

CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

Patricia Kuester

**ESTUDO DE COMPONENTES PARA APLICAÇÃO COMO SISTEMAS DE
REVESTIMENTO EM FACHADAS VENTILADAS**

Santa Cruz do Sul

2017

Patricia Kuester

**ESTUDO DE COMPONENTES PARA APLICAÇÃO COMO SISTEMAS DE
REVESTIMENTO EM FACHADAS VENTILADAS**

Trabalho de Conclusão de Curso II apresentado ao
Curso de Engenharia Civil, da Universidade de Santa
Cruz do Sul – UNISC, na área de revestimentos de
fachada.

Orientador: Prof. Ms. Eng. Marcus Daniel F. dos Santos

Santa Cruz do Sul

2017

Ninguém é alguém tão bom, sozinho.

Meu obrigada para quem corre ao meu lado - RMBP.

AGRADECIMENTOS

Esta conquista não seria possível sem apoio, agradeço em especial ao meu marido, familiares e amigos, pela compreensão do real significado que esta caminhada representa para mim, e sobretudo, o carinho emanado.

Faço um agradecimento especial a todos os professores e mentores que colaboraram na minha formação, seja como pessoa ou como profissional, hoje representados na pessoa do meu orientador Professor Marcus Daniel F. dos Santos. Agradecimento especial ao Professor Marco Antonio Pozzobon que também contribuiu para evolução do presente trabalho, além de tornar mais divertidas as esperas e os assessoramentos. À construtora que me permitiu utilizar seu *case*, na pessoa do Marlon, que foi fundamental, assim como, agradeço ao Eduardo.

Agradeço a todos os colegas que tive a oportunidade de conhecer e conviver, àqueles que saberão o real significado de um “grande momento”. Em especial, agradeço aos colegas, funcionários da universidade e bolsistas, que me auxiliaram na execução dos ensaios.

KUESTER, Patricia. *Estudo de componentes para aplicação como sistemas de revestimento em fachadas ventiladas*. 2017. 107 f. Monografia – Curso de Engenharia Civil, Universidade de Santa Cruz do Sul, Santa Cruz do Sul, 2017.

RESUMO

A evolução do mercado da construção civil, incide na constante inserção de materiais e sistemas construtivos, dentre eles, as fachadas ventiladas. No Brasil, este tipo de revestimento não tem normativa específica, adotando-se parâmetros das fachadas-cortina, embora estas normas também não estejam consolidadas. A importância da padronização do sistema, consiste no fato de ter o respaldo técnico necessário para o projeto, dimensionamento e especificação adequados, uma vez que engloba diversos materiais. Assim como é extremamente relevante a influência da ação dos ventos sobre o sistema, tendo-se normativa em vigor que não passa por atualização desde 1988. A atualização da *ABNT NBR 6123/1988* já está em andamento, e tendencia-se que, de acordo com a *ABNT NBR 10821-2/2017*, o mapa de isopleias não seja alterado, sendo que o histórico e atual frequência de eventos climáticos avassaladores revela a fragilidade das velocidades básicas indicadas no mapa. Este fator incide diretamente sobre a pressão de ensaio, que quando calculada para a pior situação de uma fachada-cortina, apresenta valores superiores aos mínimos estabelecidos pela normativa vigente, questionando os fatores de segurança. Sob estas perspectivas, foi realizada a análise de *case* de construtora com empreendimento em Porto Alegre, cujo projeto de fachada especificado prevê revestimento não-aderido em basalto. A *ABNT NBR 15844/2015* especifica os requisitos para granitos como revestimento, sendo os ensaios para estes e demais rochas regidas pela *ABNT NBR 15845/2015*. Logo, não havendo critérios normativos para especificação de basaltos como revestimentos, fez-se um comparativo entre amostras de basalto e granito, com base nas referências existentes. Sabia-se que os granitos apresentavam características diferentes entre si, tendenciadas pela sua coloração, sendo propostas duas amostras de granito, o *Preto São Gabriel* e *Itaúna*, um escuro e outro claro, respectivamente. Ressalta-se que os ensaios não foram fiéis à normativa que os rege, tendo influência direta sobre os resultados, embora, de modo geral, as amostras possam ser consideradas para especificação como revestimentos.

Palavras-chave: Fachada ventilada. Revestimento não-aderido. Granito. Basalto. Efeito dos ventos.

KUESTER, Patricia. *Study of components for application as covering systems in ventilated facades*. 2017. 104 s. Monography – Civil Engineering Course, University of Santa Cruz do Sul, Santa Cruz do Sul, 2017.

ABSTRACT

The construction market evolution, reflects on the constant insertion of materials and constructive systems, among them, ventilated facades. In Brazil, this type of covering does not have specific regulations, in this case, they adopt the curtain facades parameters, although these norms are also not consolidated. The importance of the system standardization, consists in having the necessary technical support for the proper design, dimensioning and specification, because it encompasses several materials. Just as the influence of the wind actions on the system are extremely relevant, by having normative in force that has not been updated since 1988. The update of *ABNT NBR 6123/1988* is already in progress, and it is expected that, according to *ABNT NBR 10821-2/2017*, the map of isopleths will not change, even the historical and current frequency of overwhelming climatic events reveals the fragility of the basic speeds indicated on the map. This factor directly affects the test pressure, which when calculated for the worst situation of a curtain façade, presents values higher than the minimum established by the current regulations, questioning the safety factors. From these perspectives, this study presents the real case of a construction company with a project in Porto Alegre, whose specified façade design provides non-adhered/anchored basalt coating. The *ABNT NBR 15844/2015* specifies the requirements for granites as wall coverings, and the tests for these and other rocks are specified by *ABNT NBR 15845/2015*. So, by the inexistence of normative criteria for the specification of basalts as coatings, a comparison was made between basalt and granite samples, based on the existing references. It was known that granites had different characteristics among them, tended by their coloration, then, two samples of granite were proposed, *Preto São Gabriel* and *Itaúna*, one dark and the other almost white, respectively. It should be emphasized that the test were not faithful to the rules that govern them, having a direct influence on the results, although, in general, the samples may be considered for specification as coatings.

Keywords: Ventilated facade. Anchored wall covering. Granite. Basalt. Wind effects.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 –	Seção transversal de uma “cavity wall” em alvenaria	20
Figura 2 –	Diferenças sistemáticas entre fachada cortina, fachada ventilada com placas isoladas e fachada ventilada com placas rejuntadas	22
Figura 3 –	Fachadas ventiladas para climas frios e quentes: renovação de ar	22
Figura 4 –	Elementos componentes da fachada ventilada	24
Figura 5 –	Sistemática dos fluxos de água e calor no sistema de fachada ventilada	24
Figura 6 –	Comparativo de resultados de carga térmica	26
Figura 7 –	Elementos de concreto em meio à alvenaria	29
Figura 8 –	Fixação aparente para revestimentos de fina espessura	32
Figura 9 –	Fixação pontual: <i>insert</i> tipo pino	33
Figura 10 –	Fixação oculta de placas espessas	34
Figura 11 –	Fixação oculta de placas delgadas	35
Figura 12 –	Polígono dos tornados da América do Sul - PTAS	44
Figura 13 –	Mapa com a probabilidade anual de ocorrência de tornados	45
Figura 14 –	Isopletas da velocidade básica do vento ABNT NBR 6123/1988	48
Figura 15 –	Fator topográfico $S_I(z)$	51
Figura 16 –	Esquema dos coeficientes de pressão	57
Figura 17 –	Patologias em revestimentos: desprendimentos, manchas e fissuração	60
Figura 18 –	Detalhe de fachada incendiada da <i>Grenfell Tower</i>	61
Figura 19 –	Processos do ensaio de absorção: corpos de prova submersos, pesagem hidrostática e secagem no forno, respectivamente	64
Figura 20 –	Processos do ensaio de compressão uniaxial: amostras em processo de submersão, acomodação do corpo de prova na prensa e detalhe de peça rompida, respectivamente	66
Figura 21 –	Posições de carregamento nos corpos de prova	68
Figura 22 –	Saturação e secagem dos corpos de prova para ensaio de flexão por 3 pontos	69
Figura 23 –	Arranjo recomendado para posicionamento do corpo de prova	69
Figura 24 –	Posicionamento utilizado para ensaio de flexão por 3 pontos	70
Figura 25 –	Amostras rompidas: basalto e <i>Itaúna</i> , e respectivamente <i>Preto São Gabriel</i>	71
Figura 26 –	Arranjo recomendado para disposição do corpo de prova no dispositivo	72

Figura 27 – Saturação dos corpos de prova, marcação dos traçados de apoio e aplicação de força e secagem das amostras, respectivamente	73
Figura 28 – Amostras rompidas: <i>Itaúna</i> , <i>Preto São Gabriel</i> e basalto, respectivamente	74
Figura 29 – Esquema de aparelho para ensaio de impacto de corpo duro	75
Figura 30 – Aferições dos corpos de prova	76
Figura 31 – Aparelho desenvolvido para ensaio de impacto de corpo duro	76
Figura 32 – Procedimento do ensaio para basalto, <i>Itaúna</i> e <i>Preto São Gabriel</i>	77
Figura 33 – Amostras rompidas: <i>Itaúna</i> , <i>Preto São Gabriel</i> e basalto, respectivamente	78
Figura 34 – Valores de pressão de vento conforme a região do país e o número de pavimentos da edificação	79
Figura 35 – Edifício <i>Trust Business Center</i> (direita) ao lado do Edifício <i>Capital Tower</i>	81
Figura 36 – Produtos da Eliane® para sistema de fachada ventilada	81
Figura 37 – Protótipo desenvolvido na obra para análise	82
Figura 38 – Resultados para densidade aparente	84
Figura 39 – Resultados para porosidade aparente	84
Figura 40 – Resultados para absorção de água	85
Figura 41 – Amostras cortadas com pouca precisão	86
Figura 42 – Demonstrativo da nomenclatura das arestas	87
Figura 43 – Resultados para compressão uniaxial	88
Figura 44 – Resultados para módulo de ruptura – flexão por 3 pontos	89
Figura 45 – Resultados para módulo de ruptura – flexão por 4 pontos	91
Figura 46 – Resultados para impacto de corpo duro	92
Quadro 1 – Configurações do sistema de fachada ventilada	28
Quadro 2 – Grau de confiabilidade do substrato na função de base de ancoragens para revestimentos não aderidos	29
Quadro 3 – Estudo de juntas abertas (8mm) em placas de 600 mm x 600 mm	36
Quadro 4 – Requisitos para granitos	42
Quadro 5 – Valores médios obtidos para basalto	43
Quadro 6 – Rugosidades do terreno	52
Quadro 7 – Fator S_2	54
Quadro 8 – Parâmetros meteorológicos	55
Quadro 9 – Valores mínimos do fator estatístico S_3	55
Quadro 10 – Coeficientes de forma e pressão externos	58

Quadro 11 – Resultados encontrados de acordo com os ensaios realizados	93
Quadro 12 – Análise comparativa com dados do Anexo A	93

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	Área	12
1.2	Limitação do tema	12
1.3	Justificativa	12
2	OBJETIVOS	14
2.1	Objetivo geral	14
2.2	Objetivos específicos	14
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
3.1	Fachadas	15
3.1.1	Revestimentos de fachadas	17
3.2	Fachadas ventiladas	19
3.2.1	Breve histórico	19
3.2.2	Diferenciação	21
3.2.3	Definição	23
3.2.3.1	Base suporte de fixação	28
3.2.3.2	Isolante Térmico	30
3.2.3.3	Impermeabilizante	31
3.2.3.4	Tipologias de fixação	31
3.2.3.4.1	Fixação à vista	32
3.2.3.4.2	Fixação oculta	33
3.2.3.5	Juntas	36
3.2.3.5.1	Juntas abertas	36
3.2.3.5.2	Juntas fechadas	37
3.2.3.6	Materialidade do revestimento	38
3.2.3.6.1	Granito	41
3.2.3.6.2	Basalto	42
3.3	Ventos	43
3.3.1	Regionalizando o problema	44
3.3.2	Acidentes	46
3.3.3	A norma dos ventos - ABNT NBR 6123/1988	48

3.3.3.1	Velocidade básica do vento – V_0	49
3.3.3.2	Velocidade característica do vento - V_k	50
3.3.3.2.1	Fator topográfico – S_1	50
3.3.3.2.2	Fator de rugosidade do terreno, dimensões da edificação e altura sobre o terreno – S_2	52
3.3.3.2.3	Fator estatístico – S_3	55
3.3.3.3	Pressão dinâmica - q	56
3.3.3.4	Coefficiente de pressão.....	56
3.4	Patologias	59
3.5	Incêndios	61
4	METODOLOGIA	63
4.1	Absorção de água	63
4.2	Resistência à compressão uniaxial.....	65
4.3	Flexão por carregamento em três pontos.....	67
4.4	Flexão por carregamento em quatro pontos.....	71
4.5	Resistência ao impacto de corpo duro.....	74
4.6	Pressão de ensaio do vento	78
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	80
5.1	Absorção de água	83
5.2	Resistência à compressão uniaxial.....	86
5.3	Flexão por carregamento em três pontos.....	88
5.4	Flexão por carregamento em quatro pontos.....	90
5.5	Resistência ao impacto de corpo duro.....	91
5.6	Pressão de ensaio do vento	93
6	CONCLUSÃO	95
6.1	Sugestões para trabalhos futuros	97

REFERÊNCIAS 98

APÊNDICE A – Dimensões coletadas das amostras utilizadas nos ensaios de absorção e compressão uniaxial	102
APÊNDICE B – Resultados parciais do ensaio de absorção	103

APÊNDICE C – Resultados do ensaio de absorção	104
APÊNDICE D – Resultados do ensaio de compressão uniaxial.....	105
APÊNDICE E – Resultados do ensaio de flexão por 3 pontos.....	106
APÊNDICE F – Resultados do ensaio de flexão por 4 pontos.....	107
APÊNDICE G – Resultados do ensaio de corpo duro	108
ANEXO A – Proposta geral de qualificação tecnológica de rochas.....	109

1 INTRODUÇÃO

1.1 Área

O presente trabalho foi desenvolvido na área de revestimentos de fachada não-aderidos, denominados fachadas ventiladas.

1.2 Limitação do tema

Os estudos foram direcionados à dois subtemas do sistema construtivo de fachada ventilada: o desempenho de revestimento de basalto, comparado ao de granito, e a relação da ação dos ventos aos acidentes com o sistema, limitando os estudos à Região Sul do Brasil, tendo por base a *ABNT NBR 6123/1988*.

1.3 Justificativa

Assim como a estrutura, os sistemas de fachada passaram a desempenhar grande importância nos dias atuais. Responsáveis não somente pela função estética de empreendimentos, constituem o invólucro da edificação, protegendo-a contra intempéries, devendo exercer papel de isolante acústico e térmico, além de ser planejada e projetada de forma que propicie fácil manutenção. De acordo com Loturco (2015, p. 72), deve, “[...] enquanto revestimento externo, proporcionar estanqueidade com durabilidade e beleza estética.” Devendo também, ser “[...] entendida como o meio pelo qual ocorrem trocas de energia, iluminação e ventilação com o exterior, salienta o arquiteto Alexandre Hepner [...]”.

A fachada passou a ser um sistema isolado, desenvolvendo uma autonomia sobre a estrutura. Isso desencadeou a criação de diversos sistemas de fachadas, desde os aderidos aos não aderidos, através de diversas tecnologias e tipologias, geralmente importadas que adentraram o mercado e aos poucos, foram conquistando seu espaço.

Campos (2011, p. 36), afirma que “as fachadas ventiladas e os revestimentos foram desenvolvidos para proteger os edifícios da ação combinada da chuva e do vento, com características estéticas de nível elevado e com vantagens de conforto térmico e acústico”.

A busca incessante pela eficiência energética e diversidade estética, além da racionalização e otimização no canteiro de obras, vem popularizando o sistema abordado neste trabalho, que já possui grande montante de obras executadas no Brasil.

A principal problemática atribuída ao sistema, consiste na carência de normativas e regulamentação brasileiras que possam controlar e atestar a sua qualidade. Segundo Loturco (2015, p. 75), Marcelo de M. Aquilino ressalta que “[...] as normas estão mais voltadas ao produto e não ao sistema, mesmo a norma de desempenho”. Lembra também que deve-se tomar cuidado com a literatura estrangeira, uma vez que o Brasil é um país tropical, tendo assim necessidades de projeto muitas vezes diferentes de outros locais no mundo.

Essa escassez de ferramentas regulamentadoras atenta também para a questão dos ventos, já que a Região Sul do Brasil tem sido afetada por um aumento preocupante de tempestades. Podemos citar como exemplos os temporais de: Novo Hamburgo, em janeiro de 2014 (JORNAL NH, 2014); Porto Alegre, em janeiro de 2016 (SGARBI, 2016); e São Francisco de Paula, em março do ano corrente (GLOBO, 2017a). Blessmann (2001), já alertava para a questão do efeito estufa, uma vez que este propicia alterações nas temperaturas dos mares, o que desencadeia o desenvolvimento de ciclones tropicais e um aumento na frequência das grandes tempestades. Essa questão é extremamente preocupante, visto que a *ABNT NBR 6321/1988* já entrou em revisão.

Em função disso, fica ressaltada a preocupação com a inadequada concepção e dimensionamento de projeto, bem como execução do sistema de fachada ventilada, uma vez que podem acarretar danos nas edificações em geral, bem como mortes.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Aprofundar o conhecimento do sistema de fachada ventilada como um todo, analisando paralelamente: a influência do vento no dimensionamento correto de seus componentes, de acordo com a *ABNT NBR 6123/1988*, e o desempenho de revestimento de basalto, realizando o comparativo deste com amostras de granito *Preto São Gabriel e Itaúna*, norteados pela *ABNT NBR 15844/2015* e *15845/2015*, sendo que este *case* de obra localizada em Porto Alegre.

2.2 Objetivos específicos

- Estudar as exigências dos ventos da Região Sul do Brasil e influência sob o sistema de fachada ventilada;
- Ensaiar placas de basalto e granito, para aferir seu desempenho como sistemas de revestimento não aderido;
- Participar de eventos cujos temas fossem do âmbito do presente trabalho;
- Visitar obras cujo sistema estivesse sendo executado;
- Analisar e avaliar os resultados obtidos.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Fachadas

O aperfeiçoamento técnico e intelectual são características do homem durante seu processo evolutivo, refletidas nas edificações desde os materiais explorados, ao modo como executavam as estruturas. Enquanto a arquitetura grega evoluiu da rocha bruta ao mármore esculpido e apoiado como forma de estrutura, os romanos descobriram a pozolana e cal, desenvolveram um material ligante com o qual passaram a solidificar suas estruturas, além de desenvolver a técnica do chapisco, emboço e reboco, e explorar o uso de mosaicos e cerâmica. Também é sabido que nos tempos de César já existiam casas revestidas de mármore, mais especificamente a casa de Mamurra, o prefeito dos engenheiros de César na Gália (VILLALBA, 1999).

Nota-se que as descobertas dos materiais construtivos e a exploração de seus usos foi de extrema importância para as fachadas, pois, de acordo com Patón (1995a), a criação de uma nova forma arquitetônica, ou mesmo de uma nova técnica construtiva, nunca ocorre de forma casual ou instantânea. Esta corresponde a um processo lento e demorado de maturação de ideias, que muitas vezes podem ser interpretadas como um desejo atemporal, que em determinado momento encontra a circunstância e os meios de desenvolver-se.

Outra descoberta de grande relevância foi ocorrer somente no Renascimento, quando o cimento *Portland* substituiu os ligantes naturais como a cal e o gesso, e a produção de materiais cerâmicos foi padronizada (VILLALBA, 1999). Quanto ao conceito de fachada, segundo Leão (2013, p. 95), no que tange à casa unifamiliar, teve seu uso iniciado no Renascimento Italiano, séculos XV e XVI, isso porque neste período, as superfícies externas deixaram de ser “[...] muros perfurados com orifícios destinados à iluminação e ventilação [...]”, e passaram a transmitir o *status* do proprietário. Ainda de acordo com a autora, o contrato do Palácio Sansedoni, de 1340 em Siena, seria o primeiro documento conhecido que apresenta desenho a mão livre, em escala, de uma fachada.

Porém, mesmo depois de muitos anos de estudo e aprimoramento das técnicas de arcos, abóbadas e cúpulas, a estrutura ainda sofria limitações quanto ao vão e a espessura das paredes. Quanto maior o vão desejado, maior a estrutura de sustentação, logo, mais espessas as paredes. Essa questão não influenciava a ornamentação da fachada, que foi trabalhada de

forma elaborada durante todos os períodos e estilos arquitetônicos. Os materiais usados eram diversos, desde o próprio tijolo aparente, a parede rebocada com pintura simples ou afrescos, placas de mármore aderidas, bem como cerâmicas e mosaicos, ou seja, uma infinidade de materiais e formas. Essa preocupação com a estética, exaltou a necessidade que os arquitetos tinham em disfarçar a estrutura, muitas vezes até criando peças moldadas de argamassa, rochas esculpidas, praticamente esculturas, que passavam a ser aderidas à fachada.

No final do século XVIII, a construção civil passou a concentrar a sua atenção ao ferro, o que acelerou a busca pela qualidade do mesmo. Iniciando pela execução de pontes, não demorou para que edificações passassem a ter a estrutura inteira concebida em ferro, aliada ao vidro, bem como ao uso de tijolos como sistema de vedação. Mas o concreto armado, grande divisor de águas, foi descoberto somente no século XIX. A partir de então, toda a concepção de estrutura foi remodelada, e desencadeou no que vivenciamos hoje (VILLALBA, 1999).

Cabe ressaltar que no período do Modernismo, quando a estrutura passou a ser levada ao seu mínimo formato, a fachada foi motivo de muito debate, pois muitas eram as opiniões. Mas era fato que o conceito de fachada estava desaparecendo, uma vez que não havia lugar do edifício que não era aproveitado, sob o propósito de ser funcional (LEÃO, 2013).

O sistema de fachada, como atualmente executado, resultou de um longo processo de descobertas e aprimoramentos. Mas a premissa básica que levou a tudo isso, consistia na necessidade que os construtores e arquitetos da antiguidade possuíam, de encobrir e disfarçar a estrutura, no intuito de sofisticar a edificação. Os materiais usados como estrutura não eram necessariamente nobres, em sua maioria tijolos de barro e rochas assentados com argamassa colante, pois assim não alavancavam custos. O ato de revestir a estrutura com mármore, argamassa e pinturas, era mais barato, e resultava no efeito de valorização desejado.

Mesmo com a descoberta do concreto armado, e das possibilidades de amplitude de vãos em planta e verticalmente, esbeltez de pilares e paredes, ou seja, a estrutura como hoje é conhecida, também foram desenvolvidos outros sistemas estruturais, onde as paredes continuam agindo como estruturas, o caso da alvenaria estrutural. Logo, o sistema de fachada, antes meramente estético, passou a desempenhar responsabilidades como sistema construtivo, de vedação.

Para Siqueira Júnior (2003, p. 1) a fachada, juntamente com a cobertura, constitui o envelope da edificação e, portanto, são as responsáveis pela manutenção das condições ambientais internas, tais quais: “[...] o conforto termoacústico, a insolação e a manutenção dos

níveis de segurança e privacidade dos usuários”. Tanto, que atualmente os projetos de fachadas são primordiais, e as etapas das obras são bem definidas, a estrutura e fachada são sistemas totalmente diferentes entre si, uma vez que a mão de obra responsável pela execução da estrutura da obra, não necessariamente é a mesma que executará os revestimentos de fachada.

Outro fato que contribuiu efetivamente para que se desenvolvesse uma gama muito grande de vedações verticais, foi o aperfeiçoamento de materiais como vidros, metais, cerâmicas, porcelanatos e afins. Segundo Patón (1995a, p. 4, tradução nossa), “a arquitetura busca a pele idônea para um corpo que é cada vez mais ágil e dinâmico”.

3.1.1 Revestimentos de fachadas

De acordo com a ABNT NBR 13755 (1996, p. 2), o revestimento externo é:

Um conjunto de camadas superpostas e intimamente ligadas, constituído pela estrutura suporte, alvenarias, camadas sucessivas de argamassas e revestimento final, cuja função é proteger a edificação da ação da chuva, umidade, agentes atmosféricos, desgaste mecânico oriundo da ação conjunta do vento e partículas sólidas, bem como dar acabamento estético.

Siqueira Júnior (2003, p. 17), define que os revestimentos de fachada “têm como principal função proteger as vedações e a estrutura contra a ação de agentes agressivos, evitando a degradação precoce das mesmas, aumentando sua durabilidade e reduzindo os custos de manutenção dos edifícios”. Pode-se complementar, conforme Sabbatini et al. (2003), suas funções como estanqueidade ao ar e à água, proteção térmica e acústica, e segurança ao fogo, sem esquecer que é responsável pelas características estéticas do edifício, devendo valorizá-lo economicamente, além de estabelecer um padrão para a edificação. Conceitos estes, atestados pela ABNT NBR 15575 – 1 e 4 (2013), acrescentando ainda as exigências do usuário e as incumbências dos intervenientes: fornecedor de insumo, material, componente e/ou sistema; projetista; construtor e incorporador, e usuário.

Existem diversas formas de classificar os revestimentos, Siqueira Júnior (2003, p. 18), “entre outras, pode-se classificá-las de acordo com o processo construtivo ou pela forma como eles são fixados ao vedo das fachadas”. Faremos uso da classificação adotada por Medeiros e Sabbatini (1999, p. 4), onde são classificados como:

- Revestimentos aderidos: aqueles que “[...] trabalham completamente aderidos sobre bases e substratos que lhe servem de suporte [...]”; e,

- Revestimentos não aderidos: aqueles que possuem “camadas com função de isolamento térmico, acústico e de impermeabilização, que não permitem aderência entre as camadas [...]”, onde os revestimentos necessitem de fixação por meio de componentes mecânicos, como insertos, parafusos e afins.

Oliveira (2009) menciona outra classificação que se torna objeto de interesse para o presente trabalho, o qual se refere à densidade superficial de uma vedação, que pode ser dividida em:

- Revestimento de fachada pesado: aquele onde as vedações verticais podem ser estruturais ou não, e cujos elementos constituintes possuam densidade superficial superior ao limite de aproximadamente 100kg/m².

- Revestimento de fachada leve: aquele onde as vedações verticais não são estruturais, cujos elementos constituintes possuem densidade superficial inferior ao limite aproximado de 100kg/m². A ABNT NBR 15.575-4 (2013) classifica este limite como sendo 60kg/m².

Saindo do âmbito das classificações, Siqueira Júnior (2003) atenta para a situação crítica consolidada dos revestimentos de fachada como a parcela mais dificultosa da execução de edifícios no Brasil. Os riscos envolvidos, do surgimento de patologias aos problemas econômicos, transformam a fachada num facilitador de desgaste da imagem institucional do construtor, o que afeta sua subsistência num mercado da construção civil cada vez mais competitivo, além da representatividade dos custos com manutenção, tanto a rotineira como a corretiva. Transformando o sistema fachada, dentro do roteiro de etapas de execução do edifício tradicional, o mais complexo e responsável pelo ciclo crítico dos serviços.

O mesmo autor alega que, devido a esses fatores, os construtores partiram em busca de alternativas capazes de minimizar seus riscos. Tendo como aliado um mercado que se mostra receptivo à inserção de novas tecnologias, capazes de promover durabilidade, conforto e, principalmente, a segurança, a qual as fachadas tradicionais não são aptas a oferecer. Contando ainda com o respaldo de grandes construtoras nacionais calejadas, que se disponibilizam a pagar mais por novas soluções, em função de seus benefícios.

3.2 Fachadas ventiladas

3.2.1 Breve histórico

Segundo Patón (1995b), Otto Wagner, professor da Academia de Bellas Artes de Viena, se viu envolvido num dos grandes debates do século XX: o confronto entre, engenheiros e arquitetos, e o peso dos modelos históricos e a introdução de uma modernidade mal vislumbrada. Logo, no intuito de conter gastos e tempo de execução de obra, distinguiu o conceito entre estrutura e revestimento, sendo o responsável por introduzir uma nova técnica construtiva.

A fachada com revestimento não aderido e juntas abertas, vem a ser a evolução de uma técnica construtiva que foi desenvolvida por Otto Wagner, associando a mesma ao conceito de paredes duplas (*cavity wall*) (SIQUEIRA JÚNIOR, 2003).

De acordo com o próprio Wagner, através de seu livro *Die Baukunst unserer Zeit (A arte de construir do nosso tempo)*, citado por Patón (1995b, p. 5-6, tradução nossa):

[...] para o revestimento exterior de um edifício seria possível utilizar placas, que ‘podem ter uma espessura menor e serem de um material mais nobre (por exemplo, mármore de Laas). A fixação destas placas poderia ser realizada com insertos de bronze (rosetas). Para suportar a cornija, dividida em delgadas camadas, poderia-se utilizar suportes de ferro fixados à obra e revestidos com uma subestrutura de bronze em forma de mísula’. Desta maneira, assegura que a quantidade de pedra se reduziria à uma quinta ou sexta parte do necessário segundo o sistema tradicional, e o número de elementos construtivos seria menor, podendo-se empregar materiais mais nobres com menores meios econômicos.

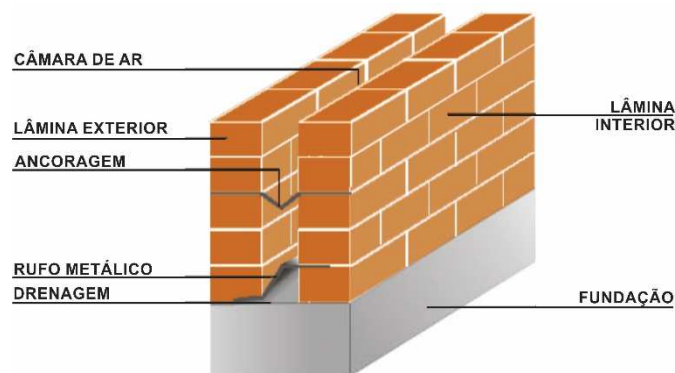
Assim, em 1902, no desenho para o *Kaiser Franz Josef Stadtmuseum*, Wagner faz uso, pela primeira vez, de placas de granito e mármore afixadas por meio de estrutura metálica. Ele faria uso deste mesmo sistema nas superfícies externas da Igreja de São Leopoldo “*am Steinhof*”, construída entre 1905 e 1909, onde utilizou peças de mármore de 2 centímetros de espessura, que foram fixadas em somente um ponto com parafusos de cobre, e amarradas por tiras horizontais da mesma pedra, sendo que estas, com o dobro de espessura, fixadas por dois pontos. (PATÓN, 1995b).

