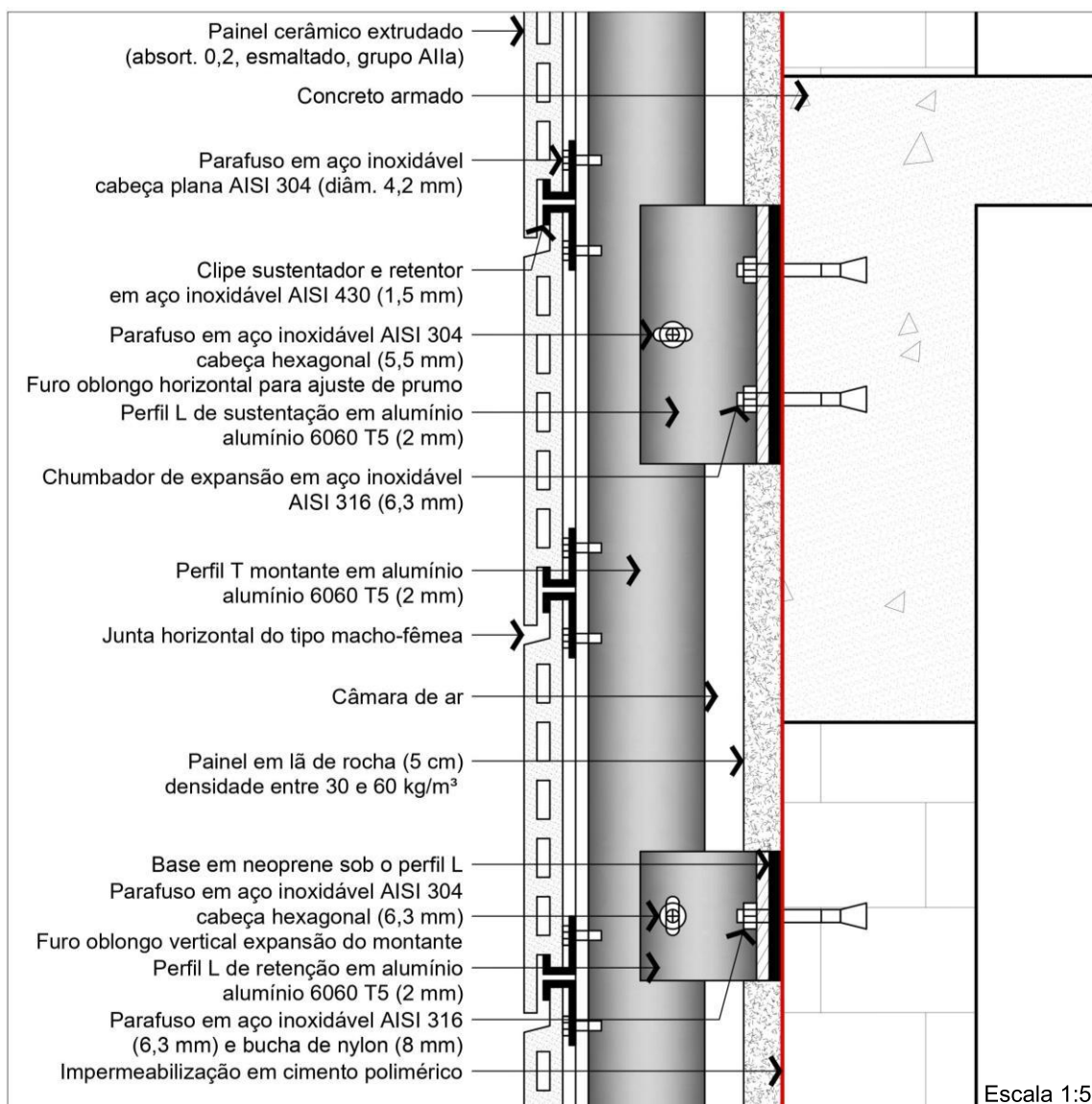


Fonte: (do autor)



No detalhe construtivo 2, junta horizontal, deve-se mostrar qual o tipo de junta adotado, recomendando-se que em locais de clima chuvoso sejam do tipo macho-fêmea, enquanto em regiões áridas sejam abertas para que promovam a máxima ventilação da câmara. Além disso deve-se especificar todos os componentes do sistema, indicando materiais, espessuras dos painéis e perfis, e diâmetros de todas as fixações. Deve-se destacar a diferença entre cliques que sustentam as placas, na borda inferior, e retentores, que evitam seu tombamento, além da diferença entre os perfis de ancoragem de sustentação (fixadas às vigas com furos oblongos horizontais para ajuste de prumo do montante) e de retenção, (com furos oblongos verticais para permitir a dilatação dos montantes) (FIGURA 31).

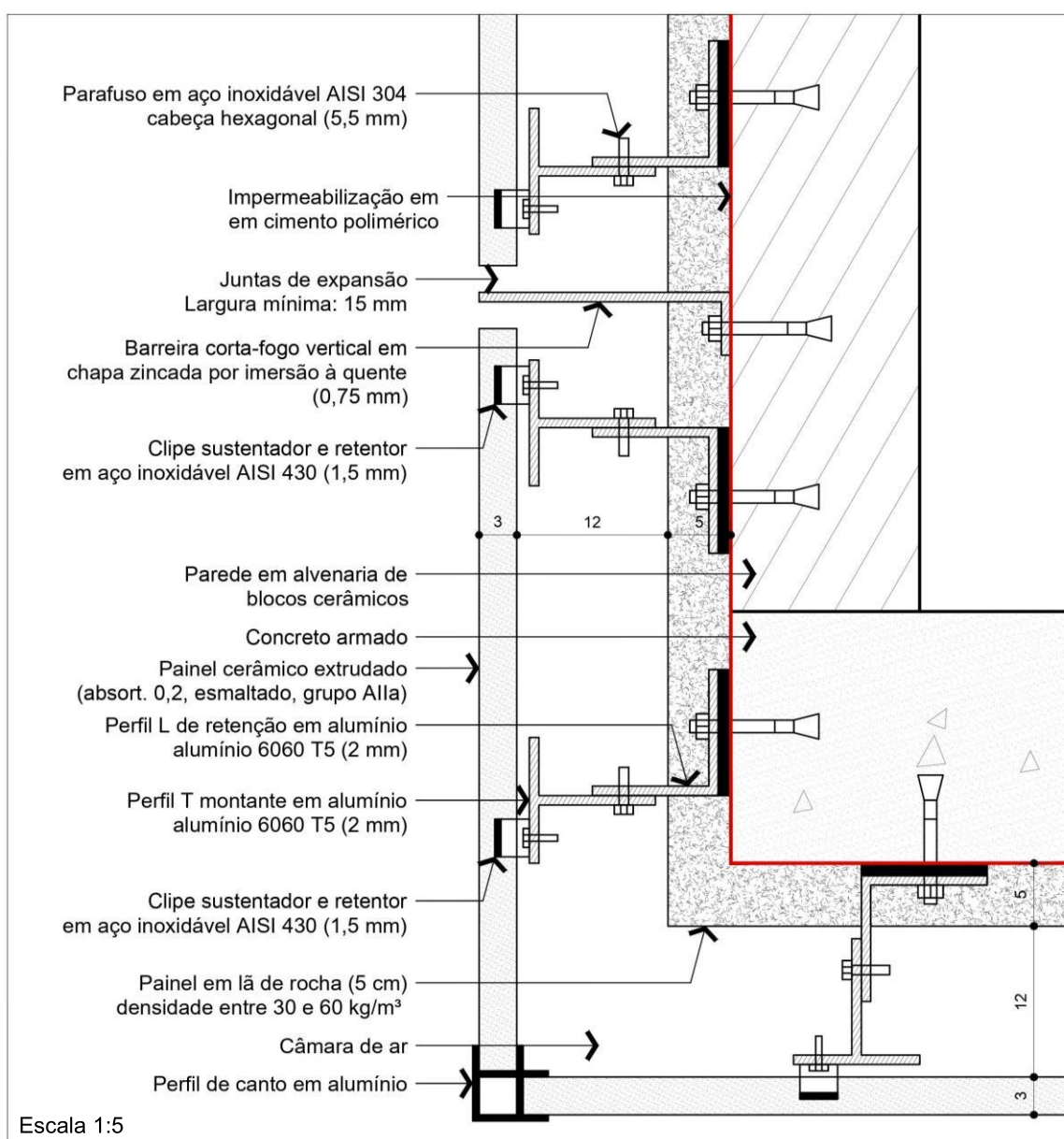
Figura 31 - Detalhe construtivo 2 (junta horizontal)



Fonte: (do autor)

No detalhe construtivo 3, canto externo, deve-se especificar perfis de ancoragem, montantes e fixações adequados às solicitações de vento que tendem a ser maiores nessa região da fachada. Já os chumbadores, devem ficar afastados das bordas do pilar para não o romper durante o aparafusamento. A compartimentação (barreira corta-fogo) deve estar presente nessa região, para evitar a infiltração de água decorrente de chuvas dirigidas, pela equalização das pressões, além da propagação das chamas ou fumaça para a fachada lateral. Caso seja necessário, pode-se também prever descidas de águas pluviais no interior da câmara de ar, as quais geralmente localizam-se nos cantos do edifício (FIGURA 32).

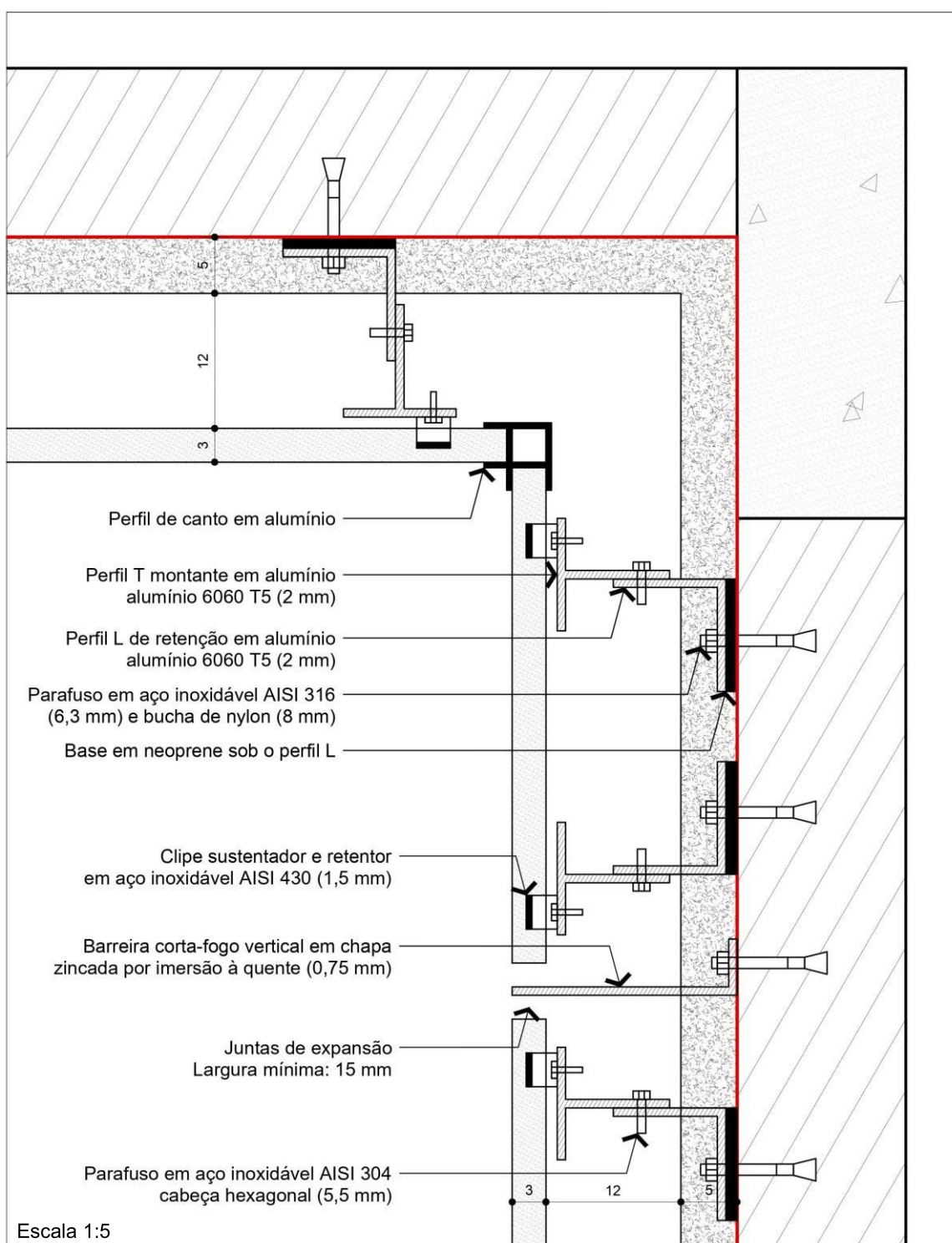
Figura 32 - Detalhe construtivo 3 (canto externo)



Fonte: (do autor)

As mesmas observações do detalhe 3 estendem-se ao 4, canto interno, bem como a utilização de perfis de acabamento em alumínio, ou placas cerâmicas, com bordas chanfradas em 45°, nos cantos do edifício. Além disso, deve-se indicar, nas duas fachadas, as camadas de revestimento com suas espessuras (FIGURA 33).

Figura 33 - Detalhe construtivo 4 (canto interno)

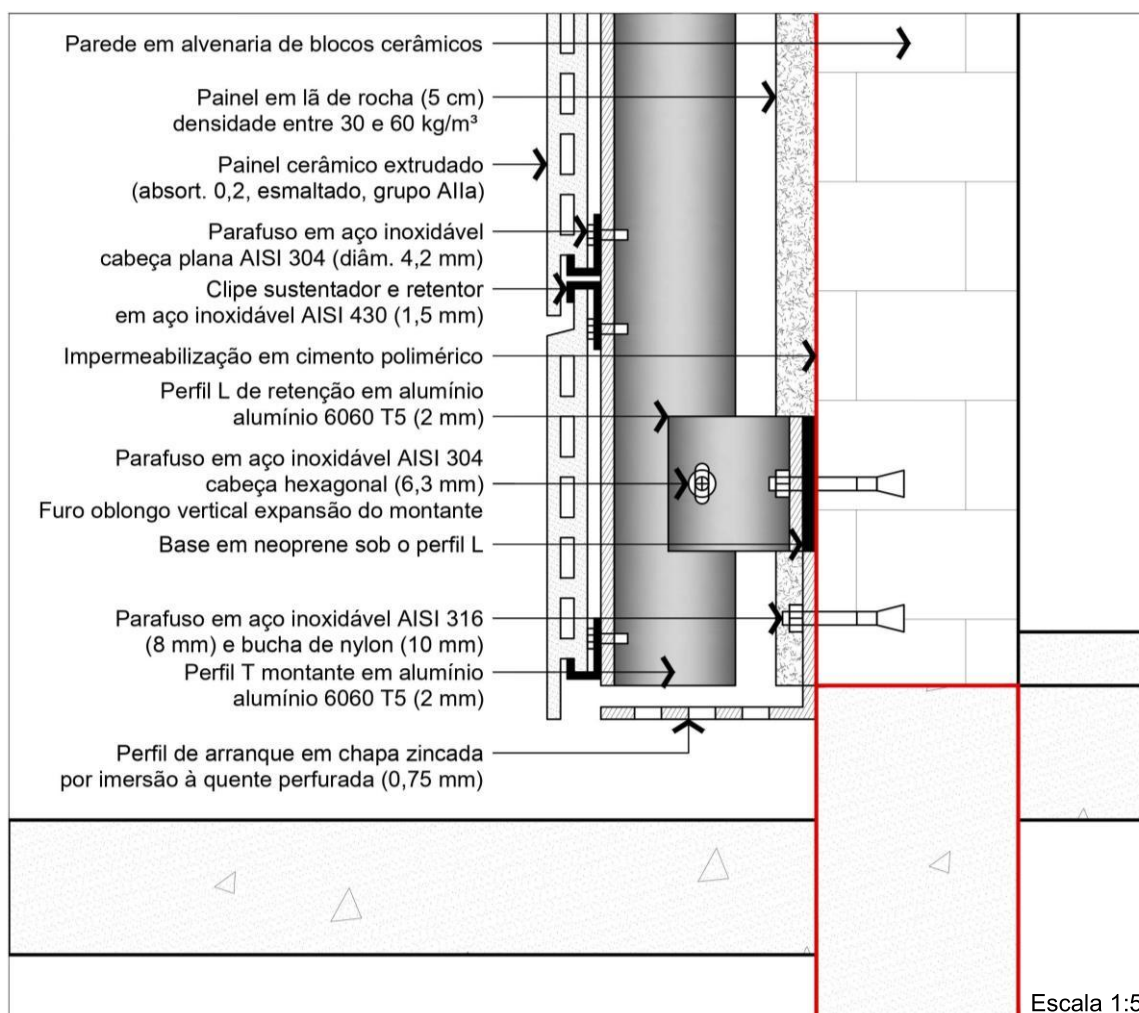


Fonte: (do autor)



No detalhe construtivo 5, perfil de arranque, deve-se indicar, ao nível térreo, as características do perfil de arranque, o qual trata-se de uma chapa perfurada em aço que tem as seguintes funções: promover a drenagem da água que entra na câmara em dias de chuvas com ventos fortes, permitir a entrada de ar frio no interior da câmara, de modo a diminuir sua temperatura pela renovação de ar, e impedir a entrada de corpos estranhos ao seu interior (insetos, animais, etc.). Além de furos para a drenagem, esse componente precisa ter tratamentos que evite a sua corrosão ao longo do tempo, já que a água, por gravidade, tende a se alojar na base da fachada, deixando os componentes molhados, o que acaba favorecendo não somente a corrosão eletroquímica, mas a corrosão bimetálica (FIGURA 34).

Figura 34 - Detalhe construtivo 5 (perfil de arranque)