O trabalho de Wagner pode ser considerado como o primeiro passo para o que hoje são as fachadas ventiladas, embora desejasse apenas a inovação estética, com ganho em execução e diminuição de custos. Analisando sob essa perspectiva, como pode ser visto na

Figura 1, as paredes duplas (*cavity wall*) vem complementar a necessidade de uma fundamentação técnica do sistema, a nível de proteção da edificação. Logo, de acordo com Eiras (1995), em 1898, no *Builder Journal*, foi registrada a descrição de *cavity wall*, considerada um esforço em busca do “arejamento” no século XIX. As paredes duplas surgem com o intuito de restringir a parede interna à estrutura, e a parede externa como a envoltória.

Para Siqueira Júnior (2003), o conceito de *cavity wall* surgiu associado às construções de alvenaria, numa tentativa de controlar a temperatura e reduzir a umidade na superfície das paredes internas. Entre a parede interna e externa de alvenaria, era executado um espaçamento, uma câmara de ar, entre 50 e 75 milímetros de espessura, no intuito de controlar a entrada de água da chuva por capilaridade.

Figura 1 – Seção transversal de uma “*cavity wall*” em alvenaria



Fonte: Adaptado de Siqueira Júnior (2003).

As primeiras *cavity walls* logo apresentaram dificuldades de execução. As paredes externas, de vedação, eram autoportantes, logo a aplicação do sistema em edificações altas tinha limitações, ou exigiam a ancoragem da parede externa na interna, o que criava pontes térmicas. Além de que, as paredes externas se movimentavam muito mais que as internas devido à variação térmica, e ainda, assim que as condições de conforto no interior das edificações aumentavam, ocorria a condensação. Dessa forma o sistema foi aprimorado, criando maior vinculação entre as paredes externa e interna, através, tanto da estrutura de fixação da parede externa, como pelos caixilhos das esquadrias. Como medida para evitar as diferenças de movimentação que essa alteração acarretaria, foi inserida uma camada de isolamento térmica no interior da câmara, bem como se desenvolveu a ventilação da mesma, dessa forma, o calor presente no interior da câmara era removido rapidamente por convecção,

a água que por ventura ainda entrava era rapidamente removida, e ainda era possível proteger o isolamento dos raios solares (EIRAS, 1995).

3.2.2 Diferenciação

É necessário fazer uma diferenciação entre os termos fachada cortina e fachada ventilada. Siqueira Júnior (2003), encontrou uma certa inconstância no meio técnico e acadêmico, bem como nas indústrias fabricantes de componentes e empresas montadoras de fachadas não aderidas, sobre o entendimento de ambos os termos. Portanto, adotaremos o entendimento de Maciel (2013, p. 48) que defende:

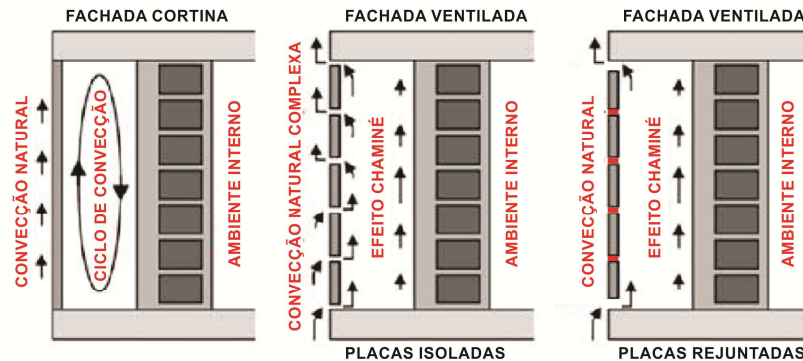
O sistema de fachada ventilada é uma vertente do chamado sistema de fachada cortina, que é caracterizado por ser um sistema não aderido, instalado através de *inserts* metálicos ou subestrutura metálica com uma câmara de ar, sendo que no caso da fachada ventilada, o ar é renovado constantemente, ou seja, toda fachada ventilada é caracterizada como fachada cortina, mas não o inverso.

Conforme Sanjuan et al. (2011, p. 1855, tradução nossa), “nas fachadas cortina, desenvolve-se um ciclo convectivo, onde o ar próximo à película externa é aquecido e sobe, enquanto o ar próximo da parede interna é resfriado e desce [...]”. O ciclo inverte quando da película externa estar mais fria que a parede interna. No sistema de fachada ventilada, “o ar pode vir e ir, e – assumindo que a película externa é mais quente que o ar exterior – parte do calor convectivo no lado interno das placas vai ser extraído para a atmosfera”, o que denominamos como efeito chaminé.

De acordo com Moura (2009, p. 36), “essa lâmina de ar é a característica dominante do sistema de fachada ventilada [...]”. Simplificando o seu funcionamento, “[...] o ar mais quente sobe e, pela diferença de pressão, suga para dentro da cavidade o ar mais fresco. O ar da cavidade é continuamente renovado e não chega a aquecer a face do corpo da edificação, que permanece protegida.”

Há também um outro sistema de fachada ventilada, onde as placas são rejuntadas e se transformam num grande painel solidificado. Neste sistema a entrada de ar se dá por meio de um dispositivo na parte inferior da fachada, e a saída junto à parte superior da fachada. Com o auxílio da Figura 2, fica evidenciada essa diferenciação entre os sistemas:

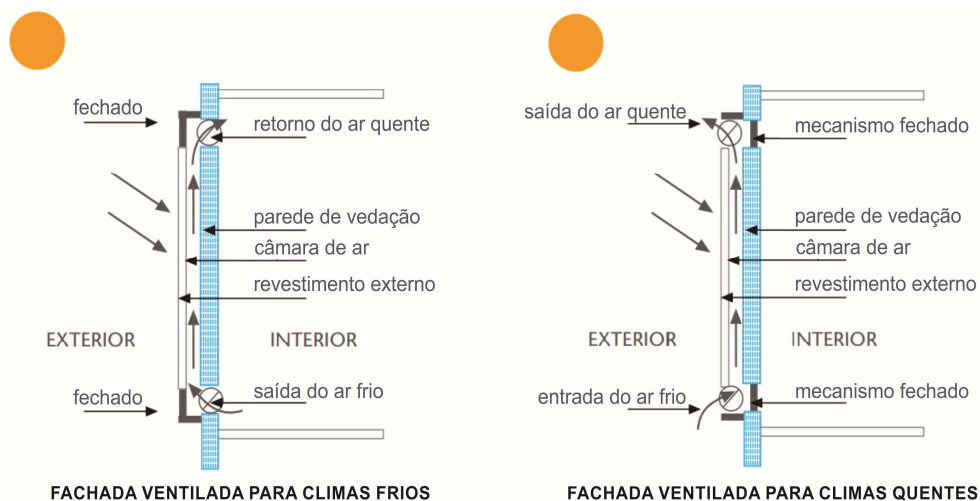
Figura 2 - Diferenças sistemáticas entre fachada cortina, fachada ventilada com placas isoladas e fachada ventilada com placas rejuntadas



Fonte: Adaptado de Sanjuan et al. (2011).

Ainda, no caso das placas rejuntadas, a ventilação pode ser executada de duas formas, externa ou internamente. Essa diferenciação ocorre devido à aplicação do sistema em climas ou estações diferenciadas, aliada a criação de dispositivos de abertura e fechamento das captações de ar. Na Figura 3 são apresentadas as soluções para climas frios, onde a fachada ventilada tem função de isolamento térmico, além de contribuir para o aquecimento interno através do seu potencial de acúmulo de calor, e para climas quentes, onde garante a proteção solar e atua como regulador térmico do interior da edificação. Segundo Siqueira Júnior (2003), essa tipologia de fachada ventilada propicia a separação horizontal entre pavimentos, funcionando como barreira para a propagação de fogo e fumaça em casos de incêndios.

Figura 3 - Fachadas ventiladas para climas frios e quentes: renovação de ar



Fonte: Adaptado de Maciel (2013).

3.2.3 Definição

Conforme já citado no item anterior por Maciel (2013), Moura (2009) ressalta que a fachada ventilada é classificada como um revestimento não aderido, onde uma subestrutura, geralmente de alumínio ou aço inoxidável ajustável, é afixada na estrutura ou vedações da edificação e suporta o revestimento. Dessa maneira há a formação de uma cavidade, com aproximadamente 10 cm a 15 cm entre os dois paramentos, a qual funciona como um colchão de ar renovável devido as aberturas, podendo ser através das juntas abertas entre as placas ou pela abertura inferior e superior do painel solidificado.

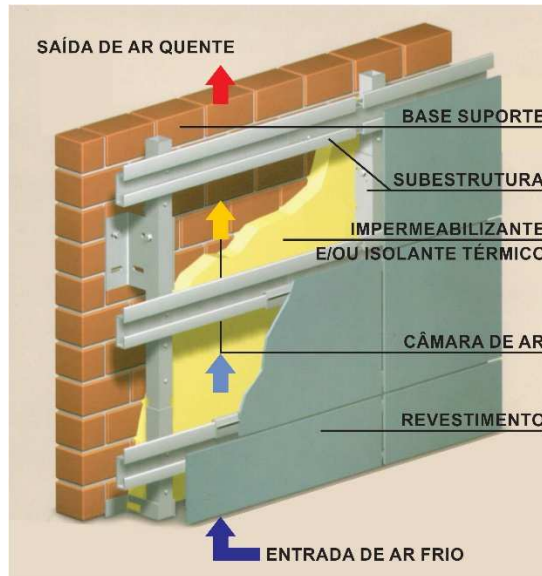
Para Medeiros et al. (2014, p. 98):

[...] a eficiência do movimento do ar depende do correto dimensionamento das aberturas de entrada e saída da câmara de ar, das aberturas entre os painéis de fechamento e do afastamento entre estes painéis e a estrutura principal, além das condições de ventilação atuante sobre a fachada. O afastamento típico para esta finalidade normalmente se situa entre 10 a 20 cm e é determinado também em função do tipo de ancoragem, da subestrutura e da necessidade de alinhamento vertical da fachada.

Cabe ressaltar que, de acordo com Moura (2009), outra característica que influencia no dimensionamento da câmara de ar, ou seja, o afastamento do revestimento da base suporte, é a necessidade de equilibrar-se a pressão no interior da cavidade, para que, se a água penetrar pelas juntas, escorra por trás das placas de revestimento. Segundo estudos que foram realizados na Alemanha, o percentual de água que consegue atingir a base suporte corresponde a 1%. Dessa forma, o sistema controla a entrada de água proveniente da chuva que incide sobre a fachada, de modo a praticamente eliminar as infiltrações que são causadas por mástique ou fadiga secante, cujo percentual passante pode ser controlado com o uso de camada impermeabilizante.

Segundo definição de Campos (2011, p. 37), a fachada ventilada tem seu isolamento térmico garantido através do sistema de multicamadas com ventilação. “É construída uma sequência de camadas funcionais, as quais apresentam performances específicas para garantir os requerimentos desejados.” Na Figura 4 são esquematizados todos os elementos que compõe o sistema: a base suporte, a subestrutura, a camada de isolamento acústico, térmico e/ou de impermeabilização, a câmara de ar e o revestimento.

Figura 4 - Elementos componentes da fachada ventilada

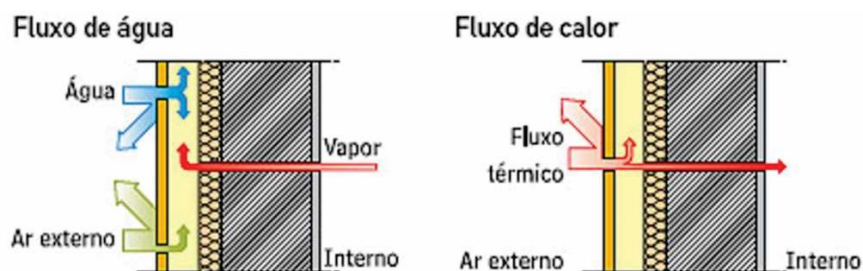


Fonte: Adaptado de Campos (2011) e Radoll (2012).

Sua consolidação como sistema de revestimento de fachada vem também, em resposta às manifestações patológicas nas fachadas cujos revestimentos são aderidos, tanto os argamassados como os de placas cerâmicas e afins. O comportamento distinto, na interface das diversas camadas, acarreta a presença de tensões de cisalhamento, as quais comprometem seu desempenho e resultam na sua deterioração, conjunto que compromete a habitabilidade e valorização dos empreendimentos (SIQUEIRA JÚNIOR, 2003).

As vantagens do sistema de fachada ventilada são inúmeras, dentre elas, como pode ser visto na Figura 5, a dispersão do vapor que está presente no interior das paredes, o que garante a eliminação da umidade tanto em edifícios novos, como naqueles que são alvo de *retrofit*. Dessa forma o vapor formado no interior do edifício pode ser parcialmente expelido pela parede, o que contribui para a conservação da estrutura (MOURA, 2009).

Figura 5 - Sistemática dos fluxos de água e calor no sistema de fachada ventilada



Fonte: Moura (2009).

Para o vapor que condensa no interior da cavidade, bem como para a água da chuva passante, além da camada de impermeabilização, segundo Mizgier e Penso (2016), é recomendado um sistema de drenagem, além de grades inferiores e superiores que impeçam a entrada de insetos.

As maiores vantagens do sistema estão intimamente ligadas à redução de custos com energia para refrigeração e calefação, conforme Rocha (2011, p. 46-47):

“Com o sombreamento das paredes de fachada e a introdução da camada de ar pode-se conseguir acentuada melhoria da isolamento térmica das fachadas, com redução dos fluxos de calor entre os ambientes interno e externo e menor consumo de energia por aparelhos de ar-condicionado. Pode também, como uma “capa” protetora, preservar a estrutura e prolongar a vida útil da edificação [...] Outras vantagens apontadas por especialistas são uma fachada livre de descolamento, trincas e eflorescências; montagem sem desperdício e com a estrutura em andamento, maior conforto térmico com redução no consumo de energia; redução da pressão do vento na vedação interna; controle da passagem de água sem silicone nas juntas e redução de gastos com manutenção”.

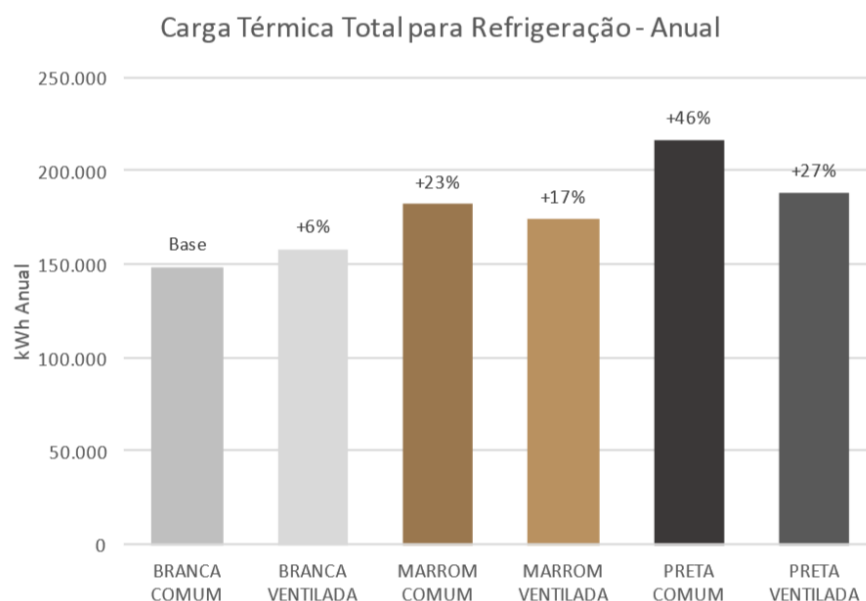
Moura (2009, p. 37) defende que o sistema também oferece a proteção acústica, uma vez que as multicamadas do sistema funcionam como obstáculos e atenuam os ruídos provenientes do exterior. No quesito revestimento, devido a evolução dos materiais adquirindo grande desempenho técnico e estético, é garantida às fachadas ventiladas a criação de invólucros de grande eficiência, além de “[...] excelente resistência às variações higrotérmicas e aos agentes atmosféricos em geral.” Lembrando que além da gama de revestimentos, proporciona grande liberdade no projeto da fachada, o que garante a valorização estética do empreendimento.

Diante da variação térmica ocorrida na estrutura do edifício, as fachadas ventiladas apresentam boa capacidade de adaptação, pois as placas de revestimento são independentes entre si, ou seja, fixadas separadamente à subestrutura o que permite a elasticidade da ancoragem, fazendo com que tenham liberdade, dilatando-se de acordo com seu próprio coeficiente. Esse processo garante que o revestimento não sofra dano devido a esforços adicionais relevantes, que poderiam vir a romper alguma das placas, provocando a degradação na fachada, o que demandaria ações de manutenção, como ocorre tradicionalmente em fachadas convencionais. No caso de alguma placa eventualmente vir a se romper, o sistema permite a fácil substituição, assim como a repaginação de toda a fachada através da troca das placas, com facilidade e agilidade (MOURA, 2009).

A incorporação da fachada ventilada ao projeto da edificação, é um facilitador na obtenção de certificações de sustentabilidade segundo Moura (2009), isso porque além de ser responsável pela redução significativa do consumo de energia com climatização, é um sistema industrializado, que faz uso de materiais recicláveis, o que garante facilmente o seu reaproveitamento, ou seja, desmontagem e montagem em outro local, além de ser de rápida execução, de acordo com Rocha (2011), o tempo médio é de 70 min/m². Essa racionalização vem de encontro ao desperdício presente na construção civil, que, de acordo com o tipo de material, pode ser da grandeza de 5% a 40%.

Mizgier e Penso (2016, p. 1387) alertam que “[...] este sistema deve ser avaliado conforme o clima onde será aplicado, uma vez que seu desempenho energético envolve trocas térmicas complexas, além da influência da cor, absorvância solar das superfícies e dos aspectos referentes à geometria da edificação”. Segundo a pesquisa, com o auxílio do programa *Energi Plus*, compararam o sistema de placas cerâmicas aderidas com o sistema de fachada ventilada com placas cerâmicas, de forma a relacionar entre si diferentes cores com o desempenho térmico. Como resultados, conforme a Figura 6, obtiveram que o sistema de fachada ventilada não é necessariamente o melhor em todas as situações, pois demonstrou maior coerência quando utilizado com revestimentos de maior absorvância solar, os mais escuros, onde o consumo de carga térmica para refrigeração apresenta maior diferença, de 19%. O uso com o revestimento claro não destacou seu potencial como sistema ventilado.

Figura 6 – Comparativo de resultados de carga térmica



Fonte: Mizgier e Penso (2016).

Com base em Rocha (2011), o sistema de fachada ventilada apresenta mais algumas desvantagens: não sendo ideal para curvas muito acentuadas; em casos de *retrofit* de fachadas, avança o alinhamento das edificações, o que limita o seu uso devido a questões de legislação vigente, em âmbito municipal; para ser viável deve-se utilizar modulação, o que o torna repetitivo esteticamente; a instalação das peças de revestimento é passível de atraso quando o recorte é executado na obra, além de gerar entulho. Apesar de ser um sistema de rápida instalação, o seu projeto demora mais que a sua execução.

A ocorrência de ruptura das placas também é um problema, porque ela se dá através da combinação da liberdade de movimentação do dorso da placa aliada aos esforços que atuam perpendicularmente à sua superfície, o que gera tensões de tração na face oposta ao carregamento, gerando a ruptura (MOREIRAS, 2014).

Outro empecilho, citado por Moura (2009), consiste na falta de normas brasileiras específicas para essa tipologia de revestimento de fachada, mesmo que hoje o sistema seja adaptado às normas de esquadrias, cujas exigências podem ser consideradas semelhantes. Oliveira (2009) também indica o uso da *ABNT NBR 10821*, embora a autora faça referência à norma do ano 2000, a mesma está atualizada e foi publicada em 2017, e consiste na norma mais atual que faz referência sobre a ação dos ventos sobre os elementos de vedação, porém mais especificamente, as esquadrias. De acordo com a ABRAESP (Associação Brasileira das Indústrias de Portas e Janelas Padronizadas, 2017) espera-se que haverá uma parte da mesma norma, talvez ainda publicada em 2018, que apresente especificações no que tange fachadas-cortina, sistema que mais se assemelha ao sistema em estudo. Enquanto isso, Carneiro (2015) defende que se faça uso das normas europeias, como a *UNE 41.957-1* e a *NP EN 13.830*, cuja primeira se aplica ao sistema de fixação de placas pétreas e a segunda às características técnicas da fachada-cortina.

Siqueira Júnior (2003, p. 40) elenca ainda outras desvantagens:

- ausência de normas de desempenho e de requisitos de desempenho que agreguem valor comercial ao produto;
- necessidade de mão de obra qualificada e treinamento;
- dependência de mudanças organizacionais nos processos de gestão do empreendimento e da produção;
- pouca diversidade de complementos e acessórios adequados ao mercado brasileiro;
- exigência de projeto específico detalhado e que defina o processo de montagem;
- custos elevados quando comparada com os revestimentos aplicados da maneira tradicional.

Todos os limitadores supracitados, agregam custos bem superiores ao sistema, quando comparado ao sistema tradicional, dificultando sua consolidação no Brasil. Além do paradigma cultural conservador.

No Quadro 1 são representadas esquematicamente, as distintas configurações dos sistemas de fachada ventilada, de acordo com sua apresentação no mercado:

Quadro 1 - Configurações do sistema de fachada ventilada

Elementos	Opções
Operabilidade da câmara de ar	Ventilação constante ou aberturas operacionalizáveis
Sistema de fixação	Visível ou oculto
Juntas	Abertas ou fechadas
Revestimento externo	Concreto polimérico; Alumínio perfilado e tricamada; Vidro; Cerâmica (extrudada ou porcelanato); Compostos fenólico e melamínico; Madeira modificada; Placas fotovoltaicas; Naturocimento - fibrocimento; Rochas naturais e tecnológicas;

Fonte: Adaptado de Mizgier e Penso (2016).

3.2.3.1 Base suporte de fixação

A fixação dos revestimentos pode ser realizada de duas maneiras: direta ou pontualmente, quando o inserto metálico é afixado diretamente na base suporte, sendo a única ponte entre o revestimento e a vedação; ou indiretamente, por meio da fixação dos insertos em uma subestrutura auxiliar (CAMPOS, 2011). A fixação pontual, para fins de aproveitamento das câmaras de ar, exige mais amplitude dos *inserts* e da ancoragem à vedação, portanto o sistema com uso de subestrutura é o mais indicado, apesar de encarecer o sistema.

Segundo Siqueira Júnior (2003, p. 57), “[...] a possibilidade de se ancorar a subestrutura auxiliar em um ou mais pontos intermediários contribui para a diminuição da seção dos perfis montantes, acarretando na redução da massa de alumínio a ser utilizada.” Sob esse aspecto, é imprescindível que o projetista possua “[...] o domínio tecnológico sobre o elemento de vedação vertical a ser utilizado.” Mas isso somente, se fizer uso da mesma para ancoragem, devendo saber a sua capacidade resistente. Quando as ancoragens forem pontuais ou isoladas, afixadas diretamente à parede de vedação, o mesmo somente é aceitável se a parede for de tijolo, bloco perfurado ou maciço, de acordo com os componentes mais utilizados, seu grau de confiança é apresentado no Quadro 2.

Quadro 2 – Grau de confiabilidade do substrato na função de base de ancoragens para revestimentos não aderidos

Natureza do suporte	Grau de confiabilidade
Concreto	Excelente
Tijolo maciço	Muito bom
Tijolo perfurado	Bom
Bloco de concreto com paredes de 30 mm	Bom
Tijolo cerâmico com pequenas células ocas	Bom
Bloco cerâmico vazado	Inaceitável*

Nota: Quando do dimensionamento da ancoragem deve-se levar em conta, além da resistência do material, a situação das juntas e bordas da alvenaria.
* Quando utilizado sem reforços, como cintas entre outros.

Fonte: Adaptado de Soriano (1999), citado por Siqueira Júnior (2003).

Na intenção de alcançar maior confiabilidade do substrato, foram inseridas novas metodologias construtivas nas alvenarias de vedação, esperando também diminuir os custos agregados ao quantitativo de materiais da subestrutura metálica. Uma vez diminuindo as distâncias de ancoragem, diminui-se as exigências sobre os insertos, implicando muitas vezes também na dispensa do uso de montantes. Mas de acordo com Campos (2011), soluções como fiadas ou blocos de concreto intercalados com a alvenaria, mostradas na Figura 7, acabam gerando perda de produtividade e desperdício de material.

Figura 7 – Elementos de concreto em meio à alvenaria



Fonte: Adaptado de Campos (2011).

Quando não for possível a utilização da vedação externa para suporte, faz-se as ancoragens diretamente nos elementos estruturais, tais quais: lajes, vigas e pilares. Siqueira

Júnior (2003) alerta, porém, para a questão das deformações da estrutura, pois uma vez que o revestimento não aderido é afixado em algum substrato, está se sujeitando aos esforços do mesmo.

No caso da estrutura reticulada de concreto armado, devem ser consideradas: as movimentações causadas pelo encurtamento de pilares e flexão das vigas, ocasionados pela deformação lenta do concreto, que são consideradas as mais significativas, sendo responsáveis por 30% das deformações do primeiro ao quinto ano da estrutura colocada em serviço; as forças responsáveis pelo empuxo lateral, no caso ventos e terremotos; a distorção da estrutura em função de recalques diferenciais da fundação; e ainda, os esforços transmitidos pelas interações higrotérmicas, as quais podem ocasionar esforços não previstos e provocar falhas e até colapsos do sistema de vedação e da subestrutura auxiliar (SIQUEIRA JÚNIOR, 2003).

3.2.3.2 Isolante Térmico

Segundo Siqueira Júnior (2003), o isolante térmico pode ser dispensável, tendo seu uso indicado em determinados climas e dependendo das características do sistema de vedação da edificação. Quando julgado necessário, é instalado no interior da câmara, junto à edificação, antes da camada impermeabilizante e da subestrutura metálica, promovendo uma diminuição no ganho de calor durante o verão e redução da perda de calor no inverno, garantindo economia com sistemas de condicionamento de ar. O material de isolamento térmica deve ser incombustível, não higroscópico, inatacável por pragas, imputrescível, ter baixa condutibilidade térmica, resistência mecânica e resistir bem à temperatura em que é aplicado, além de ser compatível com o material metálico a ser utilizado na subestrutura auxiliar.

Dutra (2010) citado por Carneiro (2015), elenca como materiais isolantes a lã mineral e a espuma de vidro que não são comburentes, e cita também o poliuretano simples, projetado, expandido e extrudido, porém estes últimos são material combustível. Sabe-se que há no mercado soluções antichamas para poliuretanos, porém estes materiais acabam encarecendo o sistema.

3.2.3.3 Impermeabilizante

O produto impermeabilizante deverá ser aplicado após o isolante térmico, caso seja especificado, e antes da instalação das ancoragens. Para Silva (2012), deverá ser utilizado, preferencialmente, um cimento polimérico à base de resina acrílica, ou qualquer outro, desde que especificado em projeto técnico construtivo. No encontro das alvenarias com a estrutura deverão ser executados reforços com véu de poliéster, de forma que se evite fissuras, bem como infiltração de água.

3.2.3.4 Tipologias de fixação

Para Rocha (2011), as placas podem ser fixadas vertical ou horizontalmente, bem como nos dois sentidos, logo há uma infinidade de possibilidades para fixação dos revestimentos. Geralmente, junto à edificação são ancorados perfis metálicos, alinhados e devidamente nivelados. Segundo Oliveira (2009), a fixação das placas aos perfis metálicos, independente do material, se dá por meio de dispositivos, que podem ser de alumínio, aço carbono ou de aço inoxidável. Assim sendo, o projetista é o responsável por exigir de todos os componentes sua resistência mecânica, à corrosão e às altas temperaturas, bem como durabilidade, sua capacidade de deformação (coeficiente de dilatação) e ductibilidade (módulo de elasticidade).

Segundo Siqueira Júnior (2003), a fixação da subestrutura à base suporte pode se dar de três formas: dispositivos de fixação por adesão química, como a associação de resinas poliéster ou adesivo epóxico bicomponente com vergalhões ou barras roscadas; buchas de expansão, consistem em material de nylon que se expande pela torção do parafuso de fixação; e por fixação mecânica, no caso chumbadores, que se anexam à base suporte por meio de tensionamento passivo. O autor elenca que existem no mercado inúmeras variações dos sistemas de acoplamento, mas que apresentam a mesma estrutura básica, com diferenças apenas nos formatos dos montantes e cliques, bem como no modo de regulação dos componentes.