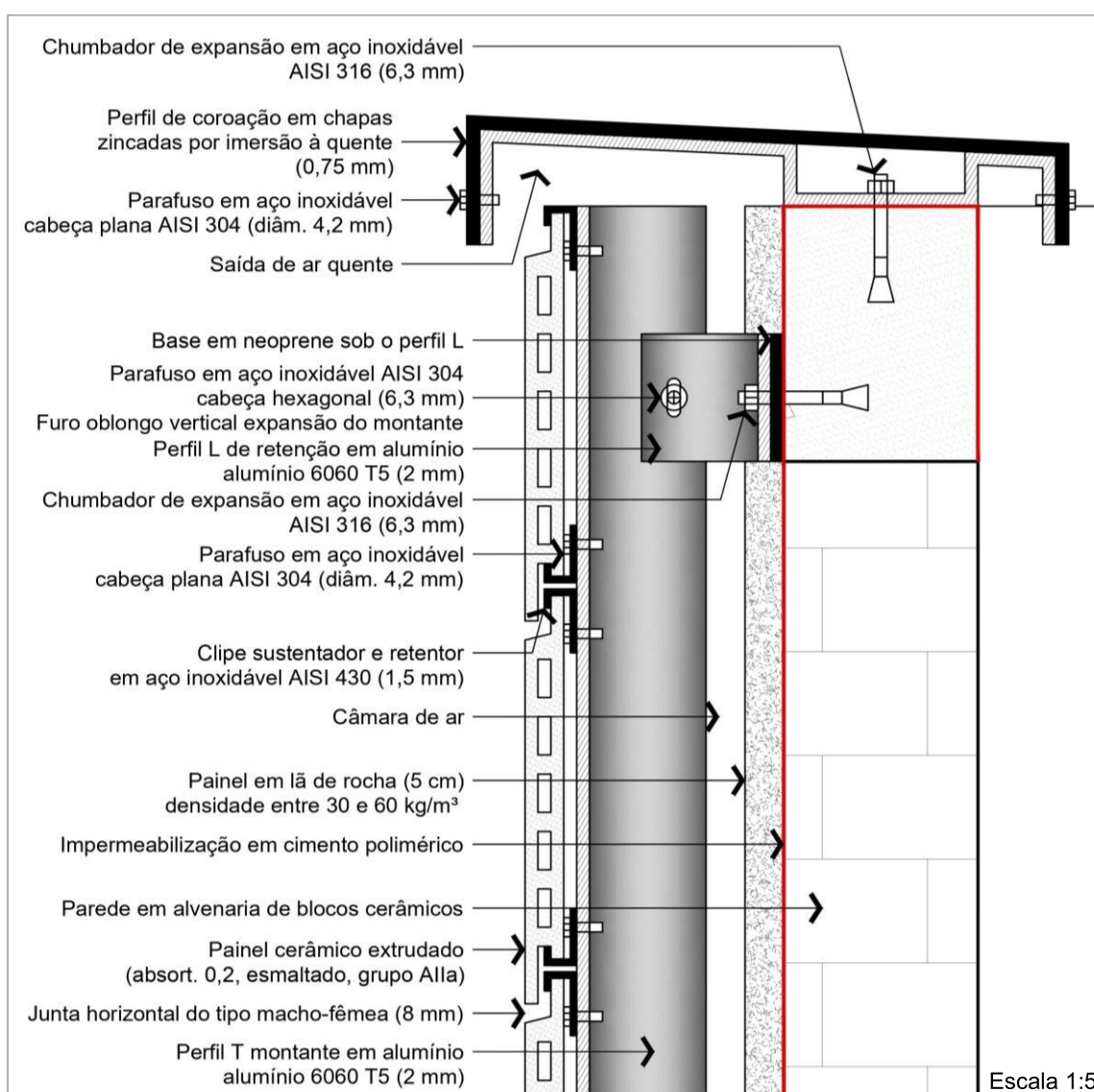


Fonte: (do autor)

No detalhe construtivo 6, perfil de coroação, deve-se especificar esse perfil, o qual tem as seguintes funções: impedir a entrada de água na câmara e permitir a

saída do ar quente acumulado no seu interior pelo “efeito chaminé”. Geralmente, constitui-se de duas chapas de aço, sendo uma de estruturação, que é fixada ao topo da platibanda por chumbadores, e outra de revestimento, instalada por cima da anterior, cuja fixação ocorre por meio de parafusos fixados nas laterais do perfil e nunca por cima, para evitar a infiltração de água pelo furo do parafuso. O perfil de coroação deve apresentar tratamento contra a corrosão devido ao seu grau de exposição ao meio externo e deve ter inclinação para evitar o acúmulo de água na sua face superior, condição que pode acelerar a sua degradação (FIGURA 35).

Figura 35 - Detalhe construtivo 6 (perfil de coroação)

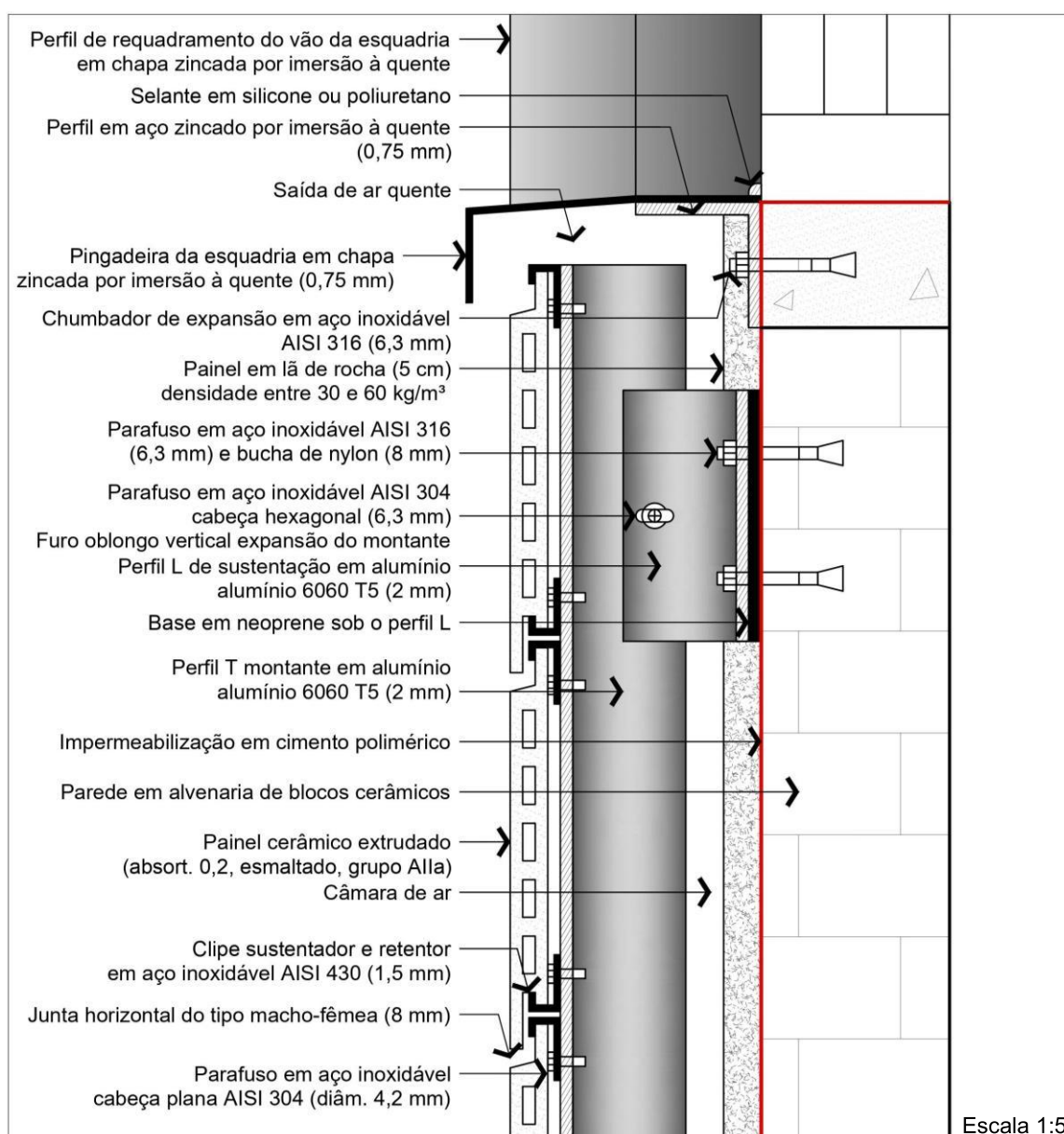


Fonte: (do autor)

No detalhe construtivo 7, peitoril da janela, deve-se indicar os componentes que promovem a resolução da interface entre o revestimento e a esquadria. A

pingadeira metálica deve ter tratamento anticorrosivo, bem como inclinação que promova o escoamento da água da chuva para o exterior, pois, caso venha a ficar acumulada, pode ocorrer infiltração nesse ponto, causando a degradação dos materiais no interior da câmara. Além disso, a pingadeira deve ficar afastada da borda superior do revestimento para permitir a saída do ar quente pelo efeito chaminé. Para tanto, deve-se instalar, sob a pingadeira, uma cantoneira metálica de suporte, a qual deve ser presa ao concreto da contra-verga por meio de chumbadores. A borda da pingadeira deve transpassar a borda superior do revestimento para que a chuva dirigida não penetre na câmara (FIGURA 36).