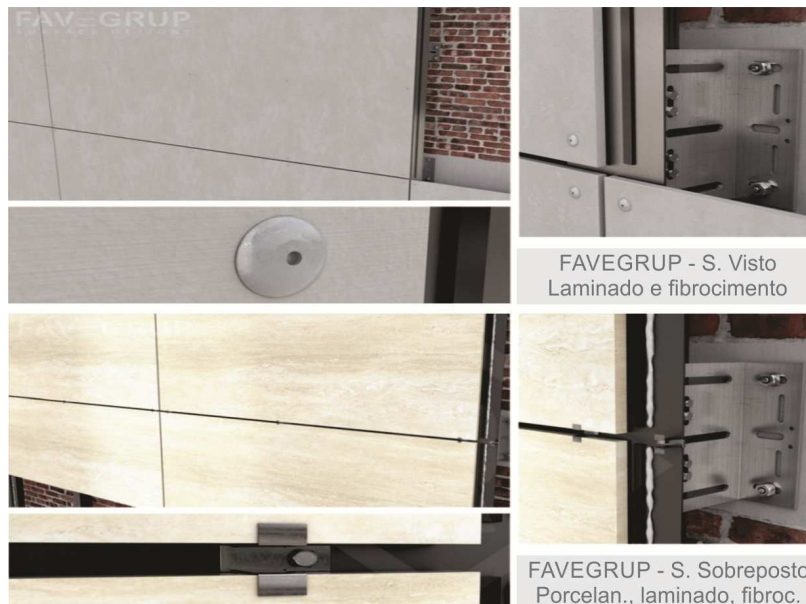
3.2.3.4.1 Fixação à vista

Nesta tipologia de fixação, o *insert* metálico que sustenta a placa fica visível externamente. Este sistema é destinado à fixação de placas delgadas, sendo que são afixadas por meio de grampos e ganchos de aço inoxidável, ou mesmo rebites, que ficam presos aos montantes verticais, sendo que na maioria das vezes são pintados da mesma cor que o revestimento, de forma a disfarçar, visualmente, a sua presença, como pode ser visto na Figura 8.

Pode ainda ser executada com as placas sobrepostas, estilo *clapboard*, de forma a simular escamas, o que garante a estanqueidade do sistema. Método aplicado à revestimentos de fina espessura, pois a perfuração dos mesmos é inviável, dessa forma pequenos ganchos se apoiam sobre a placa inferior e seguram a superior, deixando-as levemente inclinadas.

De acordo com Siqueira Júnior (2003), a subestrutura deste sistema é constituída por perfis montantes verticais, afixados à base por ancoragens em perfil “L” ou “U”, conexão executada com rebites auto perfurantes ou parafusos, sendo que geralmente são executados em alumínio série 6000 – T6.

Figura 8 - Fixação aparente para revestimentos de fina espessura

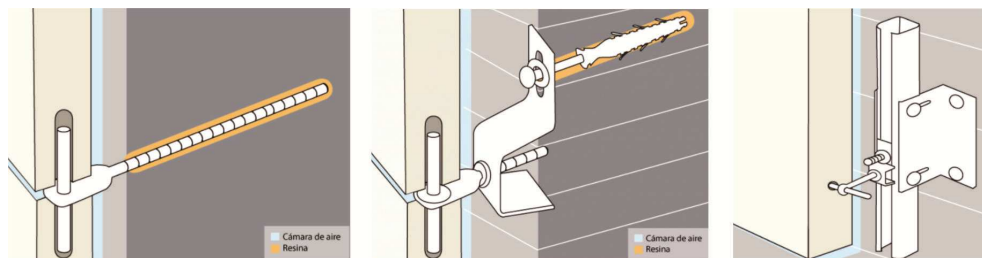


Fonte: Adaptado de Favegrup (2017).

3.2.3.4.2 Fixação oculta

Moreiras (2014) cita dois sistemas de fixação oculta pontuais, como os mais usuais para fixação de placas de rocha, placa mais espessa: o sistema americano, onde o inserto de encaixe possui forma de chapa ou perfil; e o sistema alemão, onde o inserto de encaixe possui forma de pino, sendo o mais utilizado no Brasil, conforme a Figura 9. As placas são fixadas nestes *inserts* por meio de rasgos do tipo *kerf*, ancoradas em 4 pontos, sendo que a largura/diâmetro destes entalhes é ligeiramente superior aos insertos, de forma que se faça uso de materiais de enchimento, luvas plásticas, capazes de absorver vibrações. Neste caso não se faz uso de montantes verticais, cada *insert* configura a ancoragem direta na base.

Figura 9 – Fixação pontual: *insert* tipo pino



Fonte: Adaptado de *site*, disponível em: <<http://bateig.com/piedra-natural/colocacion-piedra-bateig/>>. Acesso em 17 out. 2017.

Figura 10 – Fixação oculta de placas espessas



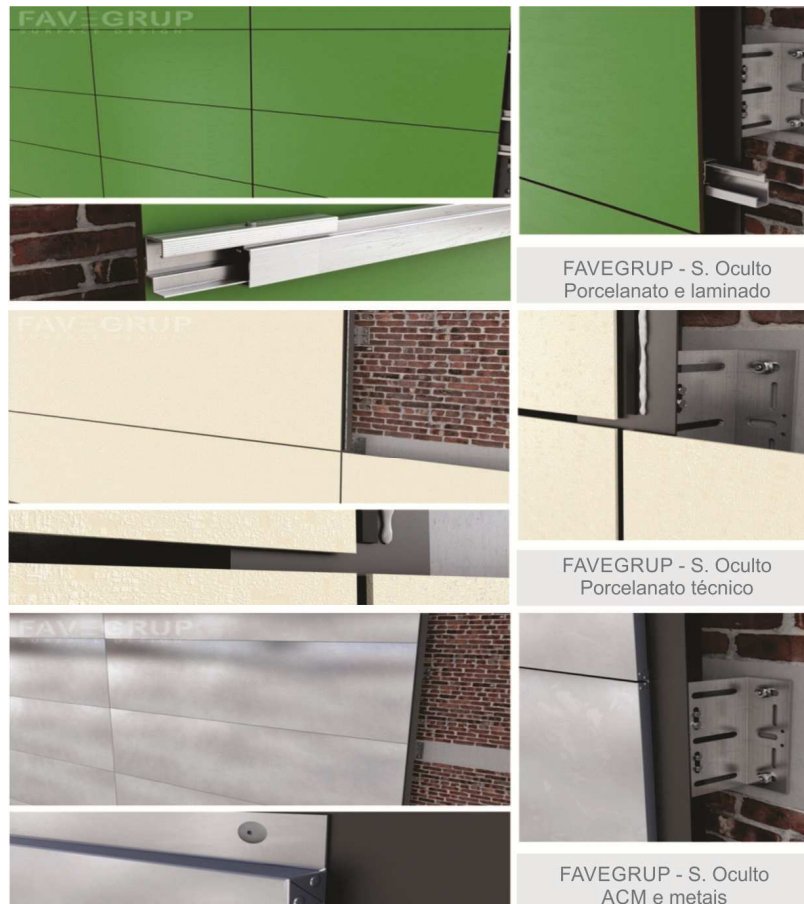
Fonte: Adaptado de Favegrup (2017).

Em sistemas com uso de subestrutura, podem ser considerados basicamente 2 tipologias para placas espessas, conforme visto na Figura 10: o tipo perfil contínuo para cerâmica extrudada, ou granitos e mármore com ranhuras no verso ou nas extremidades; ou então o tipo chapa/gancho, nos quais são encaixados placas de cerâmica extrudada e rochas, bem como laminados e porcelanatos.

No caso do perfil contínuo, conforme Siqueira Júnior (2003), a subestrutura é geralmente executada em alumínio extrudado, onde os montantes são verticais, afixados à base por ancoragens em perfil “L” ou “U”, e empregam-se guias horizontais ancoradas nos

montantes. Atentando para o alto coeficiente de dilatação térmica do alumínio, o autor indica os montantes com tamanho máximo de 3 m, cujas juntas na ordem de 10 mm, coincidam com as das placas de revestimento.

Figura 11 – Fixação oculta de placas delgadas



Fonte: Adaptado de Favegrup (2017).

Há também tipologias de fixação oculta para revestimentos de fina espessura, praticamente divididos em 2 tipologias, conforme a Figura 11: as rebitadas para revestimentos metálicos como o alumínio perfilado e trcamada (*aluminium composite material – ACM*), e as coladas. Sendo que estas últimas podem ser coladas em moldura metálica de sustentação afixada nos montantes verticais, ou com a colagem de elementos de aço inoxidável no dorso da placa, e estes aparafusam-se a um perfil de alumínio, que é afixado a um perfil horizontal por meio de grampos de pressão.

3.2.3.5 Juntas

A função das juntas consiste em absorver as deformações de origem estrutural e as de retração e expansão, provenientes do material de revestimento e da base de suporte, além de serem responsáveis pela estanqueidade do revestimento, denominadas horizontais e verticais, podendo ser abertas ou fechadas (SIQUEIRA JÚNIOR, 2003).

3.2.3.5.1 Juntas abertas

Consideradas como aquelas que permitem a infiltração de águas pluviais, segundo Siqueira Júnior (2003), não são indicadas para uso em locais com condições climáticas extremas, ou onde o revestimento seja passível de dano por vandalismo. Quanto ao espaçamento das juntas, há indicações de 3mm, desde que a câmara tenha no mínimo 45mm de espaçamento. Estudos com placas de grês porcelanato com 600mm x 600mm, executadas com juntas de 8mm apresentam resultados conforme Quadro 3:

Quadro 3 – Estudo de juntas abertas (8mm) em placas de 600 mm x 600 mm

Juntas	Somente horizontais	Verticais e horizontais
Espessura da câmara ventilada	60 mm	100 mm
Águas pluviais que adentraram na câmara	5,5 %	16,1 %
Água que atinge o paramento interno	0,3 %	0,4 %
Água absorvida pelo paramento interno*	0,1 %	0,1 %
*quando não há presença de camada impermeabilizante.		

Fonte: Adaptado de Marazzi (1997), citado por Siqueira Júnior (2003).

Siqueira Júnior (2003) explica que a função da junta é promover o alívio de tensões, e seu espaçamento poderia ser mínimo em função somente das tensões, porém neste caso (de 0,01mm a 4,5mm) a junta poderia criar uma ponte para a água, pois devido à tensão superficial propiciaria a aderência da lâmina d'água na superfície do revestimento. O ideal para este tipo de junta é o uso concomitante com camada de impermeabilização.

As juntas abertas, facilitam a equalização de pressões, considerada imprescindível no sistema de fachada ventilada, porque de acordo com Loredou-Souza e Masuero (1997) citado

por Radoll (2012), quando se consegue que a pressão da câmara seja igual à do vento no lado externo, a água se mantém mais pesada que o ar, caindo por ação da gravidade.

3.2.3.5.2 Juntas fechadas

De acordo com os estudos de Siqueira Júnior (2003), estas juntas tem a função de proteção contra a ação da chuva. Lembra que por princípio, o sistema de fachada ventilada não requer juntas seladas, portanto indica a criação de aberturas e drenos no revestimento, de forma que se consiga a equalização das pressões e também, o escoamento de águas que consigam penetrar no sistema. É necessário também, que os selantes que serão empregados, sejam testados previamente, especialmente os silicões, para prevenir possíveis questões de mudança de cor do mesmo devido à sua exposição aos raios UV, bem como a sua incompatibilidade química com o material escolhido como revestimento.

Conforme estudos de Oliveira (2009, p. 71), a vedação das juntas pode ser realizada por meio de selantes (silicões, polissulfetos, poliuretanos, acrílicos, etc) ou guarnições (de silicões, elastômeros termoplásticos e borracha de etileno-propileno-dieno, vulgo EPDM), a diferença consiste em o primeiro ser moldado ou extrudado no local, podendo ter comportamento plástico ou elástico, cuja forma é pastosa, o segundo consiste em perfis pré-formados com propriedades plásticas, geralmente utilizados em seções geometricamente definidas. Ainda segundo a autora, são características importantes para definição de qual o componente ideal, a resistência à penetração superficial, “[...] tensão de ruptura, adesão e coesão, tempo de estocagem, módulo de elasticidade, capacidade de deformação, alongamento máximo, temperatura de serviço, resistência aos solventes e óleos, resistência à umidade [...]”.

Os elementos selantes são usados concomitantemente com os limitadores de profundidade, definindo a espessura dos mesmos e evitando seu uso excessivo, pois permitem que tenham aderência somente com as laterais, de forma que se deformem livremente em duas direções. Os limitadores de profundidade geralmente são formados por espuma de polietileno de célula fechada, ou de poliuretano de célula aberta, assim como de fitas de polietileno quando as juntas são pouco profundas (OLIVEIRA, 2009).

3.2.3.6 Materialidade do revestimento

A escolha do material responsável por revestir uma fachada tem diversos impactos, e o financeiro é o que se sobressai, segundo Siqueira Júnior (2003). Dentre os vários fatores que alavancam custos, o material escolhido influencia no sistema de fixação que virá a ser utilizado, nos metais, bem como na dimensão das placas, pois quanto menores, mais insertos e/ou subestrutura auxiliar serão necessários, além da menor produtividade da mão de obra. Outro aspecto importante a ser observado, se refere à absorção de água, este valor deve ser baixo, uma vez que está intimamente ligado às questões estéticas, como lixiviação, resistência à poluição e deposição de sujidades, além de funcionais, como segregação por congelamento.

Ainda de acordo com o mesmo autor, o aspecto mecânico mais relevante na especificação dos materiais consiste na resistência à flexão, que deverá ser elevada, de forma que resista aos esforços devidos à pressão dos ventos, bem como ao choque acidental de corpos, prevendo situações de manutenção, no caso, as gôndolas de limpeza.

Direito (2011, p. 13) comenta que após o uso das rochas como revestimento, passou-se a desenvolver materiais de alto desempenho técnico, numa busca por estéticas inovadoras, desempenho ecológico e funcional “[...] desenvolvendo soluções cada vez mais leves, com diferentes cores, texturas e formas”.

No quesito variedade, estão disponíveis no mercado placas de:

- Concreto polimérico: de acordo com Direito (2011), é composto por agregados de quartzo e sílica, que são ligados por meio de resinas de poliéster, o que lhe imprime menor peso, porém ainda assim, em grandes placas, se torna mais pesado que outros revestimentos. Apresenta maior resistência mecânica e menor índice de absorção de água, quando comparado ao concreto convencional;

- Alumínio perfilado e tricamada (*aluminium composite material - ACM*): conforme Direito (2011, p. 15), possui grande gama de cores e acabamentos, tratando-se de material com grande leveza, resistência e durabilidade. Considerada uma característica relevante, sua plasticidade permite grande maleabilidade e agilidade, podendo ser obtidas por meio de “[...] justaposição de duas chapas de liga de alumínio a um núcleo de polietileno e/ou resinas fenólicas [...]”;

- Vidro: pode ser utilizado com acabamento translúcido, impresso, refletivo, temperado ou mesmo armado, de acordo com o efeito desejado. O interessante deste

revestimento vem a ser o uso de cortina venezianada na câmara de ar, para controle da luminosidade, assim como o uso de barreiras anti fumaça (DIREITO, 2011);

- Cerâmica: quanto à cerâmica extrudada, segundo Medeiros *et al.* (2014), tem sua formação quando passada por máquina extrusora, fazendo com que sua seção transversal permaneça constante, e não exige cortes ou furações para promover seu encaixe nos componentes de fixação à fachada, pois possui reentrâncias em sua face posterior. Conforme fornecedor citado por Radoll (2012), as placas podem ter acabamento natural ou esmaltado; possuem absorção de água entre 3% e 6%; o seu conjunto, placas e subestrutura, configuram peso de 32 kg/m²; a produtividade potencial de instalação é estimada em 70 min/m², devido à simplicidade e rapidez de instalação; possuem peças especiais para acabamentos nos cantos, detalhes arquitetônicos, encontro com esquadrias e afins; a vida útil do sistema, estimada, é de 60 anos; e garantia de produto de 5 anos. Já quanto aos porcelanatos, para Siqueira Júnior (2003), configura precisão dimensional, além de possuir dimensões muito superiores, quando comparadas às que até então eram utilizadas para revestimento de fachadas. As placas de grês porcelanato, quando comparadas às placas pétreas, também se destacam, pois apresentam vantagens, como: absorção quase nula; menor peso; material mais homogêneo; e menores tendências às manchas, entre outros. Conforme Campos (2011), já estão no mercado, os porcelanatos considerados de fina espessura, caracterizados pela sua versatilidade, tanto estética como dimensional. Segundo a autora, placas cujo tamanho 3m x 1m alcançam espessuras de até 3mm, ou podendo ter aplicação de fibra de vidro em face posterior totalizando 3,5mm, ou ainda placas laminadas, estilo sanduíche, com fibra de vidro em seu interior totalizando 7mm a 11mm, dependendo do fabricante. O peso do sistema é extremamente baixo e o custo é considerado competitivo, sendo a produtividade calculada conforme 350,00m²/mês. Radoll (2012), apresenta dados de acordo com fornecedor de Santa Catarina: peso do conjunto em torno de 12kg/m², onde 8kg/m² são referentes às peças de porcelanato e 4kg/m² correspondem à subestrutura auxiliar, executada em alumínio; a produtividade é inferior ao sistema com placas de cerâmica extrudada, uma vez que varia em função da complexidade da obra, e o produto tem garantia de 5 anos;

- Fenólico (laminado melamínico): para Direito (2011), por mais que apresente grande gama estética, suas superfícies podem ter a durabilidade comprometida devido à elevada exposição solar, uma vez que suas cores são extremamente sensíveis às radiações ultravioletas. Trata-se de um material natural, constituído por lâminas de papel impregnadas com resinas fenólicas, reforçadas com madeira natural ou folha de papel, fundidas e

endurecidas por meio de elevadas pressões e temperaturas, o que imprime rigidez e resistência ao material;

- Madeira modificada: conforme Guimarães (2013, p. 38), obtida através do uso de “[...] tratamentos químico-físicos para obter resistência mecânica elevada face às solicitações de variações climáticas [...], suas dimensões não são limitadas pela geometria dos troncos, e estão disponíveis em diferentes tamanhos padronizados”.

- Placas fotovoltaicas: revestimento pouco utilizado para fachada ventilada, vem conquistando seu espaço, conforme Direito (2011), os painéis se destacam pela transparência variável e estética uniforme, e seu custo mais elevado comparado a outros revestimentos, é compensado pela produção de energia;

- Naturocimento: de acordo com Sousa (2010), citado por Causse (2014), vem a ser o material substitutivo do fibrocimento, ainda amplamente utilizado. Consiste na mistura de cimento *Portland*, fibras de celulose, fibras de reforço em PVA (acetato polivinílico), sílica amorfa, água e aditivos;

- Rochas tecnológicas e naturais: conforme Mendes (2009), citado por Causse (2014), por maior que seja a abundância destas na natureza, nem todas as rochas são indicadas para uso na construção em geral, cada qual tem sua composição, e, portanto, sua particularidade, sendo que para sua utilização requisitos mínimos devem ser obedecidos, como: dureza, resistência mecânica, trabalhabilidade, durabilidade, porosidade, aparência, dentre outras. Devido à falta de homogeneidade, muitas rochas acabam passando por processos químicos e físicos na busca incessante do mercado por materiais padronizados, resistentes e esteticamente atrativos, criando as rochas tecnológicas, como mármore e granitos tecnológicos, até mesmo painéis de fibra de basalto.

Para fins do presente trabalho se dará atenção especial para revestimentos em granito e basalto, sendo que os primeiros são amplamente utilizados na região e possuem normativa específica. A pesquisa visa aprofundar conhecimentos sobre ambos, para posterior aferição de similaridades e disparidades, uma vez que, conforme Chiodi Filho e Rodrigues (2009), ambas são rochas silicáticas, ou seja, rochas ígneas e/ou magmáticas, resultantes da solidificação de magma em diferentes profundidades da crosta terrestre.

3.2.3.6.1 Granito

Conforme a ABNT NBR 15.012 (2013), na sua definição petrográfica, o granito é considerado uma rocha magmática ácida, cuja granulação é de média a grossa, apresentando textura com grãos mais ou menos do mesmo tamanho, ou então com tamanhos bem diferenciados, sendo, normalmente isotrópica a levemente anisotrópica, com coloração variando, uma vez que esta é diretamente influenciada pelo feldspato presente. De acordo com Moreiras (2014), o termo granito engloba uma diversidade de tipologias litológicas, possuindo alta durabilidade e resistência mecânica, além de apresentar grande variedade de padrões de *designs* e tonalidades, quando transformadas em placas com acabamento polido.

Conforme pesquisa com fornecedor, citado por Radoll (2012), quando rejuntado, o rejuntamento é realizado com polietileno expandido e silicone cura neutra, sendo que na opção com juntas abertas, o substrato deverá ser impermeabilizado, porém neste caso, por mais que o sistema de fixação seja oculto, torna-se visível à pequenas distâncias; o acabamento das placas poderá ser polido, levigado (bem rústico, porém plano), flameado (rugoso e ondulado), anticato (jateado) nas opções brilho ou fosco, sendo os flameados e levigados mais suscetíveis à absorção de água; exige manutenção periódica, geralmente de 6 em 6 meses; peças especiais de acabamento devem ser projetadas e adquiridas; o peso médio do sistema fica na faixa de 63 kg/m²; o sistema tende a ser mais lento que o com placas de cerâmica extrudada, pois geralmente as placas de granito são furadas na obra; costumeiramente instalado com juntas horizontais e verticais de 4mm de espessura com câmara de ar variável, a partir de 5cm; a garantia do granito é variável, entre 2 e 3 anos.

Siqueira Júnior (2003), atenta para a questão da retenção de água, a qual fica acumulada nos poros da pedra, uma vez que grande parte deste material pétreo absorve rapidamente a água proveniente de chuvas, por capilaridade, mas para eliminá-la, o faz por evaporação, processo bem mais lento. Dessa forma a durabilidade da placa fica comprometida por dois motivos: devido ao fato dessa água ser capaz de dissolver as substâncias que constituem a pedra, transformando-as em sais, os quais, quando carreados para a superfície, são responsáveis pelas manchas causadas por eflorescência; além de que, quando em climas frios, pode haver o congelamento dessa água acumulada nos capilares, o que causa a desagregação da pedra, devido à ruptura dos mesmos.

Segundo Chiodi Filho e Rodrigues (2009), o problema de absorção de água pode ser evitado com a aplicação de selantes que penetram na superfície da rocha e ocupam o lugar

que seria ocupado pela água, e problemas com agentes químicos mais agressivos podem ser atenuados com o uso concomitante do selante com impermeabilizante sobre a placa.

De acordo com a ABNT NBR 15.844 (2015), devido à diversidade das características dentre as rochas graníticas, o Quadro 4 vem apresentar os requisitos mínimos e máximos que devem ser seguidos para seleção das mesmas como revestimentos.

Quadro 4 – Requisitos para granitos

Propriedades	Requisitos	Norma
Densidade aparente (kg/m ³), mín.	2.550	ABNT NBR 15.845-2
Porosidade aparente (%), máx.	1,0	ABNT NBR 15.845-2
Absorção d'água (%), máx.	0,4	ABNT NBR 15.845-2
Resistência à compressão uniaxial (MPa), mín.	100	ABNT NBR 15.845-5
Módulo de ruptura (flexão por três pontos) (MPa), mín.	10,0	ABNT NBR 15.845-6
Resistência à flexão por carregamento em quatro pontos (MPa), mín.	8,0	ABNT NBR 15.845-7
Resistência ao desgaste (mm/1.000m), máx.	1,0	ABNT NBR 12.042
Resistência ao impacto de corpo duro (m), mín.	0,3	ABNT NBR 15.845-8
Coefficiente de dilatação térmica linear [10 ⁻³ mm/(m x °C)], máx.	8,0	ABNT NBR 15.845-3

Fonte: ABNT NBR 15.844 (2015).

3.2.3.6.2 Basalto

Conforme a ABNT NBR 15.012 (2013, p. 7), na sua definição petrográfica, o basalto é considerado uma “rocha vulcânica composta principalmente de plagioclásio cálcico e clinopiroxênio, em uma massa fundamental afanítica, podendo conter vidro. É correspondente ao extrusivo do gabro”. Sendo que o gabro, é considerado como uma rocha magmática de composição básica e de granulação média a grossa.

Referente à aplicação de basalto como revestimento de fachada ventilada, encontrou-se esta indicação realizada apenas por Carneiro (2015), embora saiba-se que a rocha basáltica é amplamente utilizada no mercado da construção civil, desde agregado à revestimento aderido. Uma vez que não existam parâmetros normativos que qualifiquem os basaltos para uso como revestimento, Chiodi Filho e Rodrigues (2009), apresentam faixas de variação obtidas por meio de ensaios tecnológicos que foram realizados pelo IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas), conforme o Quadro 5. Embora estes dados não tenham respaldo normativo, podem ser utilizados para fins de comparações.

Quadro 5 – Valores médios obtidos para basalto

Propriedades	Faixas de variação
Massa específica aparente (kg/m ³)	2.900 – 3.100
Absorção d'água (%)	0,1 – 0,3
Compressão uniaxial (MPa)	200 – 300
Resistência à tração na flexão (MPa)	25 – 35
Resistência ao impacto de corpo duro (cm)	40 – 50
Coefficiente de dilatação térmica linear (mm/m x °C)	9,4 - 10,1

Fonte: adaptado de Chiodi Filho e Rodrigues (2009).

3.3 Ventos

As diferenças de pressão atmosférica, originadas pela variação térmica em função da ação do sol, estão diretamente relacionadas aos ventos e seus movimentos sobre a superfície terrestre. O desequilíbrio das pressões é capaz de originar forças que movimentam parcelas de ar atmosférico, proveniente de zonas de maior pressão para zonas de menor pressão. Essas parcelas podem ser divididas em massas de ar quente e ar frio, de origem tropical ou polar, podendo ser marítimas ou continentais. Tecnicamente, essas massas quando colidem, não se misturam, pois possuem temperaturas e umidades diferentes, sendo que a intersecção de suas superfícies com a superfície terrestre constitui uma frente. Frentes quentes avançam a 7m/s (25 km/h), e frentes frias avançam a 8m/s (30 km/h), sabendo-se que frentes muito frias são capazes de produzir trovoadas de extrema violência, sendo que por vezes até tornados (BLESSMANN, 2013).

A movimentação das massas de ar, ao se deparar com obstáculos, provocam a agitação das partículas do ar, logo, o vento pode ser caracterizado de forma básica pela sua velocidade média, assim como as flutuações em torno dela. Mas conforme Blessmann (2013), os ventos que importam à Engenharia Civil são os de superfície mais localizados e de altas velocidades, tratando-se de: ciclones tropicais e extratropicais, tormentas elétricas, explosões descendentes (*downburst*), tornados, microexplosões, linhas de tormenta e ventos regionais.

3.3.1 Regionalizando o problema

Conforme pesquisa de Candido (2012), o *Tornado Alley*, conhecido mundialmente como a região mais propícia à ocorrência de tornados, está localizada entre o meio-oeste e sul dos Estados Unidos, e a segunda colocada do *ranking* mundial de área suscetível a eventos climáticos desastrosos, é a porção sudeste da América do Sul. Mais conhecida como Polígono dos Tornados da América do Sul (PTAS), conforme a Figura 12, fica delimitada pelo centro-sul do Brasil, o Uruguai, até o norte da Argentina, parte da Bolívia e o Paraguai, e foi constatado através de levantamentos e espacialização dos registros de ocorrências de tempestades tornádicas na América do Sul.

Figura 12 – Polígono dos tornados da América do Sul - PTAS

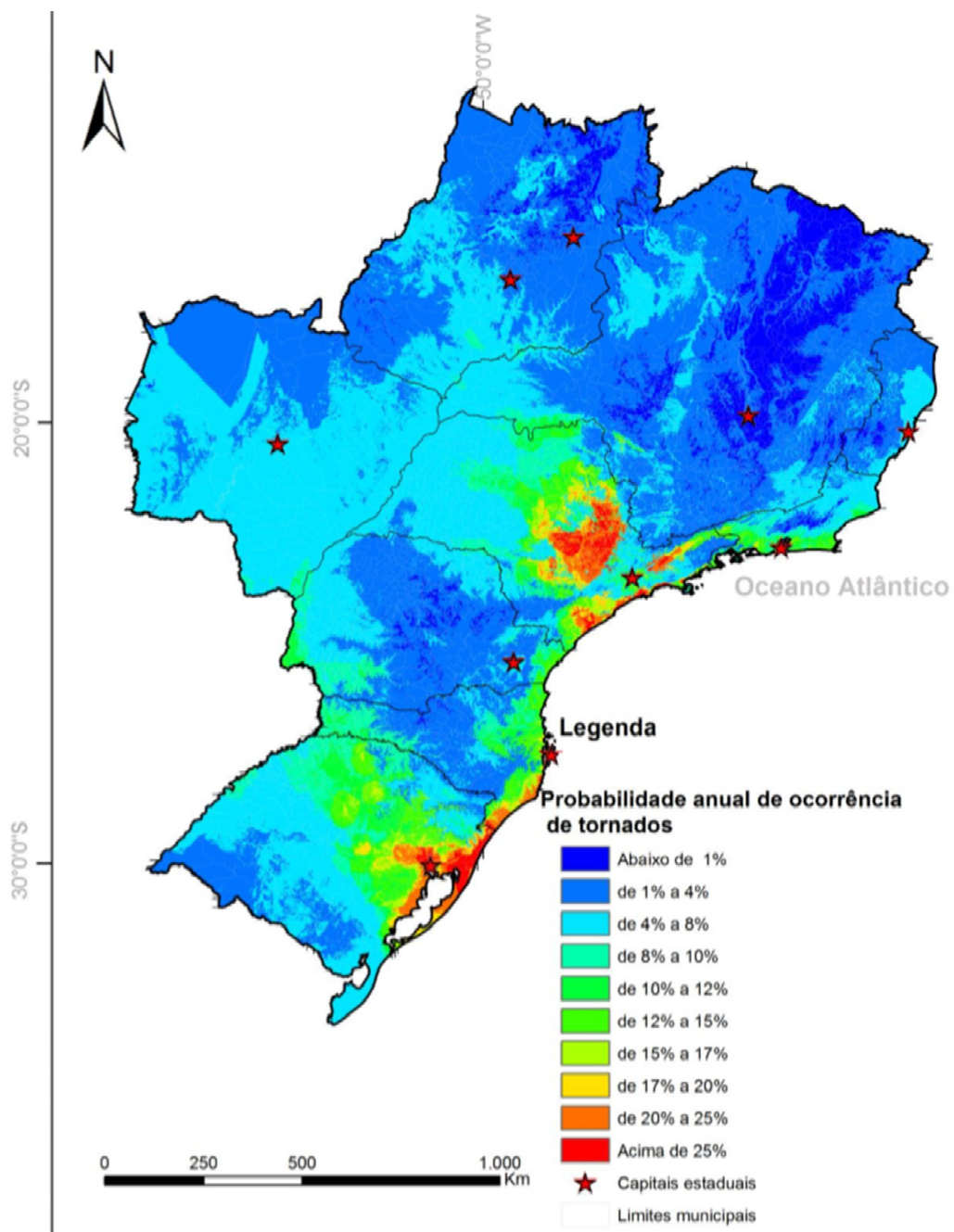


Fonte: Candido *et al.*, 2009, citado por Candido, 2012.