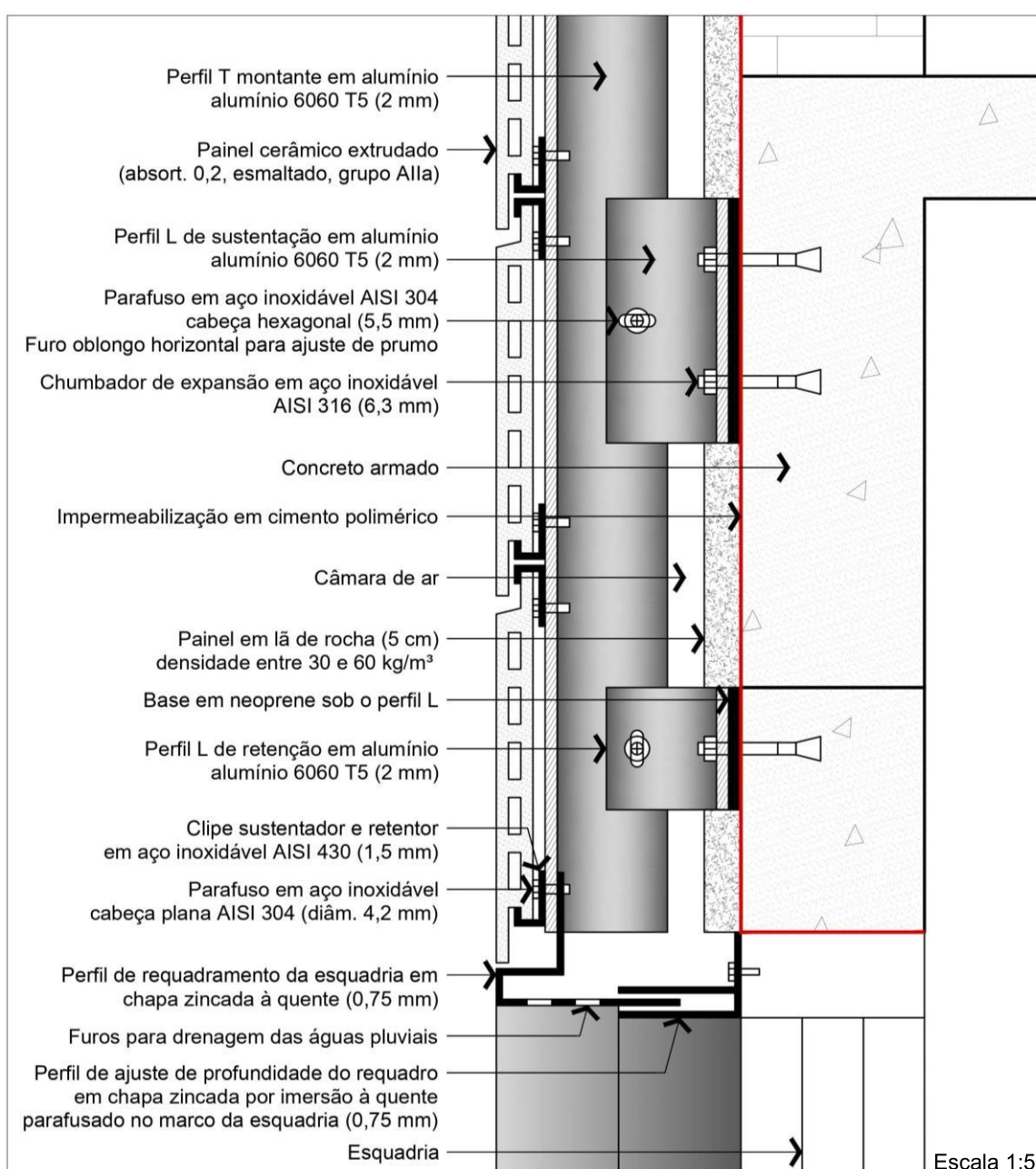
Figura 36 - Detalhe construtivo 7 (peitoril da janela)



Fonte: (do autor)

No detalhe construtivo 8, verga da janela, deve-se indicar o metal que compõe o requadramento da esquadria, o qual deve ter resistência ao fogo pois, do contrário, permite a entrada das chamas, proveniente dos ambientes, ao interior da câmara de ar, o que favorece a sua rápida propagação. Além disso, deve apresentar furos para a drenagem das águas que adentram à câmara, de modo a escoá-las ao exterior. O requadro deve ser preso ao marco da esquadria por um perfil de ajuste de profundidade, sendo necessário para compensar eventuais imperfeições da base suporte, além de preso ao verso do montante, tornando-o estável (FIGURA 37).

Figura 37 - Detalhe construtivo 8 (verga da janela)

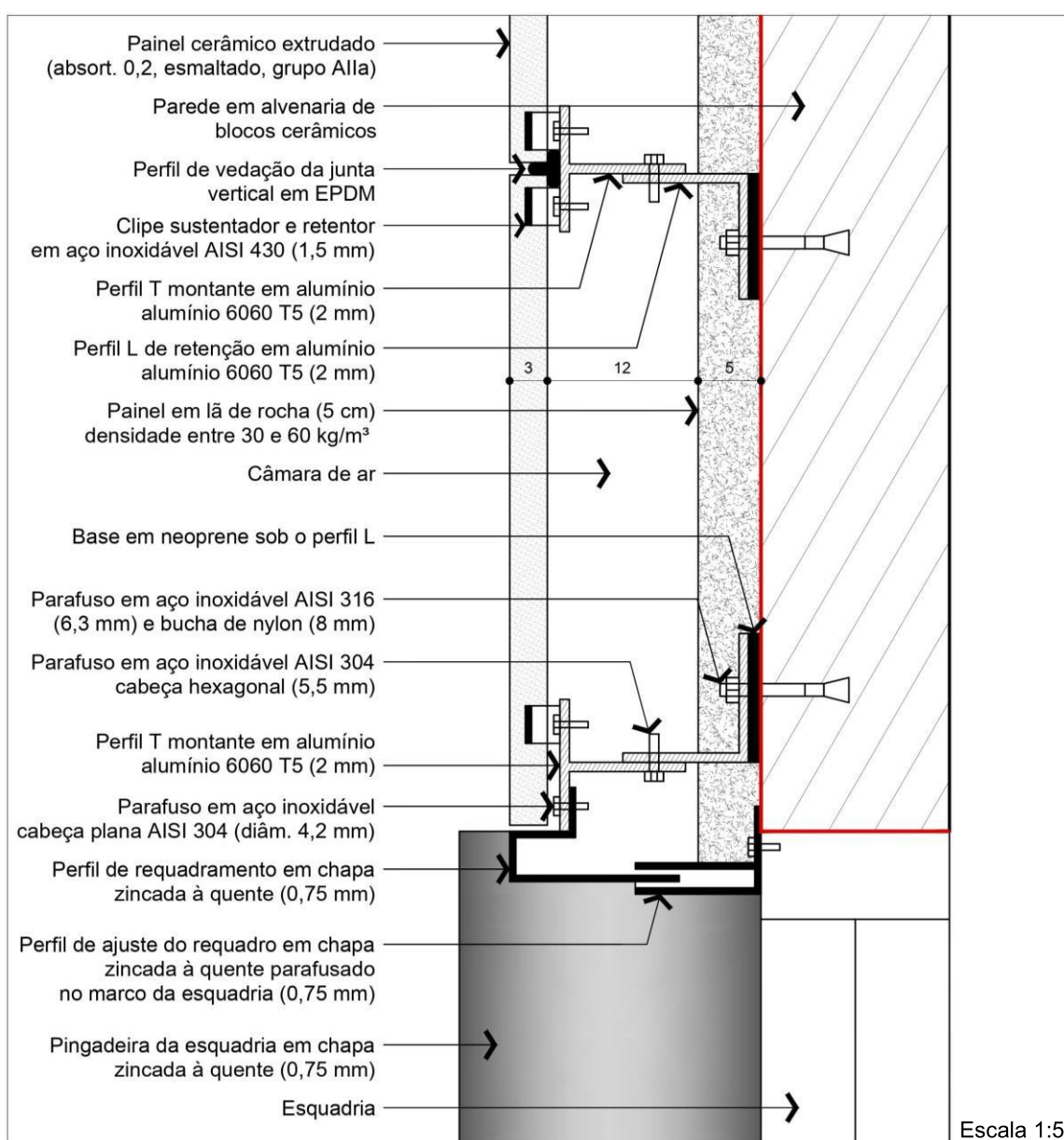


Fonte: (do autor)



Por se tratar do mesmo componente, as informações do detalhe 8 estendem-se ao 9, porém com a interface entre a lateral da esquadria e o revestimento. Os demais componentes do sistema devem ser especificados (montantes, ancoragens e isolamento), com suas respectivas espessuras. Indica-se o isolamento em locais de clima frio para impedir a saída de calor dos ambientes internos, porém esse não é indicado em locais de clima quente, pois impede a dissipação do calor gerado por pessoas e equipamentos, aumentando o consumo de refrigeração (FIGURA 38).

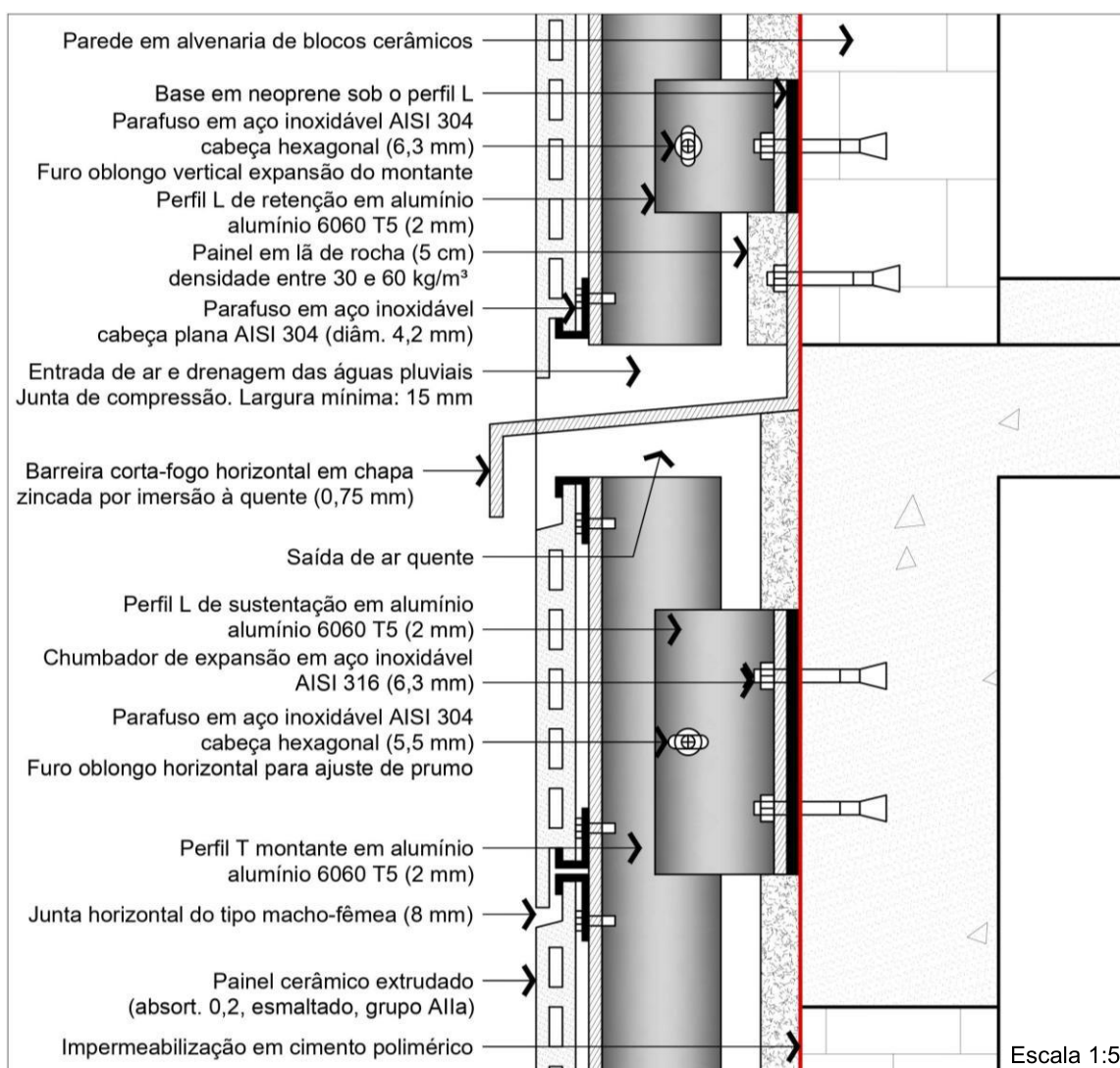
Figura 38 - Detalhe construtivo 9 (lateral da janela)