A posição latitudinal e o relevo dessa área favorecem o embate entre diferentes sistemas atmosféricos, que eventualmente culminam na formação de sistemas

convectivos deflagradores de tornados e trombas-d'água. Salienta-se que no Brasil os estados de São Paulo, Santa Catarina, Rio Grande do Sul e Paraná são os mais suscetíveis à ocorrência dessas formações. [...] Não há homogeneidade quanto à distribuição temporal do fenômeno, sendo possível a observação de uma diferenciação entre os períodos mais favoráveis de ocorrência em diferentes regiões do território brasileiro. A porção sul do país, assim como Uruguai e norte da Argentina apresenta seu ápice de ocorrências nos meses de janeiro e fevereiro. Registros apontam que também existem ocorrências nos demais meses, tendo em vista que muitas vezes os tornados estão relacionados a formações ciclônicas [...] (CANDIDO, 2012, p. 71).

Figura 13 – Mapa com a probabilidade anual de ocorrência de tornados



Fonte: Candido, 2012.

Baseado na ocorrência de 205 episódios climáticos, mais especificamente tornados registrados entre março de 1877 e abril de 2011 no Brasil, foi criado um mapa modelo, com a capacidade de demonstrar os riscos de ocorrência de tornados. Através da pesquisa ficou evidenciado que a Região Sul é a mais suscetível aos eventos, embora o Estado de São Paulo se sobressaia nos resultados de eventos passados e probabilidade de futuros, conforme a Figura 13. No Rio Grande do Sul, os riscos elevados se justificam pelas altimetrias pouco elevadas, baixas declividades, a proximidade das regiões mais propícias ao oceano, o montante de eventos históricos registrados e a facilidade com que se estabelecem núcleos de baixa pressão, os quais são facilmente vinculados à formação de ciclones extratropicais. Nota-se também uma pré-disposição maior de eventos em toda a região litorânea da porção Sudeste (CANDIDO 2012).

3.3.2 Acidentes

O vento, de forma geral, tem grande influência sobre a edificação, para Blessmann (2001) influi diretamente no desenvolvimento da ciência e técnica das construções, na tecnologia dos materiais, assim como nos índices de aproveitamento de lotes, edificando prédios cada vez mais altos. E alerta para o fato da ação dos ventos não ser exclusiva à estrutura:

Atualmente as paredes de edifícios altos não têm, em geral, função resistente, mas apenas de vedação. São, em muitos casos, constituídos de leves painéis de vedação, fazendo com que já ocorram problemas de arrancamento de painéis, pelas altas sucções que aparecem próximo às quinas. [...] Este tipo de acidente tem sido noticiado seguidamente nos últimos anos, pois os leves painéis de revestimento e suas ancoragens nem sempre foram projetados para resistirem às altas sucções que surgem nas faces laterais de edifícios altos, especialmente quando efeitos de vizinhança provocam aumento dessas sucções (BLESSMANN, 2001, p. 11).

Para Blessmann (2001), partindo da perspectiva aerodinâmica, os acidentes causados pelo vento podem ser associados a fatores como:

- Pressão interna: sua consideração correta no projeto de edificações é de extrema importância, e medidas podem ser criadas para desenvolver depressões internamente às edificações para diminuir os esforços externos de sucção, ou através da equalização de pressões;

- Velocidade máxima do vento: o cálculo é muito empírico, pois são muitas variáveis a se considerar para fins de segurança estrutural, tais como as condições topográficas do local, a rugosidade superficial, dimensões da edificação, risco de vidas humanas e afins, além disso, a força devida ao vento pode ser considerada proporcional ao quadrado de sua velocidade, razão de 9 para 25, logo, dependendo da localização da edificação, no limite, os esforços devidos ao vento podem quase que triplicar;

- Objetos lançados pelo vento: a força dos ventos pode projetar objetos variados, desde detritos e arbustos a telhas, esquadrias ou materiais que arranque das edificações, de forma que causem danos à animais, pessoas e até mesmo à outras edificações ainda não danificadas;

- Coeficientes aerodinâmicos: a influência do ângulo de incidência do vento sobre as respectivas angulações da superfície da construção, gera sucções que se apresentam tanto nas quinas horizontais como nas verticais. Para Arrais (2001), a preocupação está associada aos edifícios cujos formatos são inclinados, curvos e afins, pois logo, são diferentes dos convencionais, e ao aplicar os cálculos com base em normativa, o resultado está fadado ao erro, pois a Norma faz referência à edifícios cuja base é quadrilátera e morfologia uniforme ao longo de sua elevação.

Os ventos somente causam danos às edificações, quando a oportunidade encontra a fragilidade. Partindo da perspectiva estrutural, Blessmann (2001) afirma que os principais acidentes estão associados: à falta de ancoragem, desde telhas, tesouras, painéis de vedação na estrutura secundária, ou desta última à estrutura principal, bem como elementos estruturais entre si; contraventamento insuficiente, de paredes e telhados; dimensionamento insuficiente, causando flambagens; fundações inadequadas, desconsiderando a força ascensional do vento; paredes inadequadas, suscetíveis ao tombamento; e a deformabilidade excessiva da edificação, seja por flexão, cisalhamento ou torção, podendo causar fendas e permitir danos.

Blessmann (2001) cita exemplos de eventos climáticos causadores de muita destruição, ocorridos no Rio Grande do Sul, como: o tornado que atingiu a cidade de Lajeado em 1967, onde estima-se que a velocidade do vento ultrapassou os 150 km/h, com prejuízos materiais, 6 mortos e 40 pessoas feridas; o temporal que atingiu Bom Retiro do Sul em 1977, cujo exame dos danos na barragem apontou rajadas de vento com velocidades máximas de 130 km/h a 138 km/h; o Vale do Rio Pardo em 1990, com temporal violento de duração de 15 minutos, cuja estimativa de velocidade dos ventos ultrapassa os 120 km/h; e o episódio em Horizontina, em 1999, cujas rajadas da tormenta chegaram a velocidades de 130 km/h,

conforme registrado pelo aeroporto da cidade. Em Santa Catarina, o autor cita episódio em 1999, cuja velocidade dos ventos de até 130 km/h, destruiu 13 torres de linhas de transmissão.

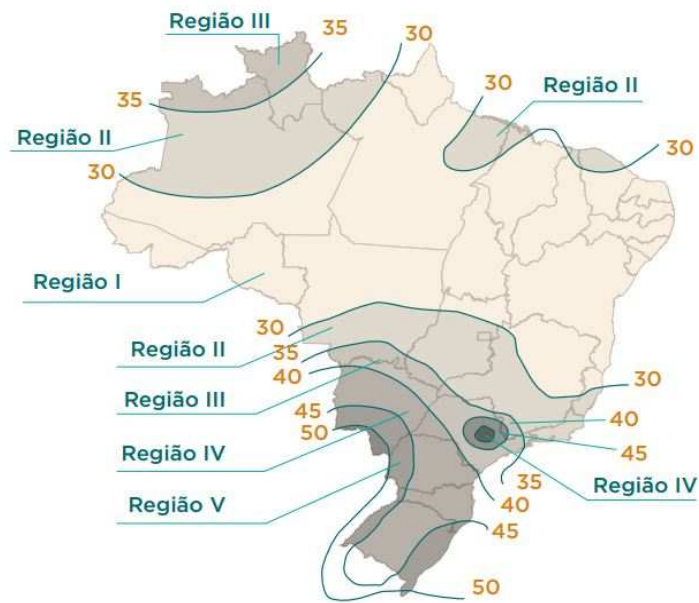
Conforme reportagens mais recentes, podemos citar os exemplos: da devastação causada em Novo Hamburgo, RS, no dia 31 de janeiro de 2014, onde a MetSul Meteorologia analisou, preliminarmente, que os ventos possam ter atingido entre 120 km/h e 150 km/h (JORNAL NH, 2014); do fenômeno que atingiu Xanxerê, SC, em 20 de abril de 2015, cujos ventos chegaram até 200 km/h (TREZZI, 2015); dos temporais que atingiram Porto Alegre, RS, em 29 de janeiro de 2016, com ventos de 87 km/h na zona norte, registrados no Aeroporto Salgado Filho, e 119,5 km/h no Jardim Botânico, registrados pelo Instituto Nacional de Meteorologia (SGARBI, 2016), e em 16 de outubro de 2016, cujos ventos alcançaram aproximadamente 102 km/h segundo a MetSul Meteorologia (CORREIO DO POVO, 2016); os casos mais recentes, em 12 de março de 2017 da destruição de parte da cidade de São Francisco de Paula, RS, onde as rajadas de vento podem ter passado dos 140 km/h, segundo análises do Instituto Nacional de Meteorologia (GLOBO, 2017a), e na Serra Gaúcha em 8 de junho de 2017, com ventos de mais de 100 km/h, tendo por cidade mais atingida Caxias do Sul (GLOBO, 2017b).

3.3.3 A norma dos ventos - ABNT NBR 6123/1988

Conforme apresentado, Blessmann (2001) descreve diversos eventos climáticos no Brasil, com casos na Região Sul, onde apresenta acidentes ocorridos e as velocidades aferidas e estimadas, as quais se aproximam ou ultrapassam os limites da Norma.

De acordo com a ABNT NBR 6123 (1988), a velocidade básica do vento é medida por meio de rajada com duração de 3 segundos, que pode ser excedida em média uma vez em 50 anos, aferida à 10 metros acima do terreno, em lugar aberto e plano. Com base nesse conceito e em registros, conforme a Figura 14, originou-se o gráfico das isopleias.

Figura 14 – Isopleias da velocidade básica do vento ABNT NBR 6123/1988



Fonte: ABNT NBR 10821-2 (2017).

Porém devido a questão do efeito estufa, houve um aumento na ocorrência de furacões e na frequência das grandes tempestades, uma vez que propicia o aumento da temperatura da água marinha no perímetro da costa brasileira. Este fato gera também influência direta sobre as velocidades dos ventos, e traz à tona questionamentos sobre a eficiência e obsolescência de uma Norma inalterada desde 1988.

Para a Região Sul, de acordo com as isopletas da velocidade básica, as máximas velocidades básicas medidas ficam compreendidas entre 40m/s e 50m/s, o que equivale a 144km/h e 180km/h. Ou seja, estas velocidades só poderiam ser excedidas, em média, uma vez em 50 anos, porém diversos eventos climáticos já demonstraram a inconstância disso, através do poder destrutivo do vento.

Pela norma vigente, pode-se estipular o carregamento causado pela ação do vento, por meio das forças estáticas atuantes, sendo que estas devem ser calculadas separadamente para os elementos de vedação e suas fixações.

3.3.3.1 Velocidade básica do vento – V_0

Conforme explanado anteriormente, de acordo com a norma, a velocidade básica do vento é medida por meio de rajada com duração de 3 segundos, que pode ser excedida em média uma vez em 50 anos, aferida à 10 metros acima do terreno, em lugar aberto e plano.

Com base nas isopletras apresentadas na Figura 14, pode-se verificar que, atualmente, a condição mais crítica indica a velocidade básica do vento para Região Sul, como sendo de 45m/s, logo $V_0 = 45\text{m/s}$.

3.3.3.2 Velocidade característica do vento - V_k

A velocidade característica do vento consiste na multiplicação da velocidade básica do vento por fatores denominados S_1 , S_2 e S_3 .

3.3.3.2.1 Fator topográfico – S_1

Representa as variações de relevo do lote, calculado de acordo com o terreno, caso ele seja:

- a) plano ou fracamente acidentado: $S_1 = 1,0$;
- b) taludes e morros:

- taludes e morros que sejam considerados alongados, nos quais se admita um fluxo de ar bidimensional soprando no sentido indicado pela Figura 15.

- No ponto A (morros) e nos pontos A e C (taludes): $S_1 = 1,0$, fator escolhido.

- No ponto B: S_1 é considerada uma função $S_1(z)$:

- quando $\theta \leq 3^\circ$: $S_1(z) = 1,0$

- quando $6^\circ \leq \theta \leq 17^\circ$, utilizar a Equação (1):

$$S_1(z) = 1,0 + \left(2,5 - \frac{z}{d}\right) * \text{tg}(\theta - 3^\circ) \geq 1 \quad (1)$$

- quando $\theta \geq 45^\circ$, utilizar a Equação (2):

$$S_1(z) = 1,0 + \left(2,5 - \frac{z}{d} \right) * 0,31 \geq 1 \quad (2)$$

Deve-se interpolar linearmente para $3^\circ < \theta < 6^\circ < 17^\circ < \theta < 45^\circ$.

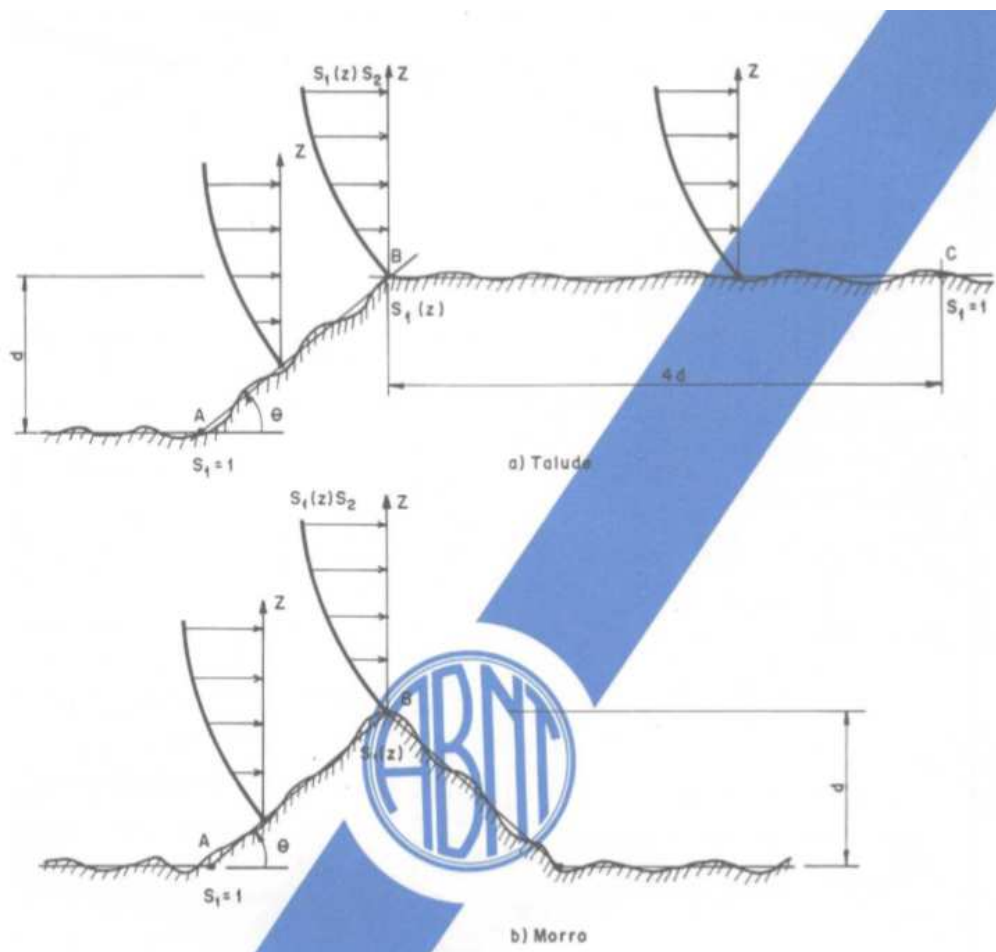
Sendo:

z considerada a altura medida a partir da superfície do terreno no ponto que se está considerando;

d considerada a diferença de nível entre base e o topo do talude ou morro em questão;

θ considerada a inclinação média do talude ou encosta do morro em questão.

Figura 15 – Fator topográfico $S_1(z)$



Fonte: ABNT NBR 6123 (1988).

c) vales profundos, que sejam protegidos de ventos de qualquer direção: $S_1=0,9$.

A norma ainda alerta que entre A e B e entre B e C, o fator S_I é obtido por meio de interpolação linear. Assim como, os valores indicados em b) e c) consistem em uma primeira aproximação, devendo ser usados com precaução, e para casos de situações complexas, indica o uso de modelos no túnel do vento, ou então medidas anemométricas no terreno em estudo.

3.3.3.2.2 Fator de rugosidade do terreno, dimensões da edificação e altura sobre o terreno – S_2

Quando ocorrem ventos fortes, considerados de estabilidade neutra, a sua velocidade aumenta quanto maior a altura acima do terreno, sendo que a rugosidade do terreno e o intervalo de tempo considerados influem nessa determinação. Assim como o intervalo de tempo está diretamente relacionado com as dimensões da edificação, uma vez que edificações/elementos da edificação são mais afetados por rajadas de curta duração, quando comparadas à grandes edificações. Para estas, é mais adequado considerar-se o vento médio calculado com um intervalo de tempo maior. Por estes quesitos devem ser considerados os três efeitos combinados.

Quadro 6 – Rugosidades do terreno

Categorias de rugosidade		
Categoria I	Superfícies de grandes dimensões e lisas, com mais de 5km de extensão, medida na direção e sentido do vento incidente	Mar calmo
		Lagos e rios
		Pântanos sem vegetação
Categoria II	Terrenos considerados abertos em nível ou quase nivelados, com poucos obstáculos isolados, tais como árvores e edificações baixas, cujo topo com cota média de até 1,0m	Zonas costeiras planas
		Pântanos com vegetação rala
		Campos de aviação
		Pradarias e charnecas
		Fazendas sem sebes ou muros
Categoria III	Terrenos considerados como planos ou ondulados, com obstáculos com cota média de até 3,0m	Granjas e casas de campo, exceto matagais
		Fazendas com sebes e/ou muros
		Subúrbios com distância considerável do centro, cujas casas baixas e esparsas
Categoria IV	Terrenos considerados cobertos por obstáculos numerosos e pouco espaçados, em zona florestal, industrial ou urbanizada, cuja cota média do topo dos obstáculos é considerada de 10m - também considera situações não cabíveis na Categoria V	Zonas de parques e bosques com muitas arborização
		Cidades pequenas e arredores
		Subúrbios densamente construídos
		Áreas industriais plena ou parcialmente desenvolvidos
Categoria V	Terrenos considerados cobertos por obstáculos numerosos, grandes, altos e pouco espaçados, sendo a cota média do topo dos obstáculos considerada como igual ou superior a 25m	Florestas com árvores altas, de copas isoladas
		Centros de grandes cidades
		Complexos industriais bem desenvolvidos

Fonte: adaptado de ABNT NBR 6123 (1988).

a) Rugosidade do terreno, conforme o Quadro 6.

A autora adotou a Categoria IV, simulando cidades pequenas e arredores.

b) Dimensões da edificação

A velocidade do vento é variável, sendo que seu valor médio pode ser calculado sobre qualquer intervalo de tempo, sendo que o intervalo mais curto das medidas usuais, considerado 3 segundos, corresponde a rajadas cujas dimensões envolvem convenientemente obstáculos de até 20m na direção do vento médio. Quanto maior o intervalo de tempo utilizado no cálculo de velocidade média, maior será a distância abrangida pela rajada.

Para que se defina as partes da edificação que devem ser consideradas, deve-se considerar características construtivas ou estruturais que originem pouca ou nenhuma continuidade estrutural ao longo da edificação, como:

- Edificações com juntas que separem a estrutura em duas ou mais partes estruturalmente independentes;
- Edificações com pouca rigidez na direção perpendicular à direção do vento e, por isso, com pouca capacidade de redistribuição de cargas.

Escolheram-se classes de edificações, bem como partes da mesma e seus elementos, com intervalos de tempo para cálculo da velocidade média de, respectivamente, 3s, 5s e 10s:

- Classe A: Todas as unidades de vedação, seus elementos de fixação e peças individuais de estruturas sem vedação. Toda edificação na qual a maior dimensão horizontal ou vertical não exceda 20m.
- Classe B: Toda edificação ou parte de edificação para a qual a maior dimensão horizontal ou vertical da superfície frontal esteja entre 20m e 50m.
- Classe C: Toda edificação ou parte de edificação para a qual a maior dimensão horizontal ou vertical da superfície frontal exceda 50m.

De acordo com o item 6.1.3 da norma, para a determinação do fator S_2 , no cálculo de elementos de vedação e suas fixações à elementos estruturais, usa-se a Classe A, cujo valor C_e (coeficiente de formato externo) ou c_{pe} (coeficiente de pressão interna) médio aplicável à zona que se situa o elemento em estudo.

c) Altura sobre o terreno

O fator S_2 que é utilizado para calcular a velocidade do vento em uma altura z acima do nível geral do terreno, pode ser obtida pela Equação (3):

$$S_2 = b * F_r * \left(\frac{z}{10}\right)^p \quad (3)$$

Sendo que, F_r é considerado o fator de rajada, sempre correspondente à Categoria II. Sendo a Equação (3), aplicável até a altura z_g , definidora do contorno superior da camada atmosférica.

Recomenda-se o uso do fator S_2 correspondente ao topo da edificação, baseando-se no fato de que a fachada de barlavento e nas fachadas laterais o vento seja defletido para baixo, o que acarretaria um conseqüente aumento de pressão dinâmica na parte inferior da edificação.

Os parâmetros necessários para determinação de S_2 são apresentados nos quadros a seguir, sendo que o Quadro 8 apresenta os parâmetros meteorológicos para as cinco categorias da norma, e o Quadro 7 apresenta as categorias de rugosidade e classes de dimensões das edificações.

Quadro 7 – Fator S_2

Z (m)	CATEGORIA														
	I			II			III			IV			V		
	Classe			Classe			Classe			Classe			Classe		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
≤ 5	1,06	1,04	1,01	0,94	0,92	0,89	0,88	0,86	0,82	0,79	0,76	0,73	0,74	0,72	0,67
10	1,10	1,09	1,06	1,00	0,98	0,95	0,94	0,92	0,88	0,86	0,83	0,80	0,74	0,72	0,67
15	1,13	1,12	1,09	1,04	1,02	0,99	0,98	0,96	0,93	0,90	0,88	0,84	0,79	0,76	0,72
20	1,15	1,14	1,12	1,06	1,04	1,02	1,01	0,99	0,96	0,93	0,91	0,88	0,82	0,80	0,76
30	1,17	1,17	1,15	1,10	1,08	1,06	1,05	1,03	1,00	0,98	0,96	0,93	0,87	0,85	0,82
40	1,20	1,19	1,17	1,13	1,11	1,09	1,08	1,06	1,04	1,01	0,99	0,96	0,91	0,89	0,86
50	1,21	1,21	1,19	1,15	1,13	1,12	1,10	1,09	1,06	1,04	1,02	0,99	0,94	0,93	0,89
60	1,22	1,22	1,21	1,16	1,15	1,14	1,12	1,11	1,09	1,07	1,04	1,02	0,97	0,95	0,92
80	1,25	1,24	1,23	1,19	1,18	1,17	1,16	1,14	1,12	1,10	1,08	1,06	1,01	1,00	0,97
100	1,26	1,26	1,25	1,22	1,21	1,20	1,18	1,17	1,15	1,13	1,11	1,09	1,05	1,03	1,01
120	1,28	1,28	1,27	1,24	1,23	1,22	1,20	1,20	1,18	1,16	1,14	1,12	1,07	1,06	1,04
140	1,29	1,29	1,28	1,25	1,24	1,24	1,22	1,22	1,20	1,18	1,16	1,14	1,10	1,09	1,07
160	1,30	1,30	1,29	1,27	1,26	1,25	1,24	1,23	1,22	1,20	1,18	1,16	1,12	1,11	1,10
180	1,31	1,31	1,31	1,28	1,27	1,27	1,26	1,25	1,23	1,22	1,20	1,18	1,14	1,14	1,12
200	1,32	1,32	1,32	1,29	1,28	1,28	1,27	1,26	1,25	1,23	1,21	1,20	1,16	1,16	1,14
250	1,34	1,34	1,33	1,31	1,31	1,31	1,30	1,29	1,28	1,27	1,25	1,23	1,20	1,20	1,18
300	-	-	-	1,34	1,33	1,33	1,32	1,32	1,31	1,29	1,27	1,26	1,23	1,23	1,22
350	-	-	-	-	-	-	1,34	1,34	1,33	1,32	1,30	1,29	1,26	1,26	1,26
400	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,34	1,32	1,32	1,29	1,29	1,29
420	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,35	1,35	1,33	1,30	1,30	1,30
450	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,32	1,32	1,32
500	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,34	1,34	1,34

Fonte: ABNT NBR 6123 (1988).

Quadro 8 – Parâmetros meteorológicos

Categoria	z_g (m)	Parâmetro	Classes		
			A	B	C
I	250	b	1,10	1,11	1,12
		p	0,06	0,065	0,07
II	300	b	1,00	1,00	1,00
		Fr	1,00	0,98	0,95
		p	0,085	0,09	0,10
III	350	b	0,94	0,94	0,93
		p	0,10	0,105	0,115
IV	420	b	0,86	0,85	0,84
		p	0,12	0,125	0,135
V	500	b	0,74	0,73	0,71
		p	0,15	0,16	0,175

Fonte: ABNT NBR 6123 (1988).

Assim sendo, para uma situação Categoria IV, com base no Quadro 6, cujo edifício conte com, aproximadamente 10 pavimentos, e possua 30 metros de altura, conforme a Equação (3), temos $S_2=0,98$:

$$S_2 = 0,86 * 1,00 * \left(\frac{30}{10}\right)^{0,12}$$

3.3.3.2.3 Fator estatístico – S_3

Quadro 9 – Valores mínimos do fator estatístico S_3

Grupo	Descrição	S_3
1	Edificações cuja ruína total ou parcial pode afetar a segurança ou possibilidade de socorro a pessoas após uma tempestade destrutiva (hospitais, quartéis de bombeiros de forças de segurança, centrais de comunicação, etc.).	1,10
2	Edificações para hotéis e residências. Edificações para comércio e indústria com alto fator de ocupação.	1,00
3	Edificações e instalações industriais com baixo fator de ocupação (depósitos, silos, construções rurais, etc.).	0,95
4	Vedações (telhas, vidros, painéis de vedação, etc.).	0,88
5	Edificações temporárias. Estruturas dos grupos 1 a 3 durante a construção.	0,83

Fonte: ABNT NBR 6123 (1988).

Este fator é baseado em estatística, considerando o grau de segurança requerido e a vida útil da edificação. Para um período de 50 anos, igual ao período de recorrência da velocidade básica, a probabilidade de que esta velocidade seja igualada ou excedida neste período é de 63%. Os valores mínimos do fator estatístico se encontram no Quadro 9.

A presente simulação configura Grupo 4, com $S_3=0,88$. Assim sendo, a velocidade característica do vento é obtida por meio da Equação (4):

$$V_k = V_0 * S_1 * S_2 * S_3 \quad (4)$$

Estipulou-se os fatores de acordo com as condições mais atuais e comuns das edificações. Assim sendo aplicando-os na Equação (4), temos que a velocidade característica corresponde à 38,81m/s.

3.3.3.3 Pressão dinâmica - q

Calculada pela Equação (5), temos que a pressão dinâmica é 923,31N/m².

$$q = 0,613 * V_k^2 \quad (5)$$

Já de acordo com a ABNT NBR 10821-2 (2017), tem-se que a pressão dinâmica é equivalente à pressão de projeto P_p , sendo calculada pela Equação (6), temos que a pressão de obstrução seria 941,39N/m².

$$q = P_p = \frac{V_k^2}{1,6} \quad (6)$$

3.3.3.4 Coeficiente de pressão

A força do vento é interdependente da diferença de pressão nas faces opostas da parte da edificação em estudo, sendo que os coeficientes de pressão são dados para superfícies internas e externas. Entende-se por pressão efetiva em um ponto da superfície de uma edificação o valor definido pela Equação (7).

$$\Delta p = \Delta p_e - \Delta p_i \quad (7)$$

Assim sendo:

$$\Delta p = (c_{pe} - c_{pi}) * q \quad (8)$$

$$c_{pe} = \frac{\Delta p_e}{q} \quad (9)$$

$$c_{pi} = \frac{\Delta p_i}{q} \quad (10)$$

Onde:

Δp_e corresponde à pressão externa;

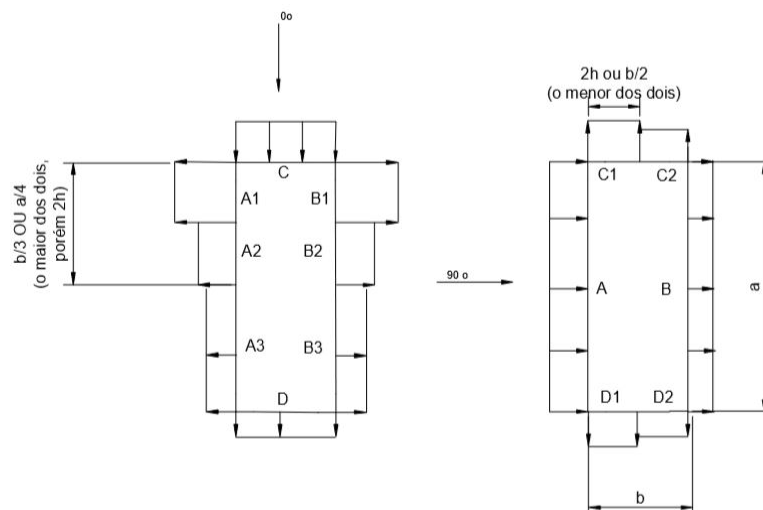
Δp_i corresponde à pressão interna;

c_{pe} corresponde ao coeficiente de pressão externa;

c_{pi} corresponde ao coeficiente de pressão interna.

Valores positivos dos coeficientes de pressão externa ou interna são correspondentes à sobrepressão, sendo que valores negativos à sucção. Um valor de Δp que seja positivo, indica uma pressão efetiva com o sentido de uma sobrepressão externa, e um valor negativo para Δp indica uma pressão efetiva com sentido de uma sucção externa. Para tal segue análise da Figura 16, com os esquemas dos coeficientes de pressão nas fachadas de uma edificação.

Figura 16 – Esquema dos coeficientes de pressão



Fonte: ABNT NBR 6123 (1988).

A norma entende que:

a) Para a/b entre $3/2$ e 2 , deve-se interpolar linearmente.

b) Para vento a 0° , nas partes A_3 e B_3 , o coeficiente de forma C_e tem os seguintes valores:

- para $a/b = 1$: mesmo valor das partes A_2 e B_2 ;

- para $a/b \geq 2$: $C_e = -0,2$;

- para $1 < a/b < 2$: interpolar linearmente.

c) Para cada uma das duas incidências do vento (0° ou 90°), o coeficiente de pressão médio externo C_{pe} médio, é aplicado à parte de barlavento das paredes paralelas ao vento, em uma distância igual a $0,2b$ ou h , considerando-se o menor destes dois valores.

Quadro 10 – Coeficientes de forma e pressão externos

Altura Relativa		Valores de C_e para								C_{pe} médio
		0°				90°				
		A_1 e B_1	A_2 e B_2	C	D	A	B	C_1 e D_1	C_2 e D_2	
$\frac{h}{b} \leq \frac{1}{2}$	$1 \leq \frac{a}{b} \leq \frac{3}{2}$	-0,8	-0,5	+0,7	-0,4	+0,7	-0,4	-0,8	-0,4	-0,9
	$2 \leq \frac{a}{b} \leq 4$	-0,8	-0,4	+0,7	-0,3	+0,7	-0,5	-0,9	-0,5	-1,0
$\frac{1}{2} < \frac{h}{b} \leq \frac{3}{2}$	$1 \leq \frac{a}{b} \leq \frac{3}{2}$	-0,9	-0,5	+0,7	-0,5	+0,7	-0,5	-0,9	-0,5	-1,1
	$2 \leq \frac{a}{b} \leq 4$	-0,9	-0,4	+0,7	-0,3	+0,7	-0,6	-0,9	-0,5	-1,1
$\frac{3}{2} < \frac{h}{b} \leq 6$	$1 \leq \frac{a}{b} \leq \frac{3}{2}$	-1,0	-0,6	+0,8	-0,6	+0,8	-0,6	-1,0	-0,6	-1,2
	$2 \leq \frac{a}{b} \leq 4$	-1,0	-0,5	+0,8	-0,3	+0,8	-0,6	-1,0	-0,6	-1,2

Fonte: ABNT NBR 6123 (1988).

As relações h/b e a/b , determinam a altura relativa para a obtenção dos coeficientes de pressão.

De acordo com o item 6.2.5 da norma, a pressão interna poderá ser considerada uniforme no caso de edificações com paredes internas permeáveis, no caso, fachadas ventiladas com juntas abertas. Logo os valores para o coeficiente de pressão interna C_{pi} para quatro faces, sendo que todas são igualmente permeáveis, pode ser considerado igual a $-0,3$ ou 0 , considera-se o valor mais nocivo.

Já o item 6.2.6 da norma, deve-se considerar o valor mais nocivo para c_{pi} entre - 0,2 ou 0, para edificações que sejam efetivamente estanques e cujas janelas fixas tenham probabilidade desprezível de serem rompidas por acidentes. Desta forma, o formato da edificação, bem como decisões projetuais referentes às juntas também tem grande influência sobre a pressão que efetivamente irá atuar sobre as vedações.

Conforme já citado, com referência em ABRAESP (2017), espera-se que haverá uma parte da *ABNT NBR 10821*, talvez ainda publicada em 2018, que apresente especificações no que tange fachadas-cortina, sistema que mais se assemelha ao sistema em estudo. Enquanto isso faz-se uso dos parâmetros apresentados na *ABNT NBR 10821-2/2011*, partindo do pressuposto que q equivale a P_p , logo tem-se a Equação (11). A antiga versão da norma, também apresentava o fator 1,5 como o mais desfavorável para fachadas cortina, obtendo-se assim, a Equação (12).

$$P_e = P_p * (c_e - c_i) \quad (11)$$

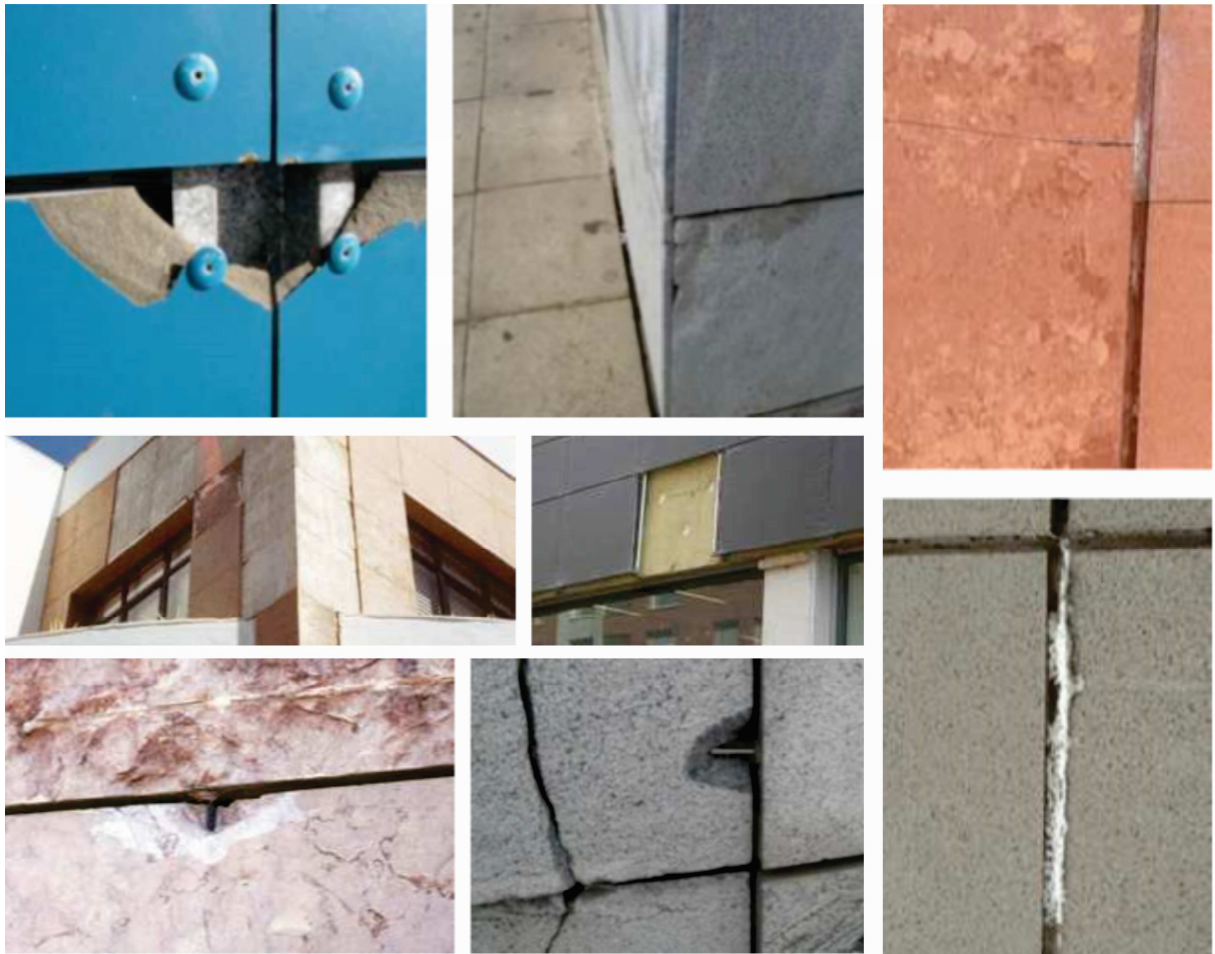
$$P_e = P_p * 1,5 \quad (12)$$

Sob essa análise, aplicando a Equação (12), resulta em pressão de ensaio igual à 1.384,97N/m² adotando os valores de acordo com a *ABNT NBR 6123 (1988)*, ou então o valor igual a 1.412,08N/m² de acordo com a *ABNT NBR 10821-2/2011*.

3.4 Patologias

Assim como qualquer outro sistema, as fachadas ventiladas também apresentam suas fragilidades. Para Dutra (2010) citado por Direito (2011), podem-se elencar anomalias referentes aos revestimentos, como: o aparecimento de fissuras, placas destacadas ou partidas, manchamentos diversos (oxidação, microorganismos, líquens), variações de cor, umidades ascensionais, pontes térmicas, degradação, desgaste e infiltrações na câmara de ar, como pode ser analisado na Figura 17.

Figura 17 – Patologias em revestimentos: desprendimentos, manchas e fissuração



Fonte: adaptado de Direito (2011).

A agressividade do clima e as alterações de ordem dimensional a que o sistema está sujeito, fragiliza seus componentes. A corrosão também vem a ser grande vilão do sistema, por isso a importância da correta especificação dos componentes metálicos que irão interagir entre si, com a base suporte e os revestimentos. O processo de execução deve ser acompanhado por profissionais, pois muitas patologias desenvolvem-se por falhas nesta etapa, lembrando também da especificação do isolamento térmico, quando for utilizado, prever sua ação hidrófuga, higrotérmica e fungicida.

3.5 Incêndios

Foi de comoção mundial o incêndio ocorrido em 14 de junho de 2017, na *Grenfell Tower*, segundo Duarte (2017), o material *Reynobond PE* estaria sendo apontado como o grande responsável pela tragédia. Este material está inserido na categoria de ACM, doravante painéis de alumínio composto, muito utilizados no sistema de fachada ventilada, porém é uma versão sem revestimento para retardamento de chamas, logo, mais barata.

Conforme Griffin (2017), o material foi escolhido devido a intenção de melhorar a aparência estética do prédio, já que o interno está repleto de apartamentos luxuosos. O sistema de fachada escolhido para a reforma, pode criar cavidades de 25 a 30mm, entre revestimento e isolamento, que segundo especialista entrevistado, produz um túnel que não permite a saída das chamas e acelera a propagação do fogo. Conforme Davies, *et al* (2017), o diretor da empresa que fabricou o material de revestimento do edifício de 24 andares, revelou que o material utilizado correspondia à versão mais barata e mais inflamável, dentre as duas opções existentes no mercado. A diferença entre o material escolhido e o *Reynobond FR*, que é resistente ao fogo, é de 2,29 euros por metro quadrado.

Figura 18 – Detalhe de fachada incendiada da *Grenfell Tower*



Fonte: disponível em: <<http://www.independent.co.uk/news/uk/home-news/grenfell-tower-cladding-fire-cause-improve-kensington-block-flats-appearance-blaze-24-storey-west-a7789951.html#gallery>> Acesso em: 19 nov. 2017.

O revestimento *Reynobond PE* e equivalentes, tiveram o uso proibido como revestimento em torres com altura superior a 22 metros desde a década de 80 na Alemanha, para os americanos este limite é 15 metros, pois tendem a agravar a propagação de incêndios, sendo seu uso condicionado para que os bombeiros possam acessar o topo dos prédios com suas escadas, distendida a partir do solo. No caso de edifícios considerados mais vulneráveis a incêndios, é exigido painel cujo núcleo apresente mais resistência ao fogo e escadas que estejam separadas do corpo dos edifícios, para uso em caso de evacuação (DAVIES *ET AL.*, 2017).

De acordo com Direito (2011), sempre que se fala sobre fachada ventilada, são expostas as consequências de possíveis cenários de incêndio. Isso porque os materiais que são utilizados, através das suas características, desempenham grande papel na forma com a qual o incêndio se desenvolve. Quando um material inflamável entra em combustão, contribui para o rápido alongamento das chamas, que, logo, atingem com mais rapidez demais componentes da fachada, imprimindo mais intensidade à propagação do fogo. Ocorrido isto, os materiais podem se destacar e expor a camada de isolamento térmico, que se também for comburente, potencializa ainda mais o incêndio.

A câmara de ar, desempenhadora de todo princípio da fachada ventilada, contribui plenamente na propagação do incêndio, pois permite a permeabilidade das chamas pelo interior do sistema, também contribui para a expansão do incêndio, espalhando chamas à distâncias consideráveis do foco inicial, podendo perpetuar no colapso do sistema. Este problema poderia ser minimizado facilmente com a instalação de barreiras corta-fogo, porém estas inviabilizam o efeito chaminé (DIREITO, 2011).

No quesito revestimentos, para fachadas ventiladas os materiais mais indicados são os incombustíveis, conforme Direito (2011), como painéis cerâmicos, porcelanato e pedra natural. O maior risco proveniente destes revestimentos está ligado à fissuração e ruptura das placas pelo calor, permitindo o acesso ao isolamento térmico, mas a melhor solução atualmente no mercado para evitar isto, vem a ser o uso do isolamento térmico incombustível à base de fibra de rocha, como o caso da lã de rocha, pois minimiza os riscos de propagação do incêndio e até a sua extinção.

4 METODOLOGIA

Conforme defendido por Siqueira Júnior (2003), de forma técnica, para determinação dos materiais de revestimento, as características mais importantes que devem ser consideradas se referem à absorção de água, sua resistência à flexão, assim como a resistência ao impacto de corpo duro. Outros pontos sensíveis do sistema de fachada ventilada, consistem na avaliação da resistência dos pontos de ancoragem das placas, sendo que não existem normas brasileiras vigentes para a devida avaliação de sua resistência, bem como os ensaios de arrancamento dos chumbadores que fixam os montantes metálicos à base suporte.

Com base nos estudos de Moreira (2014), verificou-se que poderia haver disparidade no módulo de ruptura dos granitos diretamente relacionada à sua composição química, porém visualmente, esta disparidade parecia se dar entre granitos de cor clara, resultados menores à flexão, e escuros, mais resistentes à flexão.

4.1 Absorção de água

Ensaio regido pela *ABNT NBR 15845-2/2015*, tem o intuito de determinar a densidade aparente, a porosidade aparente e a absorção de água de rochas que virão a ser utilizadas como revestimento.

Foram necessários 10 corpos de prova, cujo tamanho estivesse compreendido entre, aproximadamente 50mm e 70mm, e com relação base/altura de 1:1. Os mesmos foram lavados em água corrente e escovados com escova de cerdas macias, para então ser acondicionados em bandeja de material inoxidável, adicionando água deionizada até que fosse alcançada 1/3 da altura dos corpos de prova. Passado um período mínimo de 4 horas, adicionou-se água até que fosse alcançada a altura de 2/3, e após outro período mínimo de 4 horas foi realizada a submersão dos corpos de prova, sendo então necessário deixá-los submersos por um período mínimo de 40 horas.

Então, os corpos de prova passaram por pesagem individual, na condição submersa, em balança com resolução de 0,01g, que permitia pesagens hidrostáticas, tomando-se nota da sua massa M_{sub} . As superfícies foram enxugadas com pano levemente úmido, realizando a pesagem dos corpos de prova ao ar, tomando nota da massa M_{sat} . Após as pesagens, todos os corpos de prova foram levados à estufa, à temperatura de 70 ± 5 °C, até que obtivessem massa

constante, condição alcançada após duas pesagens sucessivas, com intervalo de 24 ± 2 horas, possuírem diferença de massas inferior à 0,1%. Processo realizado conforme Figura 19.

Figura 19 – Processos do ensaio de absorção: corpos de prova submersos, pesagem hidrostática e secagem no forno, respectivamente



Fonte: da autora (2017).

Os corpos de prova foram retirados da estufa, com pesagem dos mesmos ao ar, tomando-se nota da massa M_{sec} .

Os resultados para densidade aparente são expressos pela Equação (13), considerando a densidade aparente da água como sendo 1000 kg/m^3 :

$$\rho_a = \frac{M_{sec}}{(M_{sat} - M_{sub})} * 1000 \quad (13)$$

Os resultados para porosidade aparente são expressos pela Equação (14):

$$S_1(z) = 1,0 + \left(2,5 - \frac{z}{d}\right) * \text{tg}(\theta - 3^0) \geq 1 \quad (14)$$

Os resultados para absorção de água são expressos pela Equação (15):

$$\alpha_a = \frac{(M_{sat} - M_{sec})}{M_{sec}} * 100 \quad (15)$$

A norma também exige outros dados, como a média aritmética dos resultados, calculada conforme a Equação (16):

$$\bar{x} = \frac{\sum x}{n} \quad (16)$$

Onde:

x representa os dados obtidos;

n representa a quantidade de ensaios.

Também foi calculado o desvio padrão, conforme a Equação (17):

$$S = \sqrt{\frac{\sum (x - \bar{x})^2}{(n-1)}} \quad (17)$$

Assim como o coeficiente de variação, conforme a Equação (18), que deve ser expresso em porcentagem (%):

$$\delta = \frac{s}{\bar{x}} * 100 \quad (18)$$

Os resultados individuais de quantidades e massas dos corpos de prova utilizados são apresentados com aproximação de 1 kg para densidade e de duas casas decimais para as demais.

4.2 Resistência à compressão uniaxial

Este ensaio é regido pela *ABNT NBR 15845-5/2015*, com o intuito de determinar o módulo de ruptura por compressão uniaxial de rochas que virão a ser utilizadas como revestimento.

Os corpos de prova para fins do presente ensaio, deveriam possuir dimensões compreendidos entre $70 \pm 2\text{mm}$ e $75 \pm 2\text{mm}$ quando cúbicos, cuja relação base/altura fosse 1:1, devendo-se ainda, respeitar a angulação de $90 \pm 5^\circ$ entre as duas faces consecutivas.

A norma rege o uso de 10 corpos de prova, uma vez que as rochas possuíam estrutura isotrópica. As faces de carregamento permaneceram paralelas, planas, lisas e sem rugosidades, com a demarcação das faces que representavam o topo e a base. As dimensões de altura dos corpos de prova corresponderam à dimensão tomada no centro das duas faces paralelas, no caso topo e base, e as dimensões das arestas, seria correspondente à média de quatro medições tomadas no topo e média de quatro medições tomadas na base, oito dimensões no total.

Metade dos corpos de prova foi ensaiada seca e outra metade saturada em água. Para a condição seca, os corpos de prova foram deixados em estufa à temperatura de $70 \pm 5^\circ\text{C}$, por um período mínimo de 48 horas, sendo ensaiados logo que resfriados no ambiente de laboratório. Para a condição de saturação em água, os corpos de prova foram acomodados, pelo plano comprimento/largura, em bandeja inoxidável, imersos em água até, aproximadamente metade de sua altura por período de 8 horas e após foi realizada a submersão, mantendo-a por 48 horas. O ensaio foi realizado logo após a retirada dos corpos de prova, que foram secos com pano úmido.

Figura 20 – Processos do ensaio de compressão uniaxial: amostras em processo de submersão, acomodação do corpo de prova na prensa e detalhe de peça rompida, respectivamente



Fonte: da autora (2017).

Com o auxílio de prensa hidráulica foi aplicada uma força no corpo de prova que estava centralizado no prato da prensa, até que se configurou a ruptura do mesmo, tomando-se nota da força necessária para rompê-lo, processos podem ser visualizados na Figura 20. Os resultados determinaram a tensão de ruptura na compressão, calculada pela Equação (19):

$$\sigma_c = \frac{P}{A} \quad (19)$$

Onde:

σ_c é considerado o valor numérico da tensão de ruptura na compressão, sendo expressa em megapascals (MPa);

P é o valor numérico da força máxima de ruptura, expressa em quilonewtons (kN);

A é o valor numérico da área da face do corpo de prova que foi submetida ao carregamento, expressa em metros (m).

A norma também pede a média aritmética dos resultados, assim como desvio-padrão e coeficiente de variação, conforme Equações (16), (17) e (18), respectivamente, devendo constar ainda, a quantidade, forma, dimensões e resultados individuais dos corpos de prova em megapascals (MPa), com duas casas decimais de aproximação.

4.3 Flexão por carregamento em três pontos

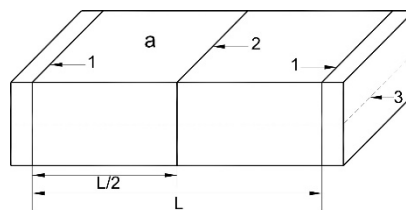
Este ensaio é regido pela *ABNT NBR 15845-6/2015*, com o intuito de determinar o módulo de ruptura por três pontos de rochas que virão a ser utilizadas como revestimento.

O tamanho dos corpos de prova para fins do presente ensaio, deveria ser da grandeza aproximada de 50mm x 100mm x 220mm (respectivamente: espessura d , largura b e comprimento c), o que configura forma retangular, cujas superfícies fossem planas e faces opostas paralelas. Em casos que não fosse possível obter corpos de prova com essas dimensões, indicava-se o valor da espessura como parâmetro, de forma que:

- Espessura d : $25 \text{ mm} \leq d \leq 100 \text{ mm}$ e $d \geq$ duas vezes o diâmetro do maior grão;
- Largura b : $50 \text{ mm} \leq b \leq 3d$;
- Comprimento c : $c \geq 6d$;
- Vão entre roletes: $L \geq 5d$.

Como as amostras configuravam rochas com estrutura isotrópica, indicava-se o uso de no mínimo 10 corpos de prova, sendo utilizados 12, que foram demarcados com traçado na direção da largura, posicionada à metade de seu comprimento, justamente a parte que ficou sob o rolete central, local da ruptura. Também foram realizadas marcações paralelas e equidistantes da linha média de forma que $L/2$ ($c/2 - 10\text{mm}$), demarcando a posição dos roletes inferiores, conforme Figura 21:

Figura 21 – Posições de carregamento nos corpos de prova



Fonte: ABNT NBR 15845-6 (2015).

Sendo:

- 1 – As linhas que demarcam a posição dos roletes inferiores;
- 2 – A linha que demarca a posição do rolete superior;
- 3 – A linha que demarca a estruturação/orientação da rocha.

Foram efetuadas aferições das dimensões dos corpos de prova, sempre sobre as três linhas já demarcadas, registrando os valores finais de espessura d e largura b como a média aritmética destas medidas.

O ensaio foi executado com os corpos de prova em condição seca e saturada, ou seja, 6 corpos de prova para cada situação. Para a condição seca, os corpos de prova foram deixados na estufa a 70 ± 5 °C, por um período mínimo de 48 horas, sendo o ensaio realizado logo após o resfriamento no ambiente do laboratório. Para a condição saturada em água, os corpos de prova foram colocados em bandeja de material inoxidável, no plano comprimento-largura, com adição de água até, aproximadamente a metade de sua altura, e após período mínimo de 8 horas, foram submersos por outro período mínimo de 48 horas. O ensaio foi efetuado logo após a retirada dos corpos de prova da água, realizando uma secagem superficial com pano úmido.

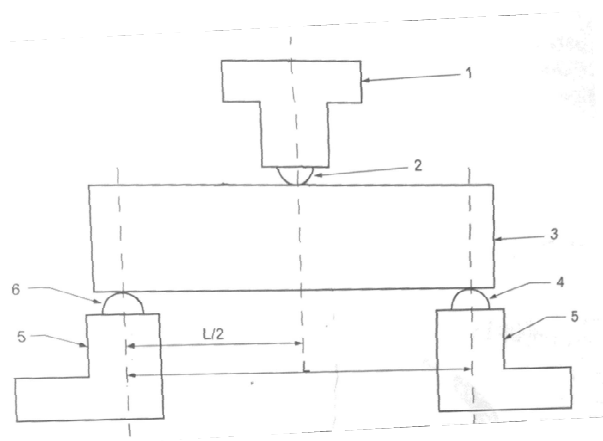
Figura 22 – Saturação e secagem dos corpos de prova para ensaio de flexão por 3 pontos



Fonte: da autora (2017).

Como o auxílio de uma prensa hidráulica, o corpo de prova foi acomodado, pela sua largura, sobre os roletes inferiores, de forma que coincidisse com as linhas demarcadas, conforme a Figura 23. Sempre que as placas apresentavam acabamento superficial, esta face era posicionada sobre os roletes inferiores. Depois, se realizava o posicionamento do rolete superior na posição da linha média traçada, aplicando uma pequena carga inicial, somente para estabilizar os componentes do ensaio. Caso o plano de ruptura do corpo de prova não coincidisse com a área delimitada pelos cutelos, o resultado deveria ser registrado, porém descartado para fins de média aritmética.

Figura 23 – Arranjo recomendado para posicionamento do corpo de prova



Fonte: ABNT NBR 15845-6/2015.

Onde:

- 1 - Suporte de rolete superior;
- 2 - Rolete superior articulado;
- 3 - Corpo de prova;
- 4 - Rolete inferior articulado;
- 5 - Suportes dos roletes inferiores;
- 6 - Rolete inferior não articulado.

Figura 24 – Posicionamento utilizado para ensaio de flexão por 3 pontos



Fonte: da autora (2017).

Os resultados determinaram a tensão de ruptura, calculada a partir da Equação (20):

$$\sigma_f = \frac{3 * P * L}{2 * b * d^2} \quad (20)$$

Onde:

σ_f é considerado o valor numérico do módulo de ruptura, sendo expresso em megapascals (MPa);

P é o valor numérico da força de ruptura, sendo expresso em quilonewtons (kN);

L é o valor numérico da distância entre os roletes inferiores, expresso em metros (m);

b é o valor numérico da largura do corpo de prova, sendo expresso em metros (m);

d é o valor numérico da espessura do corpo de prova, sendo expresso em metros (m).

Figura 25 – Amostras rompidas: basalto e Itaúna, e respectivamente Preto São Gabriel



Fonte: da autora (2017).

A norma também pede a média aritmética dos resultados, assim como desvio-padrão e coeficiente de variação, conforme Equações (16), (17) e (18), respectivamente, devendo constar ainda, a quantidade, dimensões e resultados individuais dos corpos de prova em megapascals (MPa), com duas casas decimais de aproximação.

4.4 Flexão por carregamento em quatro pontos

Este ensaio é regido pela *ABNT NBR 15845-7/2015*, com o intuito de determinar o módulo de ruptura por quatro pontos de rochas que virão a ser utilizadas como revestimento.

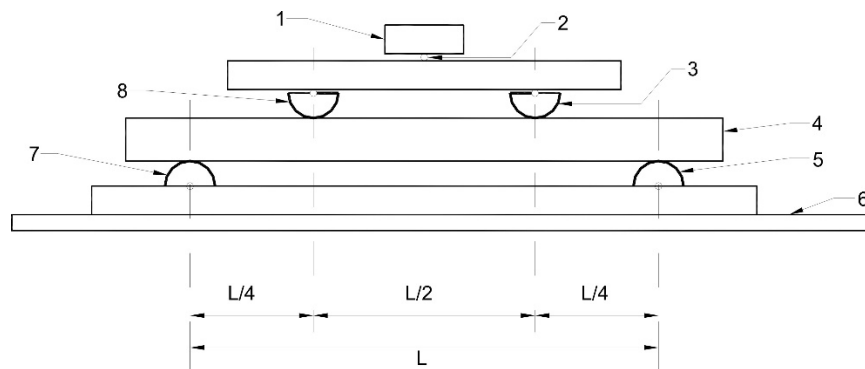
O tamanho dos corpos de prova para fins do presente ensaio, deveria ser da grandeza de 30mm x 100mm x 400mm (respectivamente: espessura d , largura b e comprimento c), o que configura forma retangular, ou então com a mesma espessura de uso, desde que fosse respeitada largura de, no mínimo 1,5 vez a espessura, e o vão de 10 vezes a espessura. Sendo que o tamanho do vão fosse excedido pelo comprimento dos corpos de prova em, no mínimo 3cm, e no máximo 5cm para cada extremidade.

As superfícies dos corpos de prova deveriam ser aplainadas, levemente polidas, e com as faces opostas paralelas. Como foi realizado uso de acabamento nas placas conforme utilização no revestimento, o mesmo foi registrado em relatório, sendo que a superfície com acabamento foi apoiada nos roletes inferiores, simulando a situação de flexão nesta superfície.

A norma indica o uso de 10 corpos de prova, uma vez que as rochas possuem estrutura isotrópica, que foram demarcados com traçado na seção correspondente à espessura, de forma a coincidir com a posição dos roletes superiores e inferiores, conforme a Figura 26, considerando que o vão de ensaio L fosse igual a 300mm, ou então 10 vezes a espessura.

Foram efetuadas aferições das dimensões dos corpos de prova, sempre sobre as quatro linhas demarcadas, registrando os valores finais de espessura d e largura b como a média aritmética destas medidas.

Figura 26 – Arranjo recomendado para disposição do corpo de prova no dispositivo



Fonte: ABNT NBR 15845-7 (2015).