Fonte: (do autor)

No detalhe construtivo 10, barreira corta-fogo horizontal, deve-se especificar o metal a ser usado nesse componente, recomendando-se aço ao invés de alumínio devido ao maior ponto de fusão (1.500 °C). A propagação vertical do fogo pode promover o colapso da subestrutura, pois os perfis em alumínio fundem-se a 580 °C, temperatura que pode ser facilmente alcançada na primeira hora de incêndio. Além disso, devem ter inclinação que permita o escoamento das águas, que adentram na câmara, para fora do sistema, devendo apresentar tratamentos contra a corrosão, de modo a aumentar sua durabilidade. Como interrompe o sistema na altura dos pisos, deve dispor de aberturas para entrada de ar frio e saída de ar quente, de modo a preservar seu funcionamento pelo efeito chaminé. Além disso, deve apresentar juntas para a dilatação dos montantes, evitando seu empenamento (FIGURA 39).

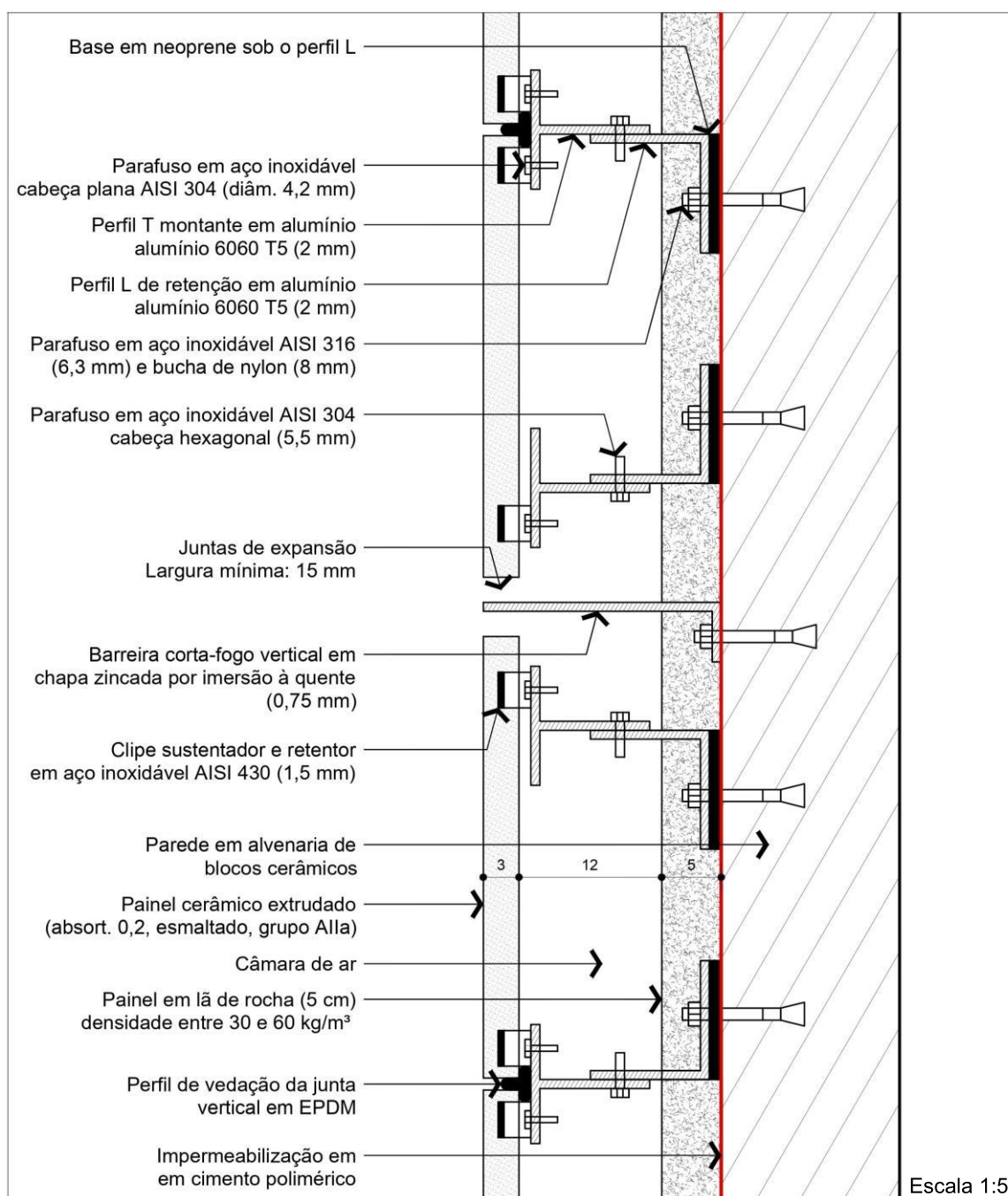
Figura 39 - Detalhe construtivo 10 (barreira corta-fogo horizontal)



Fonte: (do autor)

O detalhe 11 tem os mesmos objetivos que o 10, porém com barreira vertical que visa evitar a propagação do fogo pela câmara, entre ambientes do mesmo andar ou fachadas adjacentes. Devem coincidir com as juntas de expansão, as quais são necessárias à movimentação do revestimento. As barreiras também promovem a compartimentação da câmara, o que pode favorecer a estanqueidade devido ao equilíbrio de pressões, sobretudo em eventos de chuva com vento (FIGURA 40).

Figura 40 - Detalhe construtivo 11 (barreira corta-fogo vertical)

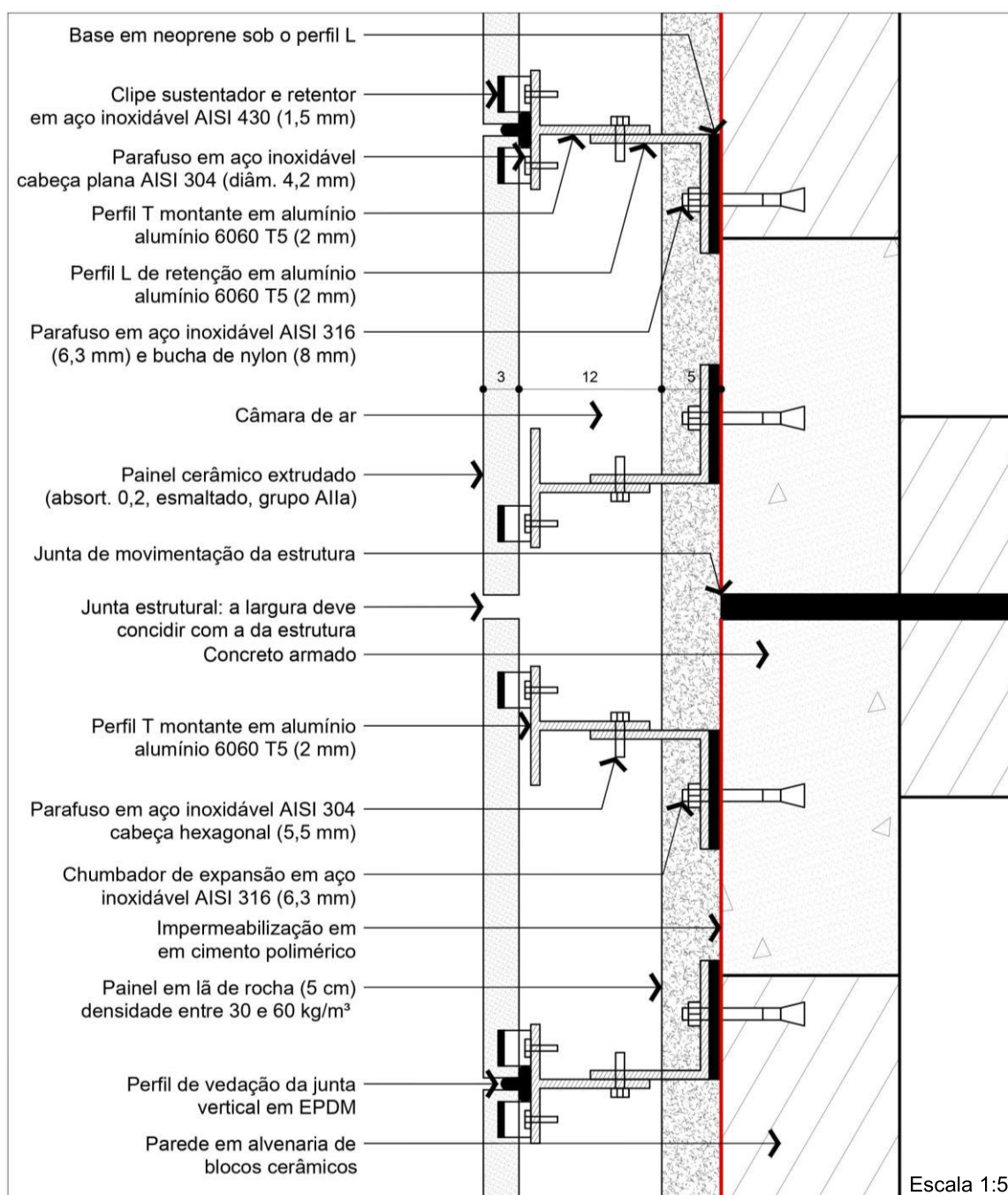


Fonte: (do autor)



No detalhe 12, a junta estrutural do revestimento deve coincidir com as de dilatação do concreto, devendo apresentar a mesma largura, de modo a permitir que essa acompanhe as movimentações impostas pela base. Dessa forma, todos os componentes do sistema de revestimento de um lado da junta não devem estender-se ao outro lado, pois, se fossem montados de forma contínua, as placas poderiam se soltar dos cliques com as movimentações do concreto armado (FIGURA 41).