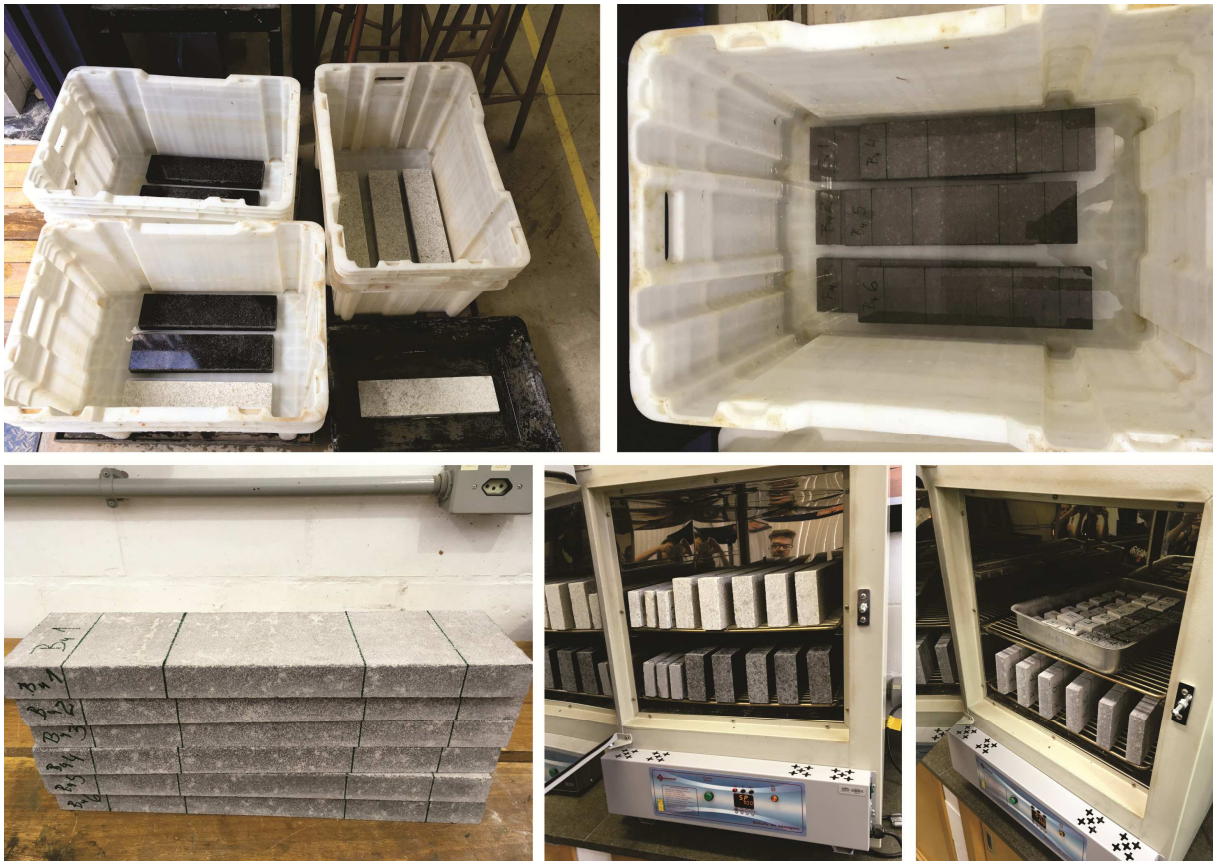
Onde:

- 1 – Prato superior da prensa hidráulica;
- 2 – Rótula;
- 3 – Rolete superior articulado;
- 4 – Corpo de prova;
- 5 – Rolete inferior não articulado;
- 6 – Prato inferior da prensa hidráulica;
- 7 – Rolete inferior articulado; e,
- 8 – Rolete superior não articulado.

O ensaio foi executado com os corpos de prova em condição seca e saturada, ou seja, metade dos corpos de prova para cada situação. Para a condição seca, os corpos de prova foram deixados na estufa à temperatura de $70 \pm 5^\circ\text{C}$, por um período mínimo de 48 horas, sendo o ensaio realizado logo após o resfriamento no ambiente do laboratório. Para a condição saturada em água, os corpos de prova deveriam ser acomodados em bandeja de material inoxidável, no plano comprimento-largura, com adição de água até,

aproximadamente a metade de sua altura, e após período mínimo de 8 horas, submersão por um período mínimo de mais 48 horas. O ensaio foi realizado logo após a retirada dos corpos de prova da água, realizando uma secagem superficial com pano úmido.

Figura 27 – Saturação dos corpos de prova, marcação dos traçados de apoio e aplicação de força e secagem das amostras, respectivamente



Fonte: da autora (2017).

Com o auxílio de uma prensa hidráulica, o corpo de prova foi acomodado, pela sua largura, sobre os roletes inferiores, de forma que coincidisse com as linhas demarcadas, similar ao posicionamento dos roletes superiores que foi realizado posteriormente, aplicando carga até que o corpo de prova sofra ruptura, tomando-se nota da força necessária. Os resultados determinaram a tensão de ruptura, calculada pela Equação (21):

$$\sigma_f = \frac{3 * P * L}{4 * b * d^2} \quad (21)$$

Onde:

σ_f é considerado o valor numérico do módulo de ruptura, sendo expresso em megapascals (MPa);

P é o valor numérico da força de ruptura, sendo expresso em quilonewtons (kN);

L é o valor numérico da distância entre os roletes inferiores, expresso em metros (m);

b é o valor numérico da largura do corpo de prova, sendo expresso em metros (m);

d é o valor numérico da espessura do corpo de prova, sendo expresso em metros (m).

Figura 28 – Amostras rompidas: Itaúna, Preto São Gabriel e basalto, respectivamente



Fonte: da autora (2017).

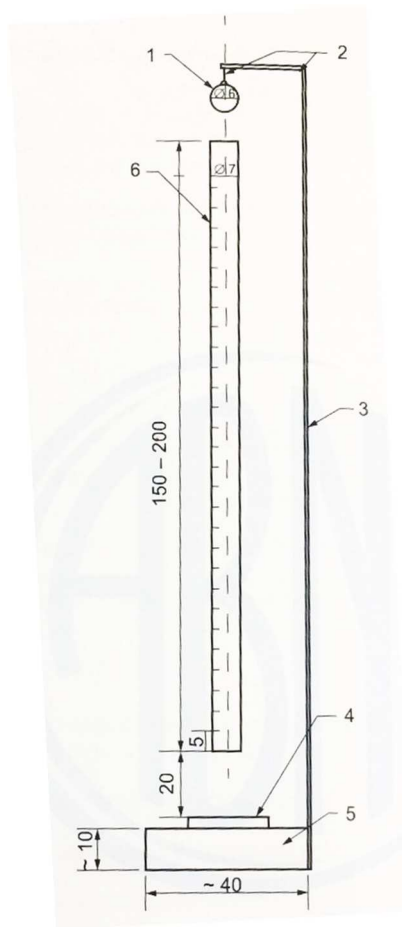
A norma também pede a média aritmética dos resultados, assim como desvio-padrão e coeficiente de variação, conforme Equações (16), (17) e (18), respectivamente, devendo constar ainda, a quantidade, dimensões e resultados individuais dos corpos de prova em megapascals (MPa), com duas casas decimais de aproximação.

4.5 Resistência ao impacto de corpo duro

Este ensaio é regido pela *ABNT NBR 15845-8/2015*, com o intuito de determinar a resistência ao impacto de corpo duro em produtos acabados de rochas que virão a ser utilizadas como revestimento.

Foram utilizados 6 corpos de prova, 5 no mínimo, para o presente ensaio, com dimensões aproximadas de 200mm x 200mm, cujo recorte deveria ser realizado em placas com acabamento, sendo as espessuras idênticas às de uso. Para a realização do ensaio foi necessário o desenvolvimento de dispositivo, conforme Figura 29:

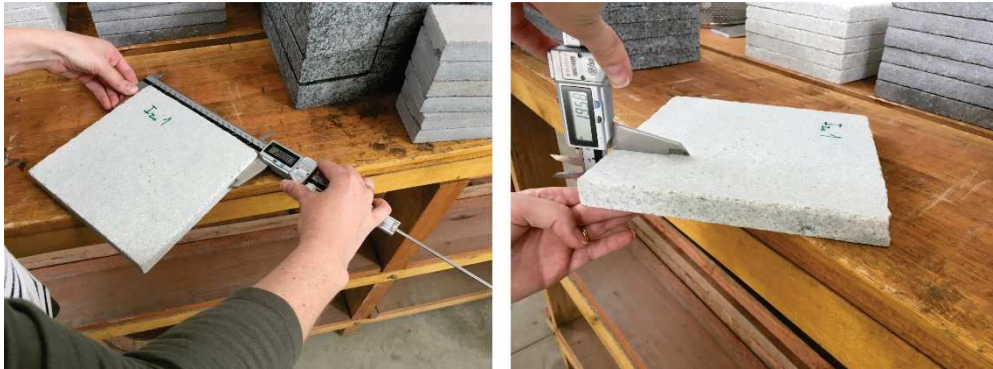
Figura 29 – Esquema de aparelho para ensaio de impacto de corpo duro



Fonte: ABNT NBR 15845-8 (2015).

Onde:

- 1 – Corresponde à esfera de aço de 1000 ± 10 g e 6cm de diâmetro;
- 2 – Corresponde à roldana;
- 3 – Estrutura para sustentação da esfera;
- 4 – Corpo de prova;
- 5 – Colchão de areia, executado em caixa quadrada com dimensões de cerca de 40 cm de arestas e com altura aproximada de 10 cm, cuja areia seja normal média conforme ABNT NBR 7214 ou equivalente;
- 6 – Tubo guia, com dimensões de $7 \pm 0,5$ cm de largura e entre 150cm e 200cm de altura, com escala externa de 5cm em 5cm.

Figura 30 – Aferições dos corpos de prova

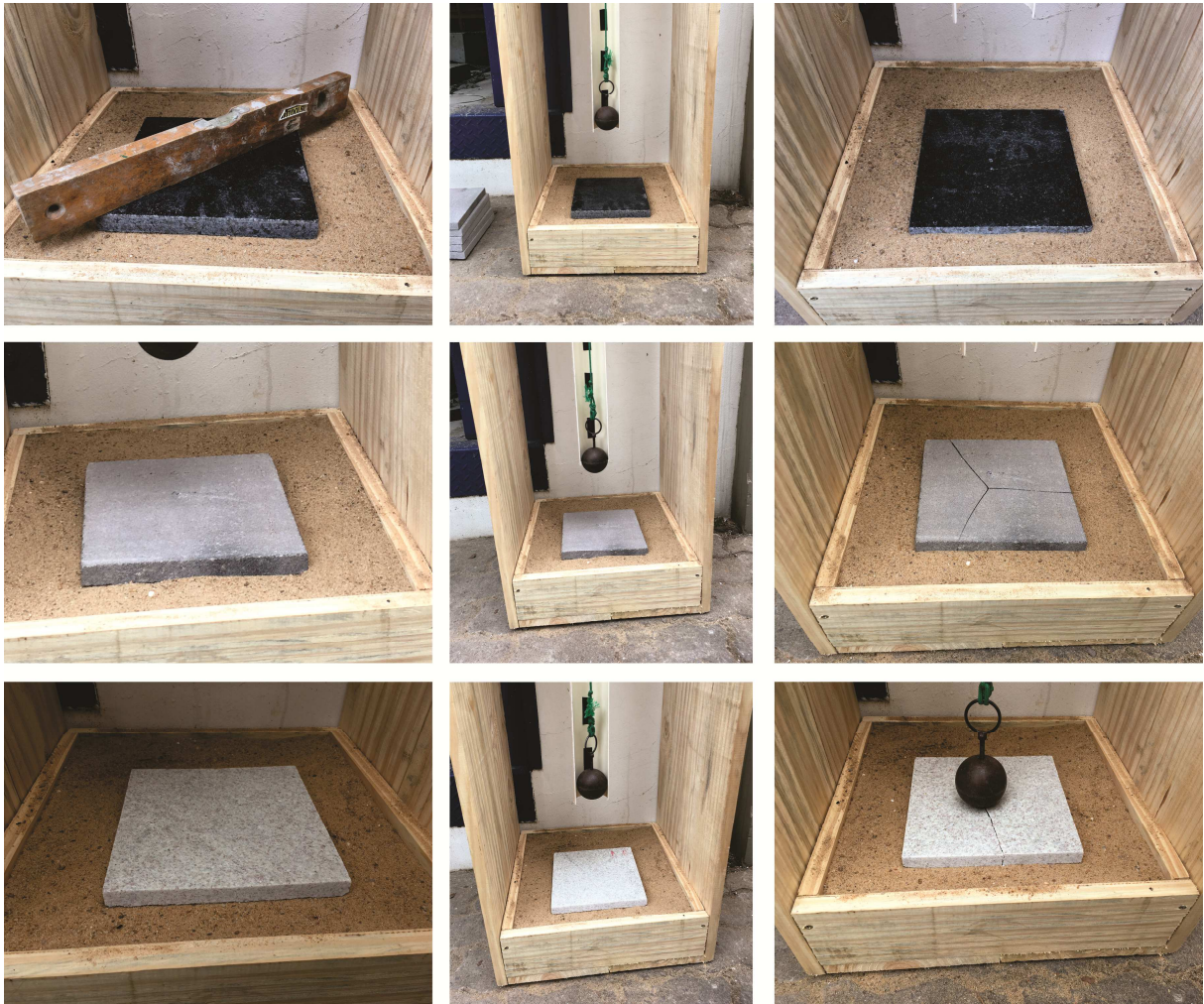
Fonte: da autora (2017).

Figura 31 – Aparelho desenvolvido para ensaio de impacto de corpo duro

Fonte: da autora (2017).

O ensaio foi realizado com o assentamento do corpo de prova de forma centralizada no colchão de areia, com a face de uso com acabamento posicionada para cima, sendo nivelada com o nível bolha do modo mais preciso possível. Então a esfera de aço foi alçada à altura inicial de 20cm, medida entre a face da placa até o centro de massa da esfera, e em seguida foi abandonada em plena queda livre. Sempre a partir desta altura foram repetidos os procedimentos, com intervalos crescentes de altura da ordem de 5cm, até que ocorresse a fissuração e/ou a ruptura da placa, anotando-se as alturas em que ocorriam.

Figura 32 – Procedimento do ensaio para basalto, Itaúna e Preto São Gabriel



Fonte: da autora (2017).

Os resultados foram expressos pela média aritmética da altura de ruptura, bem como pela energia de ruptura, calculada pela Equação (22):

$$W = m * g * h \quad (22)$$

Onde:

W é considerada a energia de ruptura, sendo expressa em joules (J);

m é o valor da massa da esfera, sendo expresso em quilogramas (kg);

g é a aceleração da gravidade, da ordem de $9,806 \text{ m/s}^2$;

h é a altura de ruptura, sendo expressa em metros (m).

Figura 33 – Amostras rompidas: Itaúna, Preto São Gabriel e basalto, respectivamente



Fonte: da autora (2017).

A norma também pede a média aritmética dos resultados, assim como desvio-padrão e coeficiente de variação, conforme Equações (16), (17) e (18), respectivamente, devendo constar ainda, a quantidade e dimensões em milímetros dos corpos de prova utilizados no ensaio, principalmente da espessura, os resultados individuais da altura de fissuração e de ruptura, sendo os mesmos expressos em metros, com duas casas decimais de aproximação, além da energia de ruptura expressa em joules, com aproximação de 1 J.

4.6 Pressão de ensaio do vento

O fato do vento ter grande impacto sobre o dimensionamento do sistema de fachada ventilada, atentou para que se ampliasse os conhecimentos sobre a *ABNT NBR 6123/1988*, simulando situação para que fosse analisada sob o parâmetro da Figura 34, que apresenta os valores de pressão de vento conforme a região/categoria do país de acordo com as isopletas, bem como com o número de pavimentos da edificação.

Figura 34 – Valores de pressão de vento conforme a região do país e o número de pavimentos da edificação

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

Fonte: ABNT NBR 10821-2 (2017).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Uma das premissas do presente trabalho consistia em aprofundar os conhecimentos teóricos e práticos sobre o sistema de fachada ventilada, portanto, através do Sinduscon-RS (Sindicato das Indústrias da Construção Civil no Estado do Rio Grande do Sul), no dia 29 de junho de 2017 participou-se do Seminário sobre Tecnologia de Vedações, cujo foco estava no desempenho e produtividade, com concentração nas vedações externas industrializadas. Sob coordenação de Maria Angélica Covelo, o Seminário foi encerrado com o exemplo da obra de ampliação do *Campus* da Unisinos, em Porto Alegre, empreendimento que fez uso do sistema de fachada ventilada. Nesta oportunidade tomou-se conhecimento da empresa que realizou o desenvolvimento e execução do projeto de fachada, a Favegrup®, momento em que houve contato físico com revestimentos, insertos e a subestrutura do sistema, além de espaço para questionamentos aos envolvidos no processo.

Após pesquisa sobre a empresa, foi realizado o contato telefônico com o arquiteto responsável técnico Fábio Izidoro Lunardelli, que se dispôs a palestrar no dia 14 de setembro de 2017, durante a semana acadêmica do curso. A apresentação permitiu um grande aprofundamento prático, com *cases* de aplicação do sistema de fachada ventilada, assim como conhecimento das diversas soluções de fixação e gama de revestimentos oferecidos. Consistiu em um momento onde muitas dúvidas puderam ser sanadas, uma vez que o público presente interagiu abertamente com o palestrante.

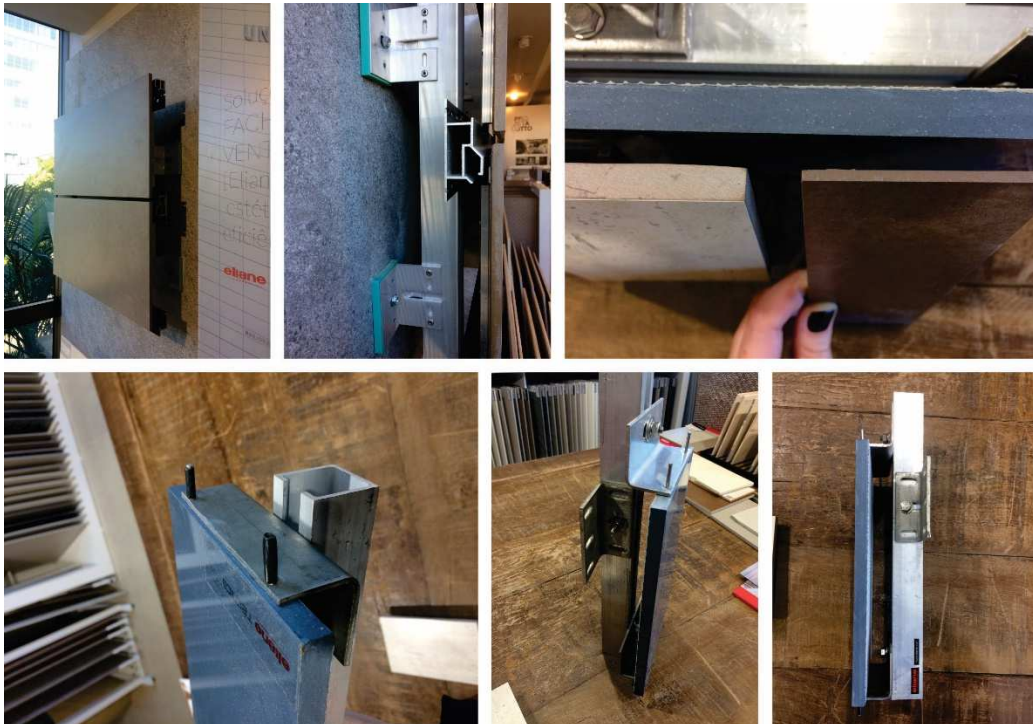
Ficava cada vez mais evidente que o ponto chave da fachada ventilada consistia na especificação de seu revestimento. Sob este pensamento foram realizadas visitas, em Porto Alegre, à obras cuja execução da fachada se dava pelo sistema ventilado, como o caso do *Campus* da Unisinos, executado com revestimento em cerâmica extrudada e juntas abertas, ou então pelo sistema de revestimento não aderido, como o caso do Edifício *Capital Tower*, ainda em construção, com revestimento em ACM e juntas seladas, ao lado do Edifício *Trust Business Center*, na Avenida Carlos Gomes, nº 300, executado com revestimento em granito e ACM e também com juntas seladas. Este último sofreu danos com temporal ocorrido, conforme pode ser visto na Figura 35, ainda este ano encontrava-se em processo de recuperação, após ter parte de seu revestimento em ACM arrancado, bem como ruptura de algumas placas de granito.

Figura 35 – Edifício *Trust Business Center* (direita) ao lado do Edifício *Capital Tower*



Fonte: da autora (2017).

Figura 36 – Produtos da Eliane® para sistema de fachada ventilada



Fonte: da autora (2017).

Houve também o contato com a empresa de revestimentos cerâmicos Eliane®, que desencadeou na visita ao escritório de especificações em Porto Alegre, para contato com material da empresa no que tange a área de soluções para fachadas ventiladas, conforme a Figura 36.

Por fim foi realizada visita à obra de edifício residencial em Porto Alegre, cujo projeto prevê instalação de fachada aerada, cujo revestimento em basalto afixado por insertos metálicos pontuais, terá interface com ACM e juntas seladas.

Figura 37 – Protótipo desenvolvido na obra para análise



Fonte: da autora (2017).

Por intermédio da empresa executora, foi possível o contato com o fornecedor das rochas e insertos para a fachada em questão, desencadeando na obtenção de amostras primordiais para as análises que seguem.

Uma vez que não há parâmetros normativos que devam ser seguidos para especificação de revestimentos de basalto não aderidos, existindo apenas os ensaios, optou-se, devido às características litológicas semelhantes, realizar o comparativo entre amostras de granito e basalto, à luz da *ABNT NBR 15844/2015* que especifica as características de ordem física e mecânica típicas de granitos que são destinados para o uso como revestimentos de edificações. Além desta análise, incorporou-se a este trabalho o material de Chiodi Filho e Rodrigues, apresentado no Anexo A, que apresenta uma proposta geral de qualificação tecnológica para rochas de uso ornamental e de revestimento.

Tendo por base os estudos de Moreira (2014), sobre a diferença de desempenho entre granitos claros e escuros, elegeu-se, juntamente com o fornecedor das rochas, que seriam utilizadas duas amostras de granito, uma clara, comercialmente denominada Itaúna e outra escura, também comercialmente denominada Preto São Gabriel. Já a amostra de basalto viria a ser exatamente a mesma que havia sido especificada como revestimento para o edifício residencial em construção.

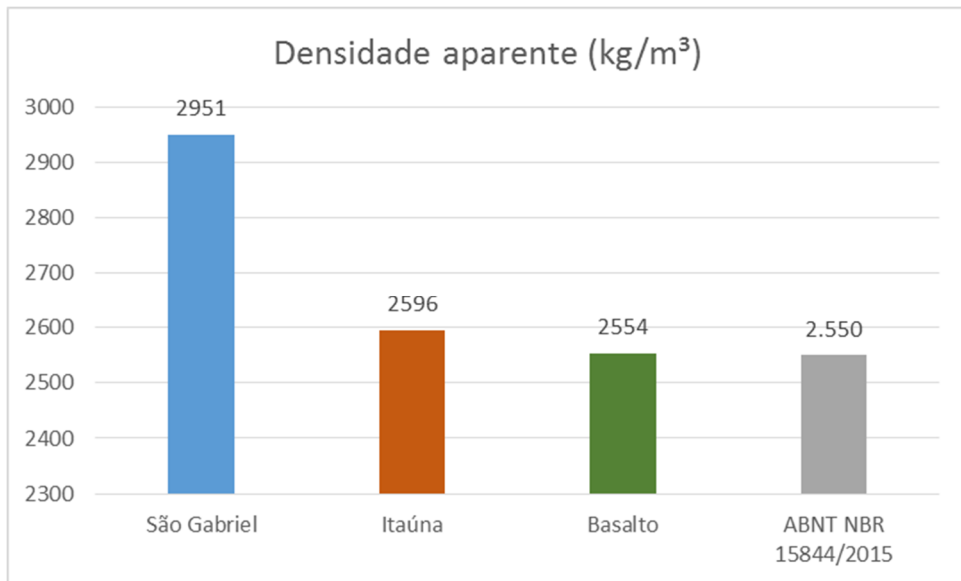
5.1 Absorção de água

Inicialmente este ensaio não seria realizado, pois a norma exige cubos com aproximadamente 50mm ou 70mm de aresta, e com relação base/altura de 1:1, sendo que o fornecedor não possuía amostras cuja espessura respeitasse o parâmetro. Mas no âmbito de ao menos possuir alguns dados passíveis de comparação, realizou-se o ensaio com 12 amostras de granito São Gabriel, 11 amostras de granito Itaúna e 12 amostras de basalto, respeitando a relação base/altura 1:1, sendo então a dimensão das arestas regida pela espessura da amostra, conforme pode ser analisado no Apêndice A.

Devido às questões de agendamento do forno e laboratório, as amostras foram todas aferidas no mesmo dia, sendo que o quesito de constância de massa não foi atingido pela amostra de basalto. Todos os dados de pesagens e resultados para absorção de água, densidade e porosidade aparente, podem ser verificados no Apêndice B.

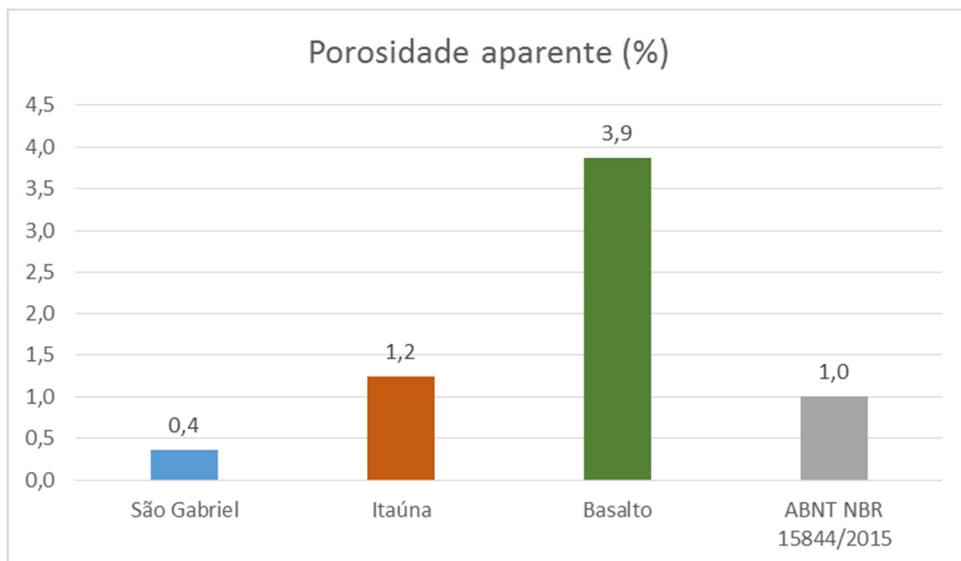
Como a norma rege o ensaio de 10 corpos de prova, após os cálculos optou-se por descartar aqueles cujo coeficiente de variação foi muito elevado, assim sendo, foram descartados os resultados dos corpos de prova 11 e 12 da amostra de São Gabriel, o 8 da amostra de Itaúna e os corpos de prova 2 e 11 da amostra de basalto. Os resultados finais podem ser analisados no Apêndice C, e os resultados analisados nas Figuras que seguem.

Figura 38 – Resultados para densidade aparente

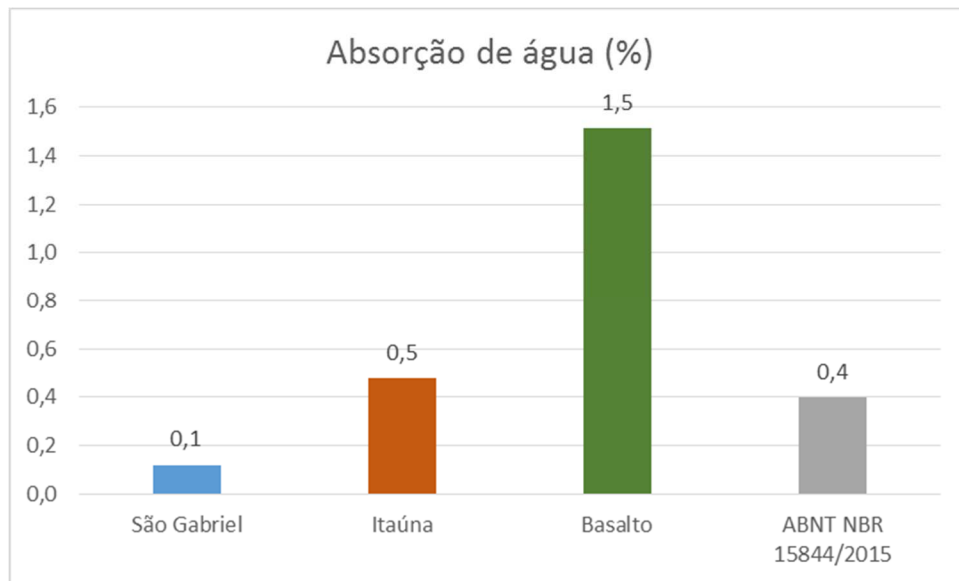


Fonte: da autora (2017).

Figura 39 – Resultados para porosidade aparente



Fonte: da autora (2017).

Figura 40 – Resultados para absorção de água

Fonte: da autora (2017).

Uma vez que para a amostra de basalto não foi atendido o quesito de constância de massa, o ideal seria a realização de novo ensaio para atender tal solicitação e então realizar o comparativo entre as amostras. Porém conforme os resultados obtidos, pode-se notar que para as amostras de granito, a densidade aparente, e os índices de absorção e porosidade, são indiretamente proporcionais, quanto maior a primeira, menores os demais. Tal fato também poderia ser equivalente para a amostra de basalto na atual configuração de ensaio, porém se em novo ensaio os índices de porosidade e absorção forem menores, espera-se que a sua densidade aparente seja aumentada, e seguindo esta tendência, a densidade aparente do basalto seria facilmente superior à da amostra de *Itaúna*.

Conforme Chiodi Filho e Rodrigues (2009), a importância desse ensaio está diretamente ligada à resistência físico-mecânica da rocha, porque uma porosidade aparente maior representa um volume de vazios maior, e maiores coeficientes de absorção de água permitem maiores infiltrações de líquidos, o que implica no grau de alterabilidade de uma rocha. Já a densidade aparente permite o cálculo mais preciso do peso individual das placas para fins de projeto, além de inferências sobre a sua resistência físico-mecânica. Sendo assim, nos moldes em que o ensaio foi realizado, nos comparativos dos resultados para com a *ABNT NBR 15844/2015*, tem-se que os índices mínimos de densidade aparente são atingidos por todas as amostras. Para os índices máximos de porosidade aparente e absorção de água, somente a amostra de *Preto São Gabriel* se encontra dentro do limite estabelecido.