Figura 41 - Detalhe construtivo 12 (junta estrutural)



Fonte: (do autor)



## 5 CONCLUSÃO

Conclui-se que a sistematização das principais informações sobre o sistema de revestimento cerâmico não aderido em fachadas constituem importantes parâmetros de projeto que contribuem para a tomada de decisões, tornando a atividade de projetar mais eficiente e simplificada, além de promover melhores condições de desempenho e de construtibilidade. A definição do escopo do projeto nas suas principais fases (estudo preliminar, anteprojeto e projeto executivo), colabora para um processo de projeto seja gradual e organizado, pois estabelece os documentos gráficos e descritivos a serem apresentados ao término de cada etapa, dentre os quais estão: projetos e detalhes construtivos, memoriais descritivos e justificativos, planilhas de dimensionamento, entre outros. O projeto executivo de revestimento cerâmico não aderido em fachadas, com informações claras e suficientes, garante a correta montagem do sistema, de modo a oferecer maior eficiência em todo o processo de execução.

Quando esse sistema é projetado e construído segundo critérios bem definidos, melhora o desempenho da edificação, bem como promove durabilidade e evita a incidência de manifestações patológicas. Além disso, seu caráter industrial proporciona ao canteiro de obras agilidade construtiva e menor possibilidade de desperdícios, tanto de materiais quanto de tempo de mão de obra. Para tanto, o projetista deve assimilar os conceitos de construção industrializada, como a racionalização construtiva, construtibilidade e coordenação modular.

Com base nas informações sistematizadas, as quais constituíram parâmetros de projetos em sistemas de revestimento cerâmico não aderido em fachadas, concluiu-se que:

Em relação à segurança estrutural, o revestimento não aderido deve se manter estável, mesmo com a incidência de vento e impactos, assim como não deve se deformar excessivamente. Além disso, os perfis não podem apresentar vibrações capazes de rompê-los por movimentos repetitivos, fenômeno também conhecido como “fadiga”. O sistema precisa dispor de juntas para permitir a sua livre movimentação, seja entre os painéis de revestimento, entre montantes de andares consecutivos ou por furos oblongos nos perfis de ancoragem, evitando a sua deformação por dilatação térmica ou por acomodações da estrutura de concreto armado. O sistema não pode ser arrancado das paredes externas de vedação por

especificações inadequadas das fixações em relação à base suporte, bem como por procedimentos inadequados de execução.

Porém, quanto à segurança contra incêndio, destaca-se que as chamas, ao se projetarem para fora das janelas dos ambientes, devem ser impedidas de entrar na câmara de ar. Assim, é imprescindível que os perfis de requadros de esquadrias, no entorno das janelas, sejam em materiais resistentes ao fogo, como as chapas de aço zincado com espessura de 0,75 mm, sobretudo na altura das vergas, onde a pluma de fogo atinge-as com intensidade. Contudo, caso os gases quentes, provenientes do incêndio, penetrem na câmara, devem ser impedidos de alcançar os pavimentos superiores por barreiras corta-fogo, as quais também devem ser em perfis metálicos e instaladas na altura dos pisos dos pavimentos. Os materiais do isolamento térmico não podem propagar chamas e a resistência ao fogo deve ser garantida pela parede suporte (blocos cerâmicos e estrutura de concreto armado). Para que as barreiras corta-fogo horizontais não prejudiquem o efeito chaminé, característica mais marcante desse sistema, devem ser projetadas com aberturas para a entrada e saída de ar (acima e abaixo de cada barreira) em cada pavimento ou grupos de pavimentos compartimentados (ver Figura 39).

No que diz respeito à estanqueidade, em locais chuvosos, as juntas devem ser do tipo macho-fêmea, enquanto as juntas abertas devem ser especificadas em locais de clima árido, onde se tem baixa intensidade pluviométrica e altas temperaturas, de modo a promover a máxima ventilação da câmara de ar. Já nas juntas verticais, recomenda-se o uso de perfis de borracha, como o neoprene, evitando a penetração de água e o escoamento desta pela face dos montantes, de maneira a causar a sua deterioração precoce. Igual preocupação ocorre em relação aos perfis horizontais (guias), em que as secções transversais, por vezes, favorecem o acúmulo de água atuando como se fossem “pequenas calhas”. Por fim, aberturas na base do sistema são indispensáveis para que haja a drenagem das águas pluviais que adentram à câmara, assim como permitem a entrada de ar que promove o efeito chaminé e a secagem do isolamento e base suporte que, eventualmente, estejam úmidos.

Em relação ao desempenho térmico, concluiu-se que as decisões de projeto para climas quentes não são as mesmas para climas frios. Assim, em climas predominantemente frios, sugere-se que o revestimento não aderido tenha a seguinte configuração: painéis cerâmicos em cores escuras, com absorvância de 0,6,

e menor massa (espessura); câmara de ar estreita, cerca de 5 cm de largura útil, e sem ventilação; com isolamento térmico de 5 cm de espessura; e paredes externas em alvenaria de blocos cerâmicos, devido à inércia térmica. Porém, em climas quentes, deve-se adotar a seguinte configuração: painéis cerâmicos em cor clara, com absorvância de 0,2, e maior massa (espessura); câmara de ar larga, cerca de 15 cm, e máxima ventilação através de aberturas na base, topo e juntas; sem isolamento térmico, de modo a permitir a dissipação do calor interno pelas paredes; e parede externa de vedação em blocos cerâmicos, devido à inércia térmica.

Quanto ao desempenho acústico, o isolamento pela lei da massa-mola-massa tende a ser mais eficiente do que aquele gerado pela lei da massa, já que se consegue maiores índices de redução sonora com uma menor densidade superficial do elemento de vedação vertical. Porém, para que o revestimento não aderido promova o isolamento desejado, deve-se aplicar, no interior da câmara, uma camada de isolamento em material fibroso, como a lã de rocha. Em alguns casos, como em edifícios localizados em regiões quentes, não se recomenda a aplicação da camada de isolamento, de modo que se deve contar apenas com a redução sonora gerada pela parede externa de vedação, devendo essa ser dimensionada para tal. O tipo de junta, aberta ou fechada, a largura da câmara e o seu grau de ventilação não se mostraram relevantes para a redução do ruído, mas a aplicação do isolamento e a composição da parede suporte, sim. Em reconstituições de fachadas (*retrofits*) o sistema pode ser bastante vantajoso, pois promove aumento nos índices de redução sonora, sem agregar peso à estrutura existente.

No que se refere à durabilidade, os metais da subestrutura devem resistir à corrosão eletroquímica, bem como a corrosão bimetálica, devendo-se prever a separação deles por arruelas de borracha ou nylon, sobretudo nos componentes menores, como os parafusos e chumbadores, devido à menor proporção em relação aos perfis da subestrutura. Os painéis cerâmicos devem ter baixa absorção de água, recomendando-se que, nos locais sujeitos a neve, a absorção deve ficar entre 0 e 3%, enquanto nos demais, de 0 a 10%. Além disso, devem resistir às condições adversas, como ao gretamento, choque térmico, ataque químico e ao manchamento.

Outra questão importante é que algumas decisões de projeto podem influenciar mais de um requisito de desempenho, cabendo ao projetista a responsabilidade de ponderar as variáveis e optar pela melhor decisão, contudo aspectos relacionados à segurança sempre devem ter prioridade frente aos demais.

Como exemplo disso, cita-se o uso das barreiras corta-fogo, as quais, ao mesmo tempo em que evitam a propagação das chamas, promovem estanqueidade, pois a compartimentação favorece um equilíbrio de pressões entre o interior e exterior da câmara, impedindo a penetração de água pelas juntas. Entretanto, as barreiras corta-fogo, instaladas na altura dos pisos dos pavimentos, podem prejudicar o efeito chaminé, já que constituem uma barreira que dificulta a livre circulação do ar, desejável sobretudo em climas quentes.

O revestimento cerâmico não aderido, por todas as vantagens que oferece, pode se tornar, dentro de pouco tempo, o sistema construtivo mais usado no revestimento de fachadas, porém seu custo precisa se tornar mais acessível. A durabilidade dos materiais cerâmicos, a eficiência energética que o sistema pode oferecer ao edifício, a menor incidência de manifestações patológicas, bem como a simplicidade e velocidade do processo de montagem, tornam o uso desse sistema bastante promissor, sobretudo no Brasil, seja em edifícios corporativos, comerciais ou residenciais. Porém seu sucesso e disseminação passam pela utilização de parâmetros de projeto claros, organizados e objetivos, e o projetista tem papel fundamental nesse processo.

## REFERÊNCIAS

AGÊNCIA BRASILEIRA DE DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL. ABDI: **Manual da Construção Industrializada**. Conceitos e Etapas Volume 1: Estrutura e Vedação. Brasília, 2015.

ALENCASTRO, J. P. U. **Diagnóstico das práticas de coordenação e compatibilização de projetos no mercado de construção civil de Florianópolis, SC**. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2006.

ANDRADE, M. L. V. X. **Coordenação Dimensional como Ferramenta para a Qualidade em Projetos de Habitação Popular**. Dissertação (Mestrado), Universidade de Brasília. Brasília, 2000.

ANTUNES, G. R. **Estudo de Manifestações Patológicas em Revestimentos de Fachada em Brasília - Sistematização da Incidência de Casos**. Dissertação (Mestrado), Universidade de Brasília. Brasília, 2010.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12609**: Alumínio e suas ligas - Tratamento de superfície - Anodização para fins arquitetônicos - Requisitos. Rio de Janeiro, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13818**: Placas cerâmicas para revestimentos: especificação e métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14432**: Exigências de resistência ao fogo de elementos construtivos de edificações - Procedimento. Rio de Janeiro, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15253**: Perfis de aço formados a frio, com revestimento metálico, para painéis estruturais reticulados em edificações - Requisitos gerais. Rio de Janeiro, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575**: Edificações habitacionais - Desempenho. Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-4**: Edificações habitacionais - Desempenho - Parte 4: Requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas - SVVIE. Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15873**: Coordenação modular para edificações. Rio de Janeiro, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16636**: Elaboração e desenvolvimento de serviços técnicos especializados de projetos arquitetônicos e urbanísticos. Rio de Janeiro, 2017.

ATEM, C. G. **Fachadas ventiladas: hacia un diseño eficiente en Brasil**. Thesis (Doctoral), *Universitat Politècnica de Catalunya*. Barcelona, 2016.

AVELLANEDA, J.; PARICIO, I. **Los revestimientos de piedra**. Ed. Bisagra, Barcelona, 2000.

BALLARD, H. G. **The last Planner System of Production Control**. [s.l.] *University of Birmingham*. Birmingham, 2000.

BALDAUF, A. S. F. **Contribuição à Implementação da Coordenação Modular da Construção no Brasil**. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2004.

BALTER, J.; PARDAL, C.; COCH, H.; PARICIO, I.; GANEM, C. **Movimiento del aire en la cámara de la fachada ventilada. estudio de casos existentes en la ciudad de barcelona, españa**. In: XIV ENCAC - Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído; X ELACAC - Encontro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído. Balneário Camboriu, 2017.

BARBOSA, A. S. **Estudo numérico-computacional e analítico do choque térmico em fachadas de edificações**. Dissertação (Mestrado), Universidade de Brasília. Brasília, 2013.

BARBOZA, A. S. R.; LIMA, S. F. C. **Coordenação Modular Aplicada a Habitação de Interesse Social Unifamiliar**. Manual Técnico. Maceió, 2009.

BARBOZA, A. S. R.; SILVA, M. M. C. P.; SILVA, L. da S.; & JÚNIOR, J. C. de A. **A técnica da coordenação modular como ferramenta diretiva de projeto**. Ambiente Construído, Porto Alegre, 2011.

BOBADILLA, E. M. F. **Manual básico para fachadas ventiladas y aplacados : requisitos constructivos y estanqueidad**. *Gestión de calidad en la Edificación. Consejería de obras públicas, viviendas y transporte. Comunidad autónoma de la región de Murcia*. Murcia, 2007.

BRENTANO, T. **A Proteção Contra Incêndio no Projeto de Edificações**. Porto Alegre, 2010.

BRIGITTE, G. T. N.; RUSCHEL, R. C. **Modelo de informação da construção para o projeto baseado em desempenho: caracterização e processo**. Ambient. constr. [online]. Vol.16, n.4, pp.9-26. ISSN 1678-8621. 2016.

CAMPANTE, E. F.; BAÍA, L. L. M. **Projeto e execução de revestimento cerâmico**. 2. ed. O Nome da Rosa. São Paulo, 2008.

CAMPOS, K. L. **Desenvolvimento de sistema de fixação de fachada ventilada com porcelanato de fina espessura**. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2011.

CARDOSO, S. S. **Tecnologia construtiva de fachada em chapas delgadas estruturadas em *light steel framing***. Dissertação (Mestrado), IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. São Paulo, 2016.

CATÁLOGO TÉCNICO GAIL CERÂMICAS. **Fachadas Ventiladas: Passo a passo de execução**. Departamento de Marketing. Guarulhos, 2013.

CATÁLOGO TÉCNICO FAVEBRÁS. **Sistemas FTS: Detalhes técnicos**. Departamento de Marketing. Formiga, 2015.

CBIC. **Câmara Brasileira da Indústria da construção**. Guia orientativo para atendimento a norma ABNT NBR 15 575/2013 - Desempenho de edificações Habitacionais. Brasília, 2013.

CEOTTO. **Fachadas comerciais no Brasil tendem a ser de granito e vidro**. Revista Rochas de Qualidade, São Paulo, 2010.

CÓDIGO TÉCNICO DE LA EDIFICACIÓN. **CTE**: Documento Básico de seguridad en caso de incendios (SI). Ministerio de Vivienda. Madrid, 2008.

CRUZ, D. D da. **Coordenação e Compatibilização de Projetos em Edifícios Habitacionais**. Monografia (Graduação), Universidade do Planalto Catarinense. Lages, 2015.

DIREITO, J., **ESTUDO DA SEGURANÇA CONTRA INCÊNDIO EM FACHADAS VENTILADAS**. Dissertação (Mestrado), Universidade do Porto. Porto, 2011.

DOCUMENTO DE IDONEIDAD TÉCNICA. **DTI 530/11**: *Sistema de Revestimiento de Fachadas Ventiladas con Baldosas Cerámicas*. Instituto de Ciencias de La Construcción Eduardo Torroja. Madrid, 2011.

DOCUMENTO DE IDONEIDAD TÉCNICA. **DTI 631/17**: *Sistema de Revestimiento de Fachadas Ventiladas*. Instituto de Ciencias de La Construcción Eduardo Torroja. Madrid, 2017.

DORDÁ, P. H.; ROIG, A. M. P.; ESCRIG, A. C.; & GURREA, L. M. **Entrada de Agua En Las Juntas de Las Fachadas Ventiladas**. *Qualicer 2010 - Congreso Mundial de La Calidad del Azulejo y Del Pavimento Cerámico*. Castellón, 2010.

ENTE NAZIONALE ITALIANO DI UNIFICAZIONE. **UNI 11018**: *Rivestimenti e sistemi di ancoraggio per facciate ventilate a montaggio meccanico: istruzioni per la progettazione, l'esecuzione e la manutenzione, rivestimenti lapidei e ceramici*. Milano, 2003.

FIRMO, C. **Estruturas tubulares enrijecidas por superficies de dupla curvatura (hiperbólica)**. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto, 2003.

FRANCO, L.S. **Aplicação de diretrizes de racionalização construtiva para a evolução tecnológica dos processos construtivos em alvenaria estrutural não armada**. Tese (Doutorado). Universidade de São Paulo. São Paulo, 1992.



FRANCO, L. S.; AGOPYAN, V. **Implementação da Racionalização Construtiva na Fase de Projeto**. Boletim Técnico BT/PCC/94. Universidade de São Paulo. São Paulo, 1993.

FORERO, M. del P. G.; **Evaluación del Comportamiento del Fuego y Protección contra Incendios en Diversas Tipologías de Fachadas**. *Thesis (Doctoral)*, *Universitat Politècnica de Catalunya*. Barcelona, 2012.

GIANCOLA, E. **El comportamiento energético de una fachada ventilada de juntas abiertas**. *Tesis (Doctoral)*, *Universidad Politécnica de Madrid*. Madrid, 2010.

GIONGO, M.; PADARATZ, I. J.; LAMBERTS. **Determinação da exposição à chuva dirigida em Florianópolis, SC: índices de chuva dirigida e métodos semi-empíricos**. Ambiente Construído. Porto Alegre, 2011.

GREVEN, H. A.; BALDAUF, A. S. F. **Introdução à Coordenação Modular da Construção no Brasil: uma abordagem atualizada**. ANTAC (Coleção Habitare, 9). Porto Alegre, 2007.

GUERRA, I. M. da S., **Comportamento ao fogo das fachadas ventiladas**. Dissertação (Mestrado), Universidade de Coimbra. Coimbra, 2010.

HARRIS, C. **Handbook of acoustical measurements and noise control**. New York: McGraw Hill. New York, 1995.

LOTURCO, B. Capa Cerâmica. Revista Técnica. Ed. Pini. Edição 109, abril. São Paulo, 2006.

LUCINI, H. C. **Manual técnico de modulação de vãos de esquadrias**. São Paulo, 2001.

MACHADO, A. L. A.; **Diretrizes de projeto para revestimentos não aderidos de fachada constituídos de placas cerâmicas extrudadas**. Dissertação (Mestrado), IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. São Paulo, 2012.

MACHADO, A. L. A.; OLIVEIRA, L. A. **Orientações para Elaboração de Projeto de Fachadas com Revestimento Não Aderido: Aspectos Estruturais e de Durabilidade das Subestruturas Metálicas**. In: XIV ENTAC - Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. Juiz de Fora, 2012.

MACHADO, A. L. A.; OLIVEIRA, L. A. **Diretrizes de Projeto para Revestimentos Não Aderidos de Fachadas**. In: III Simpósio Brasileiro de Qualidade do Projeto no Ambiente Construído; VI Encontro de Tecnologia de Informação e Comunicação na Construção. Campinas, 2013.

MANSO, M. A.; MITIDIERI FILHO, C. V. **Gestão e coordenação de projetos em empresas construtoras e incorporadoras: da escolha do terreno à avaliação pós ocupação**. 1. ed. Pini. São Paulo, 2011.