5.2 Resistência à compressão uniaxial

Inicialmente este ensaio também não seria realizado, pelo mesmo motivo do ensaio anterior, pois a norma exige dimensões entre 70 ± 2 mm e 75 ± 2 mm quando cúbicos, ou diâmetro entre 70 ± 2 mm e 75 ± 2 mm quando cilíndricos, cuja relação base/altura seja 1:1, sendo que o fornecedor não possuía amostras cuja espessura respeitasse o parâmetro. Mas no âmbito de ao menos possuir alguns dados passíveis de comparação, utilizou-se as mesmas amostras do ensaio de absorção, cujas dimensões das arestas foram regidas pela espessura da amostra, conforme pode ser analisado no Apêndice A.

Tentou-se respeitar a angulação de $90 \pm 5^\circ$ entre duas faces consecutivas, embora o corte das amostras tenha se dado em canteiro de obras, conforme Figura 41.

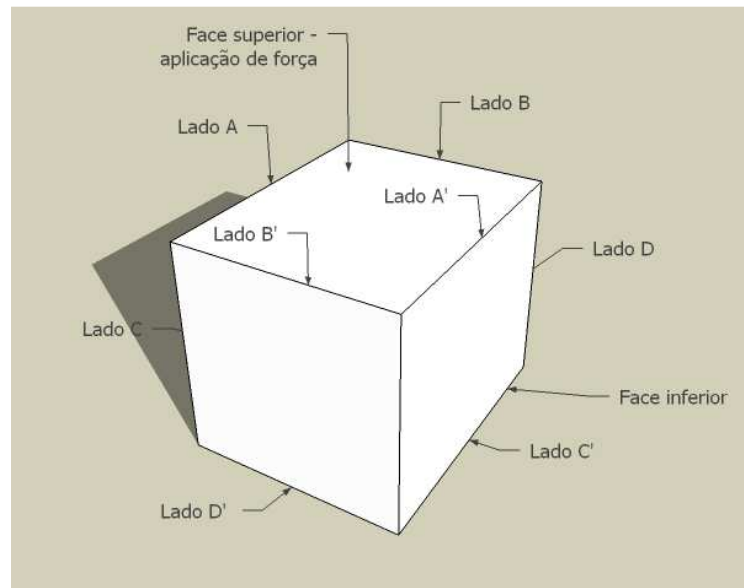
Figura 41 – Amostras cortadas com pouca precisão



Fonte: da autora (2017).

Assim as dimensões de arestas do cubo, corresponderiam à média de quatro medições tomadas no topo e média de quatro medições tomadas na base, porém como os corpos de prova não foram cortados com precisão, muitos não configuraram cubos, e sim paralelepípedos. Assim sendo, tomou-se nota das arestas A e B da face superior, e também as arestas A' e B' paralelas, aplicando o mesmo procedimento com a face inferior, anotando C e D, bem como C' e D', para posteriormente fazer a média entre as duas dimensões A e A', assim como de B e B', sendo que a multiplicação dos resultados resultou na área da face de aplicação da força.

Figura 42 – Demonstrativo da nomenclatura das arestas



Fonte: da autora (2017).

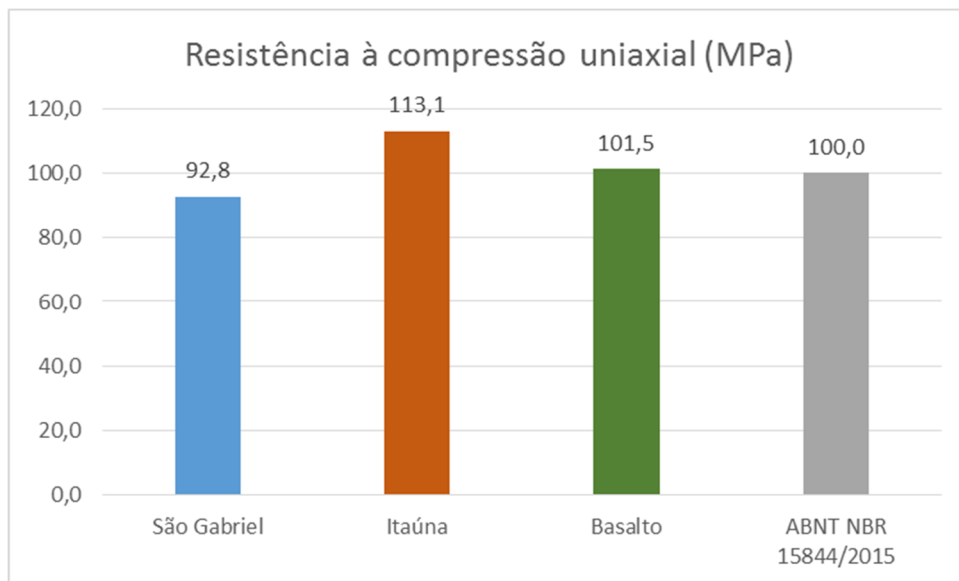
Todas as aferições e resultados podem ser analisados no Apêndice D, sendo que, como a norma exige apenas 10 corpos de prova, após avaliação do coeficiente de variação, optou-se por descartar os resultados daqueles discrepantes, sendo estes, os corpos de prova 1 e 11 da amostra de São Gabriel, e 4 e 10 da amostra de basalto. Já da amostra de Itaúna foram ensaiados somente 10 corpos de prova.

Os resultados apresentados pela Figura 43, sob análise primária demonstram que somente a amostra de *Preto São Gabriel* não atingiu o limite mínimo estabelecido pela *ABNT NBR 15844/2015*, embora tenha ficado bem próximo de atingi-lo. Conforme Chiodi Filho e Rodrigues (2009), este ensaio é sugestivo da sanidade e robustez de uma rocha, pois afere sua resistência ao cisalhamento, esforço à qual normalmente está submetida quando em uso.

Os dados mais relevantes deste ensaio, referem-se ao fato de que em todas as amostragens, no mínimo, dois corpos de prova apresentaram coeficiente de variação superior a 10%, valores iguais e superiores podem, estatisticamente, ser considerados demasiadamente elevados, assim como a tensão de ruptura dos corpos de prova saturados da amostra de basalto foram mais elevados, quando comparados aos secos. Tais resultados demonstram que algum fator no ensaio foi de grande influência para que isso ocorresse, suspeita-se que pode ter sido referente ao tamanho mínimo de aresta não atendido, ou ao fato dos corpos de prova não terem sido perfeitamente cúbicos, ou ao fato do corte realizado não ter deixado as faces laterais totalmente planas, ou devido ao mal funcionamento da prensa, ou devido às diferenças

de acabamento das amostras, uma vez que as de granito apresentavam faces superiores e inferiores polidas, enquanto a de basalto apresentava ambas as faces levigadas. Um novo ensaio inter-relacionando estas variáveis seria primordial.

Figura 43 – Resultados para compressão uniaxial



Fonte: da autora (2017).

5.3 Flexão por carregamento em três pontos

O tamanho dos corpos de prova para fins do presente ensaio, deveriam ser da grandeza aproximada de 50mm x 100mm x 220mm (respectivamente: espessura d , largura b e comprimento c), o que configura forma retangular, porém o fornecedor das rochas não possuía corpos de prova com tais espessuras. Logo, desde que as superfícies fossem planas e as faces opostas paralelas, os corpos de prova poderiam usar a espessura como parâmetro, de forma que se obedecesse ao seguinte:

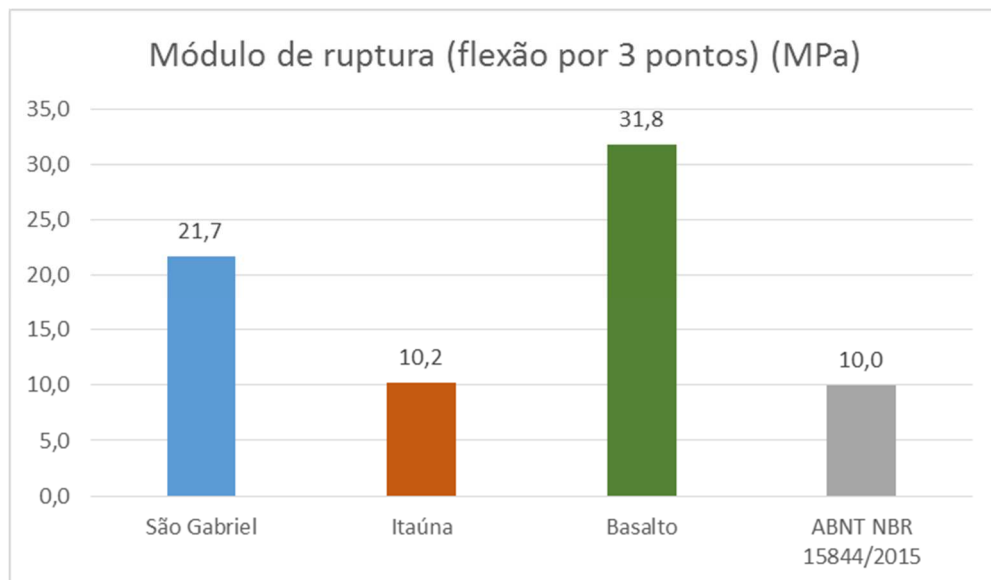
- Espessura d : $25\text{mm} \leq d \leq 100\text{mm}$ e $d \geq$ duas vezes o diâmetro do maior grão.

As amostras que foram obtidas resultaram na espessura $20\text{mm} \leq d \leq 24,9\text{mm}$, porém todas obedeceram ao parâmetro $d \geq$ duas vezes o diâmetro do maior grão. Com base na espessura as demais dimensões deveriam respeitar:

- Largura deveria ser: $50\text{mm} \leq b \leq (60\text{mm a } 74,7\text{mm})$, e foi de $73,91\text{mm} \leq b \leq 75,58\text{mm}$;
- Comprimento deveria ser: $c \geq 120\text{mm}$, e foi $c \geq 198,94\text{mm}$;
- Vão entre roletes deveria ser: $L \geq 100\text{mm}$, e foi adotado $L=180\text{mm}$.

A resistência à ruptura por flexão, seja de 3 ou 4 pontos, tem também a função de indicar a sanidade e robustez da rocha, sendo considerada primordial para auxiliar nas especificações de rocha para fachadas aeradas, pisos elevados e demais situações (CHIODI FILHO E RODRIGUES, 2009).

Figura 44 – Resultados para módulo de ruptura – flexão por 3 pontos



Fonte: da autora (2017).

Somente as placas de granito apresentavam acabamento polido, as placas de basalto apresentavam acabamento levigado nas duas faces de apoio dos cutelos. Todas as aferições e resultados encontram-se no Apêndice E. Embora as peças não tenham atendido aos tamanhos requeridos pela norma, o ensaio foi deveras satisfatório, demonstrando que todas as amostras atendem ao valor mínimo estipulado pela *ABNT NBR 15844/2015*, além de demonstrar a disparidade dos resultados entre as 3 amostras, evidenciando a supremacia do basalto no quesito módulo de ruptura na flexão por 3 pontos.

Cabe ressaltar que para fins de análise comparativa, a amostra de *Preto São Gabriel* analisada neste ensaio não teve o mesmo fornecedor que as demais, embora não se possa confirmar que a jazida não seja a mesma, dada a nomenclatura comercial e semelhança visual.

5.4 Flexão por carregamento em quatro pontos

O tamanho dos corpos de prova para fins do presente ensaio, deveria ser da grandeza de 30mm x 100mm x 400mm (respectivamente: espessura d , largura b e comprimento c), o que configura forma retangular, ou então com a mesma espessura de uso, desde que fosse respeitada largura de, no mínimo 1,5 vez a espessura, e o vão de 10 vezes a espessura. Porém conforme disponibilização do fornecedor, as amostras de granito apresentavam espessuras entre 40,48mm e 42,96mm, mas respeitavam largura de 100mm e comprimento de 400mm, aproximadamente, com as duas faces polidas. Já as amostras de basalto apresentavam espessura de uso, com aproximadamente 28mm x 100mm x 400mm (respectivamente: espessura d , largura b e comprimento c). Sendo que o tamanho do vão excedido pelo comprimento dos corpos de prova nos ensaios de granito foi de 4cm e para as amostras de basalto foi de 5cm, para cada extremidade, o que configura L igual a 300mm para basalto, e optou-se por L igual a 320mm para as amostras de granito, uma vez que não seria possível respeitar o índice de 10 vezes a espessura.

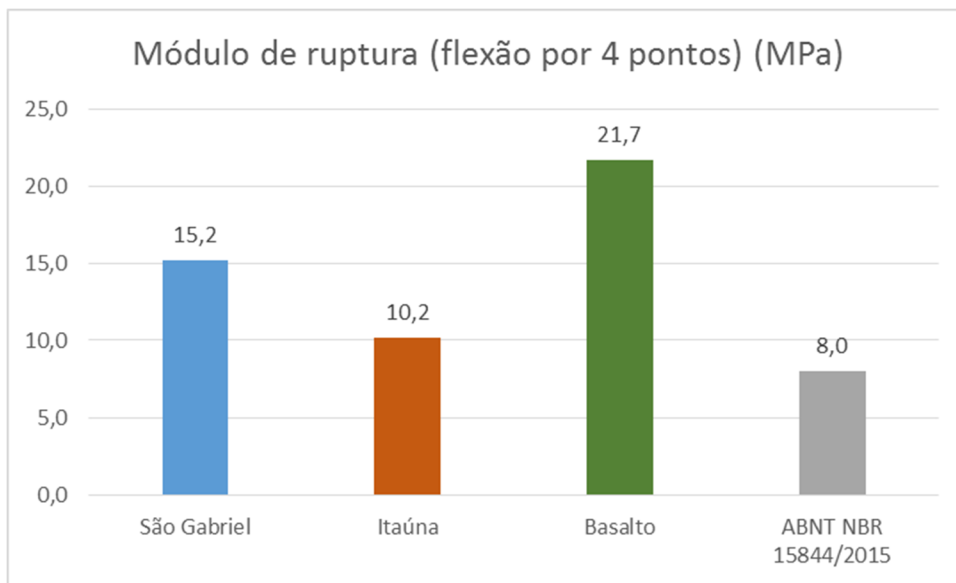
Foi realizado uso de acabamento polido nas duas faces das placas de granito e com acabamento polido em uma face das amostras de basalto, sendo que a superfície com acabamento foi apoiada nos roletes inferiores, simulando a situação de flexão nesta superfície.

A norma indica o uso de 10 corpos de prova, uma vez que as rochas possuem estrutura isotrópica, nesse caso, das amostras de granito foram ensaiados exatamente 10 corpos de prova de cada, já das amostras de basalto foram ensaiados 12 corpos de prova, sendo que o nº 1 rompeu sob o apoio de um dos roletes superiores, o que significa provável descentralização da força, e o nº 12 rompeu antes do início do ensaio, sendo neste caso, ambos os resultados dos corpos de prova refutados.

Assim como no ensaio de flexão por 3, confirma-se o elevado módulo de ruptura também por flexão, neste caso por 4 pontos, da amostra de basalto, destacando-se sobre as amostras de granito, sendo que todas as amostras atendem ao valor mínimo estipulado pela *ABNT NBR 15844/2015*. Todas as aferições e resultados encontram-se no Apêndice F.

Neste ensaio a amostra de Itaúna, apresentou tensão média de ruptura dos corpos de prova saturados, superior que a dos secos, assim como ocorrido com a tensão de ruptura da amostra de basalto no ensaio de compressão. Suspeita-se que o fator relevante para tal resultado tenha correlação com as dimensões de ensaio que não foram atendidas, ou então algo relativo ao rompimento, mas cabe análise.

Figura 45 – Resultados para módulo de ruptura – flexão por 4 pontos



Fonte: da autora (2017).

5.5 Resistência ao impacto de corpo duro

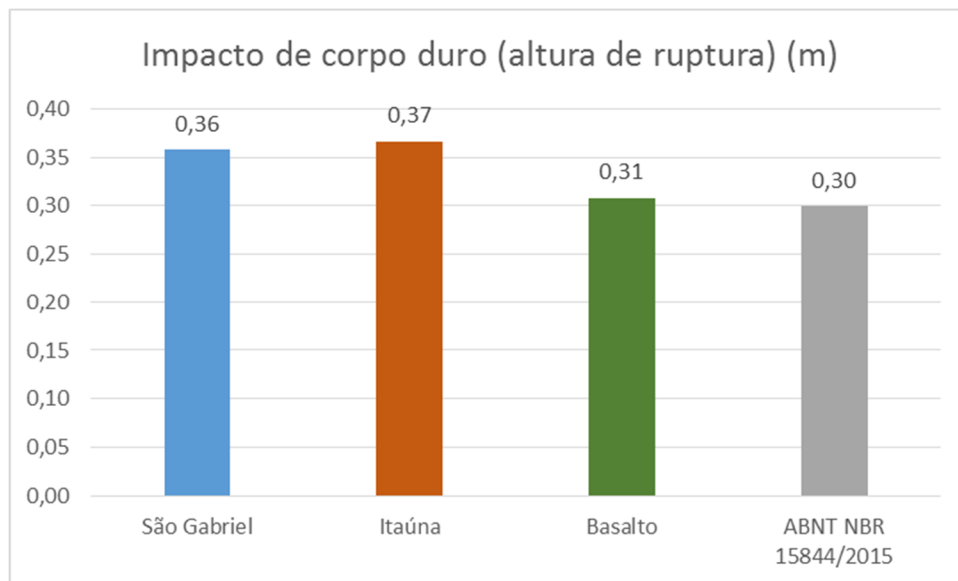
Foram utilizados 6 corpos de prova para cada amostra, sendo que as de granito apresentavam acabamento polido em uma das faces e as de basalto apresentavam acabamento levigado em ambas as faces, quando deveria ter o mesmo acabamento de uso.

Neste quesito todas as amostras apresentaram desempenho superior a 0,30m para altura de queda, altura mínima indicada pela norma. Todas as aferições e resultados encontram-se no Apêndice G.

Vale ressaltar que a amostra de basalto ficou muito próxima do limite, sendo que 5 corpos de prova romperam há exatos 0,30m e somente 1 rompeu à 0,35, elevando a média. Esperava-se um desempenho muito maior de todas as amostras, especialmente da de basalto, porém notou-se que estas apresentavam ruptura direta, sem fissuração prévia, enquanto que as

de granito tenderam à essa fissuração. Assim sendo dentre as amostras ensaiadas, as de granito obtiveram desempenho melhor. Supõe-se que o basalto pudesse apresentar desempenho melhorado caso fosse ensaiado com as faces polidas.

Figura 46 – Resultados para impacto de corpo duro



Fonte: da autora (2017).

Reunindo todas as informações e resultados obtidos, conforme o Quadro 11, pode-se verificar que, no que tange os parâmetros da *ABNT NBR 15844/2015*, a amostra *Preto São Gabriel* destacou-se dentre as demais amostras em todos os quesitos, exceto na compressão uniaxial, já as amostras de basalto e *Itaúna* podem ser consideradas equivalentes, pois ambas ficaram aquém somente nos parâmetros de porosidade aparente e absorção de água, com ressalvas sobre o ensaio da amostra de basalto. Mas cabe ressaltar que a amostra de *Itaúna* foi a que apresentou melhor desempenho à compressão uniaxial, e a amostra de basalto obteve os maiores resultados no quesito módulo de ruptura, quando comparadas dentre si.

Fazendo o comparativo do desempenho do basalto com os dados usuais fornecidos por Chiodi Filho e Rodrigues (2009), somente o valor de módulo de ruptura da flexão por 3 pontos fica dentro a margem apresentada. Esse fato evidencia ainda mais a inconstância das rochas e as disparidades dentre amostras de mesma classificação.

O Quadro 12 demonstra de forma ilustrada a classificação das amostras perante os parâmetros de qualidade adaptados de Chiodi Filho e Rodrigues (2009), conforme Anexo A.

Quadro 11 – Resultados encontrados de acordo com os ensaios realizados

RESULTADO DOS ENSAIOS							
AMOSTRAS	Densidade aparente	Porosidade aparente	Absorção de água	Resistência à compressão uniaxial	Módulo de ruptura (flexão por 3 pontos)	Módulo de ruptura (flexão por 4 pontos)	Impacto de corpo duro
	(kg/m ³)	(%)	(%)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	Altura de ruptura (m)
São Gabriel	2951	0,36	0,12	92,76	21,74	15,24	0,36
Itaúna	2596	1,24	0,48	113,05	10,19	10,15	0,37
Basalto	2554	3,86	1,51	101,47	31,78	21,67	0,31
ABNT NBR 15844/2015	2.550	1,00	0,40	100,00	10,00	8,00	0,30
Usual para basaltos	2900 - 3100	-	0,10 - 0,30	200 - 300	25 - 35	-	0,40 - 0,50

Fonte: da autora (2017).

Quadro 12 – Análise comparativa com dados do Anexo A

AMOSTRAS	Porosidade aparente	Absorção de água	Resistência à compressão uniaxial	Módulo de ruptura (flexão por 3 pontos)	Módulo de ruptura (flexão por 4 pontos)	Impacto de corpo duro	Parâmetros de qualidade	Péssima
	(%)	(%)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	Altura de ruptura (m)		Má
São Gabriel	Muito baixa < 0,5	Baixa 0,1 - 0,4	Média 70 - 130	Muito alta > 20	Muito alta > 15	Baixa 0,30 - 0,50		Regular
Itaúna	Média 1,0 - 3,0	Média 0,4 - 1,0	Média 70 - 130	Média 10 - 16	Média 75 - 11,5	Baixa 0,30 - 0,50		Boa
Basalto	Alta 3,0 - 6,0	Alta 1,0 - 3,0	Média 70 - 130	Muito alta > 20	Muito alta > 15	Baixa 0,30 - 0,50		Muito boa

Fonte: da autora (2017).

5.6 Pressão de ensaio do vento

A pressão de ensaio é considerada aquela que deverá ser suportada pelo elemento fachada cortina. Neste caso como a *ABNT NBR 10821* ainda não apresenta os valores mínimos para esta situação, se fará uso do parâmetro estabelecido para esquadrias da versão *ABNT NBR 10821-2/2017*, conforme a Figura 34, comparando estas com os valores encontrados por meio da Equação (12).

Os valores encontrados correspondem à 1.384,97N/m², quando adotados os valores de acordo com a *ABNT NBR 6123 (1988)*, ou então 1.412,08N/m² de acordo com a versão da

ABNT NBR 10821-2/2011, não mais em vigor, mas que regia os quesitos referentes à fachadas-cortina.

Para a situação em estudo até então, que consistia em edificação com altura máxima de 30 metros, para a Região IV, conforme a Figura 14, Categoria Quadro 6, a pressão de ensaio mínima a ser considerada é 1.130Pa ou então 1.130N/m², o que sugere que os parâmetros mínimos da *ABNT NBR 10821-2/2011*, são inferiores à pior situação calculada pela *ABNT NBR 6123/1988*.

6 CONCLUSÃO

As fachadas ventiladas já são comprovadamente muito vantajosas para fins estéticos, de sustentabilidade e retorno financeiro, devido à economia com climatização, já apresentando gama de fornecedores no Brasil, fácil treinamento de mão de obra e muitas obras já executadas. Mas como todo sistema construtivo, também tem suas desvantagens, não sendo necessariamente a melhor opção no quesito custo-benefício, pois consiste num sistema caro, onde erros como subdimensionamento e/ou utilização em orientações solares inadequadas, entre tantos outros, podem configurar desperdício.

É necessário ainda muito estudo para consolidar o sistema em meio ao mercado da construção civil brasileiro, uma vez que há poucas normas vigentes que possam padronizá-lo, implicando em riscos muito grandes nas suas especificações. Além de que, o sistema sozinho até gera retorno financeiro através do ganho energético, porém pode ser potencializado quando aliado a projetos de iluminação artificial e natural, climatização e automação, entre outros que ainda tem pouca vez no mesmo mercado.

Exige um projeto bem elaborado e implica em diversos dimensionamentos, domínio técnico sobre diversos materiais e ensaios para especificações adequadas, qualquer deslize pode implicar em atrasos na obra, além de muito incômodo, pois a fachada é a apresentação da edificação, do executor e do projetista, mesmo que uma patologia não gere dado físico, o que já vem a ser gravíssimo, pode gerar o dano moral pelo desconforto visual que causa aos seus proprietários e usuários.

Com os estudos realizados e conceitos aplicados, conclui-se que os revestimentos analisados apresentaram desempenho aquém do requerido em norma, o que ressalta a atenção necessária com a especificação de rochas naturais, pois são únicas e voláteis. Conforme o Quadro 11, pode-se verificar que, no que tange os parâmetros da *ABNT NBR 15844/2015*, a amostra *Preto São Gabriel* destacou-se dentre as demais amostras, tendo melhores desempenhos de forma geral, já as amostras de basalto e *Itaúna* podem ser consideradas equivalentes, pois ambas ficaram aquém nos mesmos parâmetros.

As amostras ensaiadas neste estudo, foram apresentadas conforme sua denominação comercial, portanto é necessário ressaltar a importância da realização de ensaios de análise petrográfica, assim como ter-se acesso às informações de localização das jazidas de onde as amostras são provenientes. Devido à falta destas informações para o presente estudo, e diante dos resultados obtidos para a amostra comercialmente denominada basalto, muito diferentes do

histórico de análises da mesma, fica a dúvida se a amostra realmente se refere à rocha basáltica.

É de grande relevância que se considere também, que os ensaios não foram totalmente fiéis à norma que os rege, e que esse fato tende a ser bem expressivo nos resultados encontrados. Portanto fez-se uso de material apresentado por Chiodi Filho e Rodrigues (2009), elaborado especificamente para rochas ornamentais e de revestimento, que apresenta parâmetros tecnológicos de referência aplicados às amostras ensaiadas, conforme o Quadro 12. Demonstra que o ponto fraco de todas as amostras consiste na altura de ruptura das placas, porém este dado é bem expressivo, uma vez que na prática, poucos são os objetos que poderiam causar o dano que uma esfera de 1kg lançada verticalmente com o centro de carga à 30 centímetros da placa é capaz de causar. Representa quase que a simulação da ação de vândalos e/ou danos causados durante manutenções na fachada por equipe de rapel ou balancim. Não que seja um parâmetro irrelevante, mas cabe o bom senso.

Conforme esta análise, o basalto apresentaria má qualidade nos quesitos porosidade aparente e absorção de água, fatores cujo resultado vem a ser dubio, pela forma como o ensaio foi realizado, tornando relevante uma nova análise para comprovação destes dados. Os demais parâmetros configuram a amostra com qualidade regular e muito boa. Já a amostra de *Itaúna* pode ser classificada com qualidade regular pelos resultados que atingiu, e a amostra de *Preto São Gabriel* fica dentre qualidade boa e muito boa.

No que se refere ao vento, conclui-se que o ideal seria que fatores mínimos para cálculo, no caso da pressão de ensaio fossem superiores àqueles calculados, como um quesito de segurança, além do fator 1,5, para pressão de segurança. Porém como as normas já estão em revisão e desenvolvimento, tanto a *ABNT NBR 6123/1988* como a *ABNT NBR 10821-7/201?*, esta última para fachadas cortina, fica a espera pelas mudanças. Já está evidenciado que o mapa de isopleias não foi modificado, sendo que os parâmetros e o conceito de velocidade básica podem ser considerados ultrapassados, uma vez que o presente estudo apresenta referencial das modificações climáticas que estão ocorrendo e que são estimadas a aumentarem. Cabe atentar para os prejuízos financeiros, físicos e morais que os futuros eventos meteorológicos podem desencadear nas edificações já existentes, e àquelas que ainda estão sendo edificadas sem preocupar-se com o respaldo técnico mais que necessário.

6.1 Sugestões para trabalhos futuros

São inúmeras as possibilidades que surgem a partir de um tema simples, sugere-se pesquisa:

- Para criação de dispositivo de interação da câmara de ar da fachada ventilada com o interior da edificação, seus impactos nas diferentes estações do ano e interfaces como obstruções em situações de incêndio;
- E ensaio nos moldes deste trabalho para as amostras nas dimensões requeridas em norma;
- Da determinação da carga de ruptura no orifício da cavilha, à luz das normas estrangeiras;
- E ensaios comparativos de desempenho dentre os revestimentos de fachada ventilada mais executados: granito, cerâmica extrudada, fibrocimento e porcelanato;
- E análise da *ABNT NBR 15846/2010*, responsável pelo projeto, execução e inspeção de revestimento de fachadas de edificações com placas fixadas por insertos.

REFERÊNCIAS

ABRAESP - Associação Brasileira das Indústrias de Portas e Janelas Padronizadas. São José do Rio Preto, SP. Disponível em: < http://www.abraesp.com.br/site/Dados_do_setor/normas-tecnicas-abnt-nbr-10821-2017.html>. Acesso em: 19 nov. 2017.

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

_____. *NBR 10821-2: Esquadrias para edificações. Parte 2: Esquadrias externas – Requisitos e classificação*. Rio de Janeiro, 2017.

_____. *NBR 15012: Rochas para revestimentos de edificações – Terminologia*. Rio de Janeiro, 2013.

_____. *NBR 15575-1: Edificações Habitacionais – Desempenho – Parte 1: Requisitos gerais*. Rio de Janeiro, 2013.

_____. *NBR 15575-4: Edificações Habitacionais – Desempenho – Parte 4: Sistemas de vedação verticais internas e externas - SVVIE*. Rio de Janeiro, 2013.

_____. *NBR 15845-2: Rochas para revestimento – Parte 2: Determinação da densidade aparente, da porosidade aparente e da absorção de água*. Rio de Janeiro, 2015.

_____. *NBR 15845-5: Rochas para revestimento – Parte 5: Determinação da resistência à compressão uniaxial*. Rio de Janeiro, 2015.

_____. *NBR 15845-6: Rochas para revestimento – Parte 6: Determinação do módulo de ruptura (flexão por carregamento em três pontos)*. Rio de Janeiro, 2015.

_____. *NBR 15845-7: Rochas para revestimento – Parte 7: Determinação da resistência à flexão por carregamento em quatro pontos*. Rio de Janeiro, 2015.