MARTINS, J. A.; STOFFEL M. T. **Análise comportamental do fogo em sistemas de fachada com isolamento pelo exterior**. Dissertação (Mestrado), Universidade Nova de Lisboa. Lisboa, 2009.

MEDEIROS, J. S.; FRANCO, L. S. **Prevenção de trincas em alvenaria através do emprego de telas soldadas como armadura e ancoragem**. Boletim Técnico do Departamento de engenharia de construção civil, TT/PCC/22. Universidade de São Paulo. São Paulo, 1999.

MEDEIROS, J. S.; SABBATINI, F. H. **Tecnologia e projeto de revestimento cerâmico de fachadas de edifícios**. Boletim Técnico do Departamento de Engenharia de Construção Civil, BT/PCC/246. Universidade de São Paulo. São Paulo, 1999.

MEDEIROS, J. S.; MELLO, M. B.; ROGERO, M. V. V.; SEGUNDO, M. J. P.; PIETRANTONIO, V. B. **Tecnologias de vedação e revestimento para fachadas**. Instituto do Aço Brasil / CBCA (Série Manual de construção em aço). Rio de Janeiro, 2014.

MELHADO, S. B. **Qualidade do projeto na construção de edifícios: aplicação ao caso das empresas de incorporação e construção**. Tese (Doutorado), Universidade de São Paulo. São Paulo, 1994.

MITIDIERI FILHO, C.V. **Avaliação de desempenho de componentes e elementos construtivos inovadores destinados a habitações: proposições específicas à avaliação do desempenho estrutural**. Tese (Doutorado), Universidade de São Paulo. São Paulo, 1998.

MORAES FILHO, F. W. **Desempenho térmico de fachadas ventiladas frente ao clima equatorial úmido da Amazônia**. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal do Pará. Belém, 2019.

NIAMPIRA DAZA, A. **Comportamiento Acústico de La Fachada Ventilada con Revestimiento Ligero: Análisis de la variación según las características de la ventilación**. Thesis (Doctoral), Universitat Politècnica de Catalunya. Barcelona, 2014.

NIAMPIRA DAZA, A.; ZAMORA, J. L. **Acoustic performance in a lightweight ventilated façade for building refurbishment: analysing the impact of variations in airborne sound insulation according to the ventilation characteristics**. *Department de Tecnologia de l'Arquitectura of the Universitat Politècnica de Catalunya (UPC). Manuscript Code: 1178. DOI: 10.7764 / RDLC.18.2.247.* Catalunya, 2018.

NAVARINI, C. C. **Diretrizes da coordenação modular para o uso do bloco 44 cm como elemento principal em projetos arquitetônicos de alvenaria estrutural cerâmica**. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2010.

NP EN 13501-1, **Classificação do desempenho face ao fogo de produtos e de elementos de construção - Parte 1: Classificação utilizando resultados de ensaios de reação ao fogo**. IPQ, 2007.

OLIVEIRA, R. R. **Sistematização e listagem de fatores que afetam a construtibilidade**. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO - ENEGEP. São Carlos, 1995.

OLIVEIRA, L. A.; **Metodologia para desenvolvimento de projeto de fachadas leves**. Tese (Doutorado), Universidade de São Paulo. São Paulo, 2009.

OLIVEIRA, L. A.; MELHADO, S. B. **Projeto de Fachadas Leves: Especificações de Desempenho**. Pós, v.16 n.25, Junho. Universidade de São Paulo. São Paulo, 2009.

OLIVEIRA, L. A.; MITIDIÉRI FILHO, C. V. **O projeto de edifícios habitacionais considerando a norma brasileira de desempenho: análise aplicada para as vedações verticais**. Gestão e Tecnologia de Projetos. São Paulo, 2012.

ORDENES, M.; LAMBERTS, R.; GUTHS, S. **Transferência de calor na envolvente da edificação**. Apostila do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Campus Universitário Trindade, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2008.

PENSO, E. A. **Análise do desempenho térmico da fachada ventilada como alternativa para retrofit de envoltória de edifícios comerciais**. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2017.

PETRUCCI, H. M. C. **A alteração da aparência das fachadas dos edifícios: interação entre as condições ambientais e a forma construída**. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2000.

PICCHI, F.A. **Sistemas da qualidade: uso em empresas de construção de edifícios**. Tese (Doutorado), Universidade de São Paulo. São Paulo, 1993.

PORTARIA Nº 1532/2008 - **RTSCIE** - Regulamento Técnico de Segurança Contra Incêndio em Edifícios. Portugal, 2008.

POYASTRO, P. C. **Influência da volumetria e das condições de entorno da edificação no manchamento e infiltração de água em fachadas por ação de chuva dirigida**. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2011.

RECATALÁ, M. A. **Proposal for a New Test Methodology for Assessing The Performance of Rear-Ventilated Façades against Wind-Driven Rain (Wdr) and Driving Rain Wind Pressures (Drwp)**. Thesis (Doctoral), Universidad Politécnica de Madrid. Madrid, 2017.

RECATALÁ, M. A.; MORALES, S. G.; & BOSSCHE. N. V. D. **Rain infiltration mechanisms in ventilated façades: literature review, case studies, understanding common practice flaws**. In: ISBP 2015 - 1<sup>st</sup> International Symposium on Building Pathology. Porto, 2015.

RODRIGUES, M. B. **Diretrizes para a integração dos requisitos de construtibilidade ao processo de desenvolvimento de produto de obras repetitivas**. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2005.

RODRÍGUEZ, M. A. R. **Coordenação Técnica de projetos: caracterização e subsídios para sua aplicação na gestão do processo de projeto de edificações.** Tese (Doutorado), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005.

RODRÍGUEZ, M. A. A.; HEINECK, L. F. M. **A construtibilidade no processo de projeto de edificações.** In: III Simpósio Brasileiro de Gestão e Economia da Construção, Anais. São Carlos, 2003.

ROMANO, F. V. **Modelo de Referência para o Gerenciamento do Processo de Projeto Integrado de Edificações.** Tese (Doutorado), Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2003.

SABBATINI, F.H. **Desenvolvimento de métodos, processos e sistemas construtivos: formulação e aplicação de uma metodologia.** Tese (Doutorado), Universidade de São Paulo. São Paulo, 1989.

SABBATINI, F. H. **Notas de aula da disciplina de Tecnologia de produção de vedações verticais. A industrialização na produção de vedações.** TG-004. Universidade de São Paulo. São Paulo, 2002.

SANTOS FILHO, V. M.; SPOSTO, R. M., & MELO, J. S. de. **Ferramenta para projetos de vedações verticais externas com base nas exigências da norma de desempenho** (D.O.I.: 10.5216/reec.v8i3.28169). REEC - Revista Eletrônica De Engenharia Civil. 2014.

SANTOS FILHO, V. M. **Análise de desempenho térmico e acústico de fachadas ventiladas de porcelanato à luz da norma de desempenho.** Estudo de caso em Brasília - DF. Dissertação (Mestrado), Universidade de Brasília. Brasília, 2015.

SANTOS FILHO, V. M.; SPOSTO, R. M.; & CALDAS, L. R. **Análise do Desempenho Acústico de Fachadas Ventiladas de Porcelanato à luz da Norma de Desempenho: Estudo de Caso em um Edifício Habitacional em Brasília-DF.** REEC - Revista Eletrônica de Engenharia Civil, Vol 13, Nº 2, 116-130, Dezembro, 2017. Acesso 01/12/2020.

SILVA, F. B.; **Sistemas Construtivos, Fachadas com Revestimento Cerâmico Não Aderido.** Revista Técnica. Ed. Pini. Edição 184, julho. São Paulo, 2012

SILVA, L. F. B.; **Revestimento Não-Aderido: Critérios de desempenho estrutural, drenabilidade e manutenibilidade.** Dissertação (Mestrado), IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. São Paulo, 2016.

SILVA, M. N. B. **Avaliação Quantitativa da Degradação e Vida Útil de Revestimentos de Fachada - Aplicação ao Caso de Brasília/DF.** Tese (Doutorado), Universidade de Brasília. Brasília, 2014.

SILVA, A; BRITO, J; GASPAR, P. L. **Methodologies for service life prediction of buildings: With a focus on façade claddings.** Springer, 2016.

SIQUEIRA JÚNIOR, A. A.; MEDEIROS, J. S. **Tecnologia de fachada: cortina com placas de grés porcelanato.** Boletim Técnico do Departamento de Engenharia de Construção Civil. BT/PCC/444. Universidade de São Paulo. São Paulo, 1999.

SIQUEIRA JÚNIOR, A. **Tecnologia de fachadas-cortina com placas de grés porcelanato**. Dissertação (Mestrado), Universidade de São Paulo. São Paulo, 2003.

SOUSA, F., **FACHADAS VENTILADAS EM EDIFÍCIOS. Tipificação de soluções e interpretação do funcionamento conjunto suporte/acabamento**. Universidade do Porto. Porto, 2010.

SOUZA, F. M. F. de. **Fachadas Ventiladas Em Edifícios Tipificação De Soluções E Interpretação Do Funcionamento Conjunto Suporte/Acabamento**. Dissertação (Mestrado), Universidade do Porto. Porto, 2010.

SPECHT, L. P.; BORGES, P. A. P.; RUPP, R. F.; & VARNIER, R. **Análise da transferência de calor em paredes compostas por diferentes materiais**. Vol.10, n.4. ISSN 1678-8621. Ijuí, 2010.

VEDOVELLO, C. A. S. **Gestão de Projetos de Fachadas**. Dissertação (Mestrado), Universidade de São Paulo. São Paulo, 2012.

ZANONI, V. A. G. **Influência dos agentes climáticos de degradação no comportamento higrotérmico de fachadas em Brasília**. Tese (Doutorado), Universidade de Brasília. Brasília, 2015.

ZUCCHETTI, L. **A construtibilidade como requisito de avaliação de componentes para a edificação: o caso do Elemento de Integração alvenaria/esquadria**. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2010.