_____. *NBR 15845-8: Rochas para revestimento – Parte 8: Determinação da resistência ao impacto de corpo duro*. Rio de Janeiro, 2015.

BLESSMANN, Joaquim. *Acidentes causados pelo vento*. Porto Alegre: Ed. Universidade/UFRGS, 2001.

_____. *O vento na engenharia estrutural*. 2. ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2013.

CAMPOS, Karina Felisbino. *Desenvolvimento de sistema de fixação de fachada ventilada com porcelanato de fina espessura*. 2011. 187 f. Dissertação (Mestrado) – Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2011.

CANDIDO, Daniel Henrique. *Tornados e trombas-d'água no Brasil: modelo de risco e proposta de escala de avaliação de danos*. 2012. 236 f. Tese (Doutorado) – Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2012.

CARNEIRO, Luiza Buccini. *O sistema de fachadas ventiladas: análises e especificação*. 2015. 51 f. Monografia (Especialização) – Curso de Especialização em Construção Civil, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2015.

CAUSS, Leonel Werlich. *Sistema de fachada ventilada em edificações: características, métodos executivos e aplicações*. 2014. 107 f. Monografia (Trabalho de Diplomação do Curso de Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina Centro Tecnológico, Florianópolis, 2014.

CHIODI FILHO, C.; RODRIGUES, E. de P. *Guia de aplicação de rochas em revestimentos*. Projeto Bula. São Paulo: ABIROCHAS, 2009.

CORREIO DO POVO. Porto Alegre, 16 out. 2016. Disponível em: <<http://www.correiodopovo.com.br/Noticias/Geral/2016/10/600465/Temporal-chega-a-Porto-Alegre-com-ventos-de-ate-102-kmh>>. Acesso em: 27 abr. 2017.

DAVIES, Rob *et al.* El constructor del edificio en Londres usó material inflamable porque el metro era dos euros más barato. *The Guardian*. [S. l.] 16 jun. 2017. Disponível em: <http://www.eldiario.es/theguardian/constructor-edificio-Londres-material-inflamable_0_655135263.html>. Acesso em: 19 nov. 2017.

DIREITO, Joana Ferreira. *Estudo da segurança contra incêndio em fachadas ventiladas*. 2011. 74 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil – Especialização em Construções) – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2011.

DUARTE, Fernando. Revestimento ‘culpado’ por tragédia em Londres também é usado no Brasil. *BBC Brasil*. [S. l.] 24 jun. 2017. Disponível em: <<http://www.bbc.com/portuguese/brasil-40381485>>. Acesso em: 19 nov. 2017.

EIRAS, Carlos Quintáns. Cerramientos pesados. *Tectónica: monografias de arquitectura, tecnologia y construcción*. Cerramientos Pesados: Aplacados y Paneles – Envoltentes (II). Barcelona, n. 2, p. 12-27, 1995.

FAVEGRUP – Fachadas Ventiladas. São Paulo, SP. Disponível em: <<http://www.favegrup.com/index.php/pt-BR/produtos>>. Acesso em: 10 out. 2017.

GLOBO. *G1 RS*. [S. l.] 15 mar. 2017. Disponível em: <<http://g1.globo.com/rs/rio-grande-do-sul/noticia/2017/03/estragos-em-sao-francisco-de-paula-sao-compativeis-tornado-diz-inmet.html>>. Acesso em 27 abr. 2017a.

_____. *G1 RS*. [S. l.] 8 jun. 2017. Disponível em: <<http://g1.globo.com/rs/rio-grande-do-sul/noticia/idosa-morre-apos-desabamento-de-casa-durante-temporal-em-caxias-do-sul.ghtml>>. Acesso em 18 jun. 2017b.

GRIFFIN, Andrew. Grenfell Tower cladding that may have led to fire was chosen to improve appearance of Kensington block of flats. *The Independent*. [S. l.] 14 jun. 2017. Disponível em: <<http://www.independent.co.uk/news/uk/home-news/grenfell-tower-cladding-fire-cause-improve-kensington-block-flats-appearance-blaze-24-storey-west-a7789951.html>>. Acesso em: 19 nov. 2017.

JORNAL NH. Novo Hamburgo, 31 jan. 2014. Disponível em: <http://jornalnh.com.br/_conteudo/2014/01/noticias/regiao/12620-temporal-foi-causado-por-uma-super-celula-de-tempestade.html>. Acesso em: 27 abr. 2017.

LEÃO, Silvia Lopes Carneiro. A evolução do conceito de fachada: do renascimento ao modernismo. *Arquisur Revista*. Santa Fé, Argentina, n. 4, p. 90-107, set. 2013. Disponível em: <<https://bibliotecavirtual.unl.edu.ar/publicaciones/index.php/ARQUISUR/article/view/4423/6732>>. Acesso em: 07 maio 2017.

LOTURCO, Bruno. Vedação eficiente. *aU Arquitetura e Construção*. São Paulo, n. 261, p. 72-75, dez. 2015.

MACIEL, Ana Carolina Fernandes. *Energia incorporada de fachadas ventiladas. Estudo de caso para edificação habitacional em Brasília – DF*. 2013. 146 f. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) – Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília, 2013.

MEDEIROS, J. S. et al. *Manual de Construção em Aço: Tecnologias de Vedação e Revestimentos para Fachadas*. Rio de Janeiro: Instituto Aço Brasil / CBCA, 2014.

MEDEIROS, J. S.; SABBATINI, F. H. *Tecnologia e projeto de revestimentos cerâmicos de fachadas de edifícios*. 1999, 28 f. Boletim técnico da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia de Construção Civil, São Paulo, 1999.

MIZGIER, M. O.; PENSO, E. A. Desempenho térmico de fachadas ventiladas com proposta de retrofit em edifícios comerciais na cidade de São Paulo. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. *Anais...* Porto Alegre: ANTAC, 2016. p. 1385-1399.

MOREIRAS, Sérgio Trajano Franco. *Metodologias para o dimensionamento de placas de “granitos” em sistemas não-aderentes de fixação*. 2014. 165 f. Tese (Doutorado em Ciências) – Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2014.

MOURA, Eride. Fachadas respirantes. *Revista Técnica*. São Paulo, ed. 144, p. 34-41, mar. 2009.

OLIVEIRA, Luciana Alves de. *Metodologia para desenvolvimento de projeto de fachadas leves*. 2009. 267 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

PATÓN, Vicente. Una historia superficial. *Tectónica: monografias de arquitectura, tecnologia y construcción*. Fachadas ligeras – Envolventes (I). Barcelona, n. 1, p. 4-9, 1995a.

_____. El nacimiento de una técnica. *Tectónica: monografias de arquitectura, tecnologia y construcción*. Cerramientos Pesados: Aplacados y Paneles – Envolventes (II). Barcelona, n. 2, p. 4-11, 1995b.

RADOLL, Carla Brigitte. *Fachadas ventiladas: seleção entre sistemas revestidos com cerâmica extrudada, granito e porcelanato para as obras de alto padrão de uma construtora*

de Porto Alegre. 2012. 96 f. Monografia (Trabalho de Diplomação do Curso de Engenharia Civil) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.

ROCHA, Ana Paula. Fachada ventilada. *Revista Técnica*. São Paulo, ed. 176, p. 46-52, nov. 2011.

SABBATINI, F. H. et al. *Aula 05: Revestimentos Verticais: Conceituação e Classificação*. 2006. 22 f. Notas de aula da disciplina de Tecnologia da Construção de Edifícios II – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Disponível em: <<https://docente.ifrn.edu.br/valtencirgomes/disciplinas/construcao-de-edificios/revestimentos>>. Acesso em: 20 abr. 2017.

SANJUAN, C. et al. Energy performance of an open-joint ventilated façade compared with a conventional sealed cavity façade. *Solar Energy*, volume 85, artigo 9. p. 1851-1863. [S.l.] Elsevier Science Ltda. Setembro, 2011. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0038092X11001484>>. Acesso em: 20 abr. 2017.

SGARBI, Karina. Tempestade derruba árvores, alaga ruas e causa destruição na Capital. *ZH Notícias*. Porto Alegre, 29 jan. 2016. Disponível em: <<http://zh.clicrbs.com.br/rs/noticias/noticia/2016/01/tempestade-derruba-arvores-alaga-ruas-e-causa-destruicao-na-capital-4963983.html>>. Acesso em: 27 abr. 2017.

SILVA, Fernando Benigno da. Fachadas com revestimento cerâmico não aderido. *Revista Técnica*. São Paulo, ed. 184, p. 58-62, jul. 2012.

SIQUEIRA JÚNIOR, Amaury Antunes de. *Tecnologia de fachada-cortina com placas de grês porcelanato*. 2003. 199 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

TREZZI, Humberto. Sul e Sudeste do Brasil formam segundo maior “Corredor de Tornados” no mundo. *ZH Notícias*. Porto Alegre, 21 abr. 2015. Disponível em: <<http://zh.clicrbs.com.br/rs/noticias/noticia/2015/04/sul-e-sudeste-do-brasil-formam-segundo-maior-corredor-de-tornados-no-mundo-4744532.html>>. Acesso em: 27 abr. 2017.

VILLALBA, Antonio Castro. *Historia de la construcción arquitectónica*. 2. Ed. Barcelona: UPC, 1999.

APÊNDICE A – Dimensões coletadas das amostras utilizadas nos ensaios de absorção e compressão uniaxial

ABSORÇÃO E COMPRESSÃO UNIAXIAL										
AMOSTRAS	DIMENSÕES SUPERIORES				DIMENSÕES INFERIORES				ESPESSURA	
	(m)				(m)					
	A	B	A'	B'	C	D	C'	D'		(m)
SÃO GABRIEL	1	0,04285	0,04113	0,04293	0,04106	0,04320	0,04031	0,04343	0,04044	0,04261
	2	0,04287	0,04310	0,04291	0,04266	0,04240	0,04229	0,04212	0,04295	0,04255
	3	0,04256	0,04251	0,04260	0,04246	0,04302	0,04154	0,04272	0,04207	0,42740
	4	0,04153	0,04237	0,04112	0,04226	0,04160	0,04251	0,04141	0,04268	0,04267
	5	0,04299	0,04276	0,04277	0,04283	0,04319	0,04188	0,04328	0,04213	0,04280
	6	0,04328	0,04159	0,04332	0,04128	0,04270	0,04173	0,04281	0,04187	0,04264
	7	0,04258	0,04268	0,04268	0,04192	0,04292	0,04200	0,04260	0,04178	0,04282
	8	0,04335	0,04057	0,04263	0,04156	0,04282	0,03935	0,04295	0,04008	0,04260
	9	0,04228	0,04269	0,04221	0,04347	0,04261	0,04285	0,04269	0,04244	0,04284
	10	0,04104	0,04240	0,05160	0,04250	0,04189	0,04227	0,04223	0,04253	0,04267
	11	0,04238	0,04157	0,04271	0,04139	0,04247	0,04164	0,04242	0,04159	0,04264
	12	0,04093	0,04238	0,04093	0,04249	0,04238	0,04251	0,04168	0,04251	0,04293
ITAÚNA	1	0,04177	0,03976	0,04085	0,03963	0,04100	0,04076	0,04033	0,04085	0,04956
	2	0,04162	0,04119	0,04164	0,04099	0,04066	0,04066	0,04046	0,04080	0,04060
	3	0,04127	0,04112	0,04094	0,04096	0,04073	0,04141	0,04071	0,04135	0,04064
	4	0,04100	0,04077	0,04083	0,04058	0,03979	0,04066	0,03971	0,04053	0,04058
	5	0,04062	0,04015	0,04057	0,04000	0,04050	0,03952	0,04051	0,04023	0,04054
	6	0,04067	0,04116	0,04051	0,04132	0,04110	0,04098	0,04026	0,04154	0,04063
	7	0,03989	0,04043	0,04109	0,04029	0,04097	0,04162	0,04053	0,04148	0,04058
	8	0,04086	0,04112	0,04080	0,04084	0,03982	0,04104	0,03976	0,04080	0,04059
	9	0,04117	0,04079	0,04105	0,04103	0,04114	0,03948	0,04122	0,03961	0,04048
	10	0,03974	0,04010	0,04134	0,04010	0,03981	0,03953	0,04028	0,03874	0,04051
BASALTO	1	0,03302	0,03033	0,03311	0,03036	0,03377	0,02991	0,03397	0,02994	0,03260
	2	0,03440	0,03136	0,03413	0,03118	0,03404	0,03131	0,03389	0,03123	0,03243
	3	0,03360	0,03205	0,03357	0,03193	0,03338	0,03146	0,03323	0,03143	0,03267
	4	0,03514	0,03431	0,03508	0,03422	0,03427	0,03325	0,03471	0,03323	0,03239
	5	0,03363	0,03269	0,03352	0,03276	0,03332	0,03111	0,03331	0,03229	0,03252
	6	0,03317	0,03182	0,03331	0,03055	0,03313	0,03094	0,03320	0,03056	0,03251
	7	0,03400	0,03049	0,03390	0,03059	0,03380	0,03062	0,03360	0,03053	0,03247
	8	0,03398	0,03179	0,03416	0,03176	0,03292	0,03110	0,03298	0,03102	0,03238
	9	0,03354	0,03110	0,03342	0,03045	0,03352	0,03188	0,03333	0,03172	0,03250
	10	0,03381	0,03208	0,03373	0,03149	0,03342	0,03182	0,03332	0,03139	0,03288
	11	0,03411	0,03164	0,03409	0,03175	0,03453	0,03078	0,03443	0,03079	0,03288
	12	0,03378	0,03054	0,03371	0,03079	0,03345	0,03067	0,03326	0,03047	0,03265

Fonte: da autora (2017).

ABSORÇÃO																
AMOSTRAS	Msub (g)	Msat (g)	Msec 24H (g)	Msec 48H (g)	Diferença (%)	Msec (g)	Densidade ap (kg/m³)	Desvio padrão	Coefficiente de variação	Porosidade ap (%)	Desvio padrão	Coefficiente de variação	Absorção de água (%)	Desvio padrão	Coefficiente de variação	
SÃO GABRIEL	1	145,79	221,14	220,90	220,89	0,00	220,89	2932	5,64	0,19%	0,33	0,00	0,51%	0,11	0,00	0,32%
	2	152,81	230,49	230,22	230,21	0,00	230,21	2964	4,03	0,14%	0,36	0,01	2,05%	0,12	0,00	1,91%
	3	152,79	230,15	229,84	229,82	0,01	229,82	2971	6,20	0,21%	0,43	0,03	7,96%	0,14	0,01	7,70%
	4	147,36	222,50	222,24	222,22	0,01	222,22	2957	2,17	0,07%	0,37	0,01	3,14%	0,13	0,00	3,06%
	5	151,84	230,29	230,07	230,02	0,02	230,02	2932	5,47	0,19%	0,34	0,00	0,59%	0,12	0,00	0,79%
	6	149,66	226,04	225,78	225,78	0,00	225,78	2956	1,75	0,06%	0,34	0,00	0,26%	0,12	0,00	0,20%
	7	151,29	228,58	228,36	228,34	0,01	228,34	2954	1,24	0,04%	0,31	0,01	2,41%	0,11	0,00	2,44%
	8	144,73	218,90	218,67	218,67	0,00	218,67	2948	0,60	0,02%	0,31	0,01	2,45%	0,11	0,00	2,42%
	9	152,70	230,98	230,73	230,70	0,01	230,70	2947	0,93	0,03%	0,36	0,01	1,80%	0,12	0,00	1,84%
	10	147,75	223,40	223,10	223,09	0,00	223,09	2949	0,37	0,01%	0,41	0,02	6,46%	0,14	0,01	6,48%
	11	147,62	222,80	222,63	222,62	0,00	222,62	2961	3,31	0,11%	0,24	0,03	9,00%	0,08	0,01	9,07%
	12	147,38	223,59	223,42	223,40	0,01	223,40	2931	5,68	0,19%	0,25	0,03	7,88%	0,09	0,01	7,73%
MÉDIAS							2950			0,34			0,11			
ITAÚNA	1	106,97	174,37	173,55	173,54	0,01	173,54	2575	6,67	0,26%	1,23	0,01	0,71%	0,48	0,00	0,46%
	2	109,09	177,52	176,69	176,66	0,02	176,66	2582	4,51	0,17%	1,26	0,00	0,08%	0,49	0,00	0,10%
	3	110,09	178,65	177,88	177,87	0,01	177,87	2594	0,48	0,02%	1,14	0,04	3,07%	0,44	0,01	3,05%
	4	105,94	172,01	171,18	171,18	0,00	171,18	2591	1,58	0,06%	1,26	0,00	0,09%	0,48	0,00	0,03%
	5	105,01	170,08	169,27	169,27	0,00	169,27	2601	1,73	0,07%	1,24	0,00	0,38%	0,48	0,00	0,44%
	6	109,86	177,58	176,80	176,76	0,02	176,76	2610	4,52	0,17%	1,21	0,02	1,23%	0,46	0,01	1,40%
	7	109,65	177,70	176,85	176,82	0,02	176,82	2598	0,79	0,03%	1,29	0,01	0,83%	0,50	0,00	0,80%
	8	107,73	174,62	173,68	173,67	0,01	173,67	2596	0,15	0,01%	1,42	0,05	4,02%	0,55	0,02	4,02%
	9	108,98	176,44	175,58	175,57	0,01	175,57	2603	2,12	0,08%	1,29	0,01	0,75%	0,50	0,00	0,66%
	10	105,71	171,12	170,26	170,25	0,01	170,25	2603	2,19	0,08%	1,33	0,02	1,76%	0,51	0,01	1,67%
	11	109,99	178,17	177,37	177,36	0,01	177,36	2601	1,73	0,07%	1,19	0,02	1,80%	0,46	0,01	1,87%
MÉDIAS							2596			1,26			0,49			
BASALTO	1	50,86	83,32	82,31	82,20	0,13	82,20	2532	5,40	0,21%	3,45	0,16	4,00%	1,36	0,06	3,82%
	2	52,82	86,65	85,27	85,12	0,18	85,12	2516	10,30	0,40%	4,52	0,16	4,13%	1,80	0,07	4,58%
	3	53,40	87,15	85,95	85,81	0,16	85,81	2543	2,34	0,09%	3,97	0,00	0,06%	1,56	0,00	0,02%
	4	58,52	95,75	94,27	94,15	0,13	94,15	2529	6,45	0,25%	4,30	0,10	2,42%	1,70	0,04	2,69%
	5	54,57	88,80	87,69	87,59	0,11	87,59	2559	2,59	0,10%	3,53	0,13	3,36%	1,38	0,05	3,46%
	6	52,82	85,79	84,72	84,61	0,13	84,61	2566	4,82	0,19%	3,58	0,12	3,02%	1,39	0,05	3,20%
	7	52,40	85,26	83,97	83,83	0,17	83,83	2551	0,26	0,01%	4,35	0,11	2,83%	1,71	0,04	2,81%
	8	53,92	87,65	86,42	86,30	0,14	86,30	2559	2,50	0,10%	4,00	0,01	0,19%	1,56	0,00	0,08%
	9	53,84	87,36	86,17	86,06	0,13	86,06	2567	5,17	0,20%	3,88	0,03	0,76%	1,51	0,01	0,96%
	10	54,52	88,56	87,37	87,26	0,13	87,26	2563	3,98	0,16%	3,82	0,05	1,20%	1,49	0,02	1,36%
	11	54,29	88,36	86,94	86,80	0,16	86,80	2548	0,78	0,03%	4,58	0,18	4,55%	1,80	0,07	4,58%
	12	53,16	86,23	85,08	84,99	0,11	84,99	2570	5,95	0,23%	3,75	0,07	1,73%	1,46	0,03	1,96%
MÉDIAS							2550			3,98			1,56			

Ensaio realizado no Laboratório de Estruturas da Universidade de Santa Cruz do Sul, 10/11/2017 às 14h30min

ABSORÇÃO																
AMOSTRAS	Msub	Msat	Msec	Msec	Diferença	Msec	Densidade ap	Desvio	Coefficiente	Porosidade ap	Desvio	Coefficiente	Absorção de água	Desvio	Coefficiente	
	(g)	(g)	24H (g)	48H (g)	(%)	(g)	(kg/m³)	padrão	de variação	(%)	padrão	de variação	(%)	padrão	de variação	
SÃO GABRIEL	1	145,79	221,14	220,90	220,89	0,00	220,89	2932	6,493	0,22%	0,332	0,008	2,30%	0,113	0,003	2,09%
	2	152,81	230,49	230,22	230,21	0,00	230,21	2964	4,190	0,14%	0,360	0,001	0,38%	0,122	0,000	0,24%
	3	152,79	230,15	229,84	229,82	0,01	229,82	2971	6,595	0,22%	0,427	0,023	6,56%	0,144	0,008	6,30%
	4	147,36	222,50	222,24	222,22	0,01	222,22	2957	2,138	0,07%	0,373	0,005	1,52%	0,126	0,002	1,45%
	5	151,84	230,29	230,07	230,02	0,02	230,02	2932	6,314	0,21%	0,344	0,004	1,15%	0,117	0,001	0,93%
	6	149,66	226,04	225,78	225,78	0,00	225,78	2956	1,670	0,06%	0,340	0,005	1,50%	0,115	0,002	1,55%
	7	151,29	228,58	228,36	228,34	0,01	228,34	2954	1,109	0,04%	0,311	0,015	4,29%	0,105	0,005	4,32%
	8	144,73	218,90	218,67	218,67	0,00	218,67	2948	0,924	0,03%	0,310	0,015	4,33%	0,105	0,005	4,30%
	9	152,70	230,98	230,73	230,70	0,01	230,70	2947	1,296	0,04%	0,358	0,000	0,12%	0,121	0,000	0,17%
	10	147,75	223,40	223,10	223,09	0,00	223,09	2949	0,675	0,02%	0,410	0,018	4,99%	0,139	0,006	5,02%
MÉDIAS							2951			0,36			0,12			
ITAÚNA	1	106,97	174,37	173,55	173,54	0,01	173,54	2575	7,017	0,27%	1,231	0,004	0,33%	0,478	0,000	0,06%
	2	109,09	177,52	176,69	176,66	0,02	176,66	2582	4,738	0,18%	1,257	0,004	0,35%	0,487	0,003	0,53%
	3	110,09	178,65	177,88	177,87	0,01	177,87	2594	0,486	0,02%	1,138	0,035	2,85%	0,439	0,014	2,83%
	4	105,94	172,01	171,18	171,18	0,00	171,18	2591	1,647	0,06%	1,256	0,004	0,33%	0,485	0,002	0,40%
	5	105,01	170,08	169,27	169,27	0,00	169,27	2601	1,841	0,07%	1,245	0,000	0,03%	0,479	0,000	0,05%
	6	109,86	177,58	176,80	176,76	0,02	176,76	2610	4,777	0,18%	1,211	0,011	0,88%	0,464	0,005	1,06%
	7	109,65	177,70	176,85	176,82	0,02	176,82	2598	0,852	0,03%	1,293	0,016	1,32%	0,498	0,006	1,29%
	9	108,98	176,44	175,58	175,57	0,01	175,57	2603	2,250	0,09%	1,290	0,015	1,23%	0,496	0,005	1,14%
	10	105,71	171,12	170,26	170,25	0,01	170,25	2603	2,328	0,09%	1,330	0,029	2,31%	0,511	0,011	2,21%
	11	109,99	178,17	177,37	177,36	0,01	177,36	2601	1,840	0,07%	1,188	0,019	1,50%	0,457	0,007	1,56%
	MÉDIAS							2596			1,24			0,48		
BASALTO	1	50,86	83,32	82,31	82,20	0,13	82,20	2532	7,199	0,28%	3,450	0,138	3,56%	1,363	0,050	3,31%
	3	53,40	87,15	85,95	85,81	0,16	85,81	2543	3,808	0,15%	3,970	0,036	0,92%	1,562	0,016	1,07%
	4	58,52	95,75	94,27	94,15	0,13	94,15	2529	8,356	0,33%	4,298	0,145	3,75%	1,699	0,062	4,11%
	5	54,57	88,80	87,69	87,59	0,11	87,59	2559	1,641	0,06%	3,535	0,109	2,83%	1,381	0,044	2,90%
	6	52,82	85,79	84,72	84,61	0,13	84,61	2566	4,109	0,16%	3,579	0,095	2,45%	1,395	0,039	2,61%
	7	52,40	85,26	83,97	83,83	0,17	83,83	2551	0,939	0,04%	4,352	0,163	4,21%	1,706	0,064	4,25%
	8	53,92	87,65	86,42	86,30	0,14	86,30	2559	1,536	0,06%	4,002	0,046	1,20%	1,564	0,017	1,13%
	9	53,84	87,36	86,17	86,06	0,13	86,06	2567	4,493	0,18%	3,878	0,005	0,13%	1,511	0,001	0,05%
	10	54,52	88,56	87,37	87,26	0,13	87,26	2563	3,170	0,12%	3,819	0,015	0,38%	1,490	0,008	0,51%
	12	53,16	86,23	85,08	84,99	0,11	84,99	2570	5,353	0,21%	3,750	0,038	0,98%	1,459	0,018	1,19%
	MÉDIAS							2554			3,86			1,51		

Ensaio realizado no Laboratório de Estruturas da Universidade de Santa Cruz do Sul, 10/11/2017 às 14h30min

Fonte: da autora (2017).

COMPRESSÃO UNIAXIAL													
AMOSTRAS		MÉDIA A SUPERIOR	MÉDIA B SUPERIOR	ÁREA	FORÇA DE RUPTURA	TENSÃO DE RUPTURA	MÉDIA	DESVIO PADRÃO	COEF. DE VARIAÇÃO	TENSÃO DE RUPTURA	DESVIO PADRÃO	COEF. DE VARIAÇÃO	
		(mm)	(mm)	(mm ²)	(N)	(MPa)	(MPa)			(MPa)			
SÃO GABRIEL	SATURADO	1	42,89	41,10	1762,56	82220	46,65	86,00	13,15	14,57%	-	-	-
		2	42,89	42,88	1839,12	124700	67,80		6,77	7,50%	67,80	8,32	8,97%
		3	42,58	42,49	1809,01	178400	98,62		2,52	2,79%	98,62	1,95	2,11%
		4	41,33	42,32	1748,67	98600	56,39		10,22	11,32%	56,39	12,12	13,07%
		5	42,88	42,80	1835,05	227100	123,76		10,10	11,19%	123,76	10,33	11,14%
		6	43,30	41,44	1794,14	220300	122,79		9,81	10,86%	122,79	10,01	10,79%
	SECO	7	42,63	42,30	1803,25	165400	91,72	94,53	0,44	0,49%	91,72	0,35	0,37%
		8	42,99	41,07	1765,38	177800	100,71		3,15	3,49%	100,71	2,65	2,86%
		9	42,25	43,08	1819,91	141800	77,92		3,72	4,13%	77,92	4,95	5,33%
		10	46,32	42,45	1966,28	198700	101,05		3,25	3,60%	101,05	2,77	2,98%
		11	42,55	41,48	1764,77	192300	108,97		5,64	6,25%	-	-	-
		12	40,93	42,44	1736,86	150800	86,82		1,04	1,15%	86,82	1,98	2,13%
MÉDIA (MPa)						90,27			92,76				
ITAÚNA	SATURADO	1	41,31	39,70	1639,80	244400	149,04	95,55	12,00	10,61%	113,05		
		2	41,63	41,09	1710,58	65010	38,00		25,02	22,13%			
		3	41,11	41,04	1686,95	184600	109,43		1,21	1,07%			
		4	40,92	40,68	1664,22	181500	109,06		1,33	1,18%			
		5	40,60	40,08	1626,84	117500	72,23		13,61	12,04%			
	SECO	6	40,59	41,24	1673,93	219800	131,31	130,55	6,08	5,38%			
		7	40,49	40,36	1634,18	200100	122,45		3,13	2,77%			
		8	40,83	40,98	1673,21	235100	140,51		9,15	8,10%			
		9	41,11	40,91	1681,81	232500	138,24		8,40	7,43%			
		10	40,54	40,10	1625,65	195500	120,26		2,40	2,12%			
MÉDIA (MPa)						113,05							
BASALTO	SATURADO	1	33,07	40,10	1325,91	139900	105,51	123,28	2,69	2,35%	105,51	1,35	1,33%
		2	34,27	30,35	1039,77	129900	124,93		3,16	2,76%	124,93	7,82	7,71%
		3	33,59	31,27	1050,20	110300	105,03		2,84	2,48%	105,03	1,19	1,17%
		4	35,11	31,99	1123,17	174500	155,36		12,34	10,78%	-	-	-
		5	33,58	34,27	1150,45	157900	137,25		6,88	6,01%	137,25	11,93	11,76%
		6	33,24	32,73	1087,78	121400	111,60		0,86	0,75%	111,60	3,38	3,33%
	SECO	7	33,95	31,19	1058,73	105800	99,93	105,61	4,38	3,82%	99,93	0,51	0,50%
		8	34,07	30,54	1040,50	116700	112,16		0,69	0,60%	112,16	3,56	3,51%
		9	33,48	31,78	1063,83	51580	48,49		19,89	17,38%	48,49	17,66	17,41%
		10	33,77	30,78	1039,27	211300	203,32		26,80	23,41%	-	-	-
		11	34,10	31,79	1083,87	97120	89,60		7,49	6,54%	89,60	3,95	3,90%
		12	33,75	31,70	1069,55	85740	80,16		10,34	9,03%	80,16	7,10	7,00%
MÉDIA (MPa)						114,45			101,47				

APÊNDICE D – Resultados do ensaio de compressão uniaxial

FLEXÃO 3 PONTOS																	
AMOSTRA	COMPRIMENTO	LARGURA b				ESPESSURA d				DIST. ROLETES INFERIORES L	FORÇA DE RUPTURA P	MÓDULO DE RUPTURA	MÉDIA	DESVIO PADRÃO	COEF. DE VARIAÇÃO		
		(mm)				(mm)											
		(mm)	A	B	C	Média	A	B	C							Média	(mm)
SÃO GABRIEL	SATURADO	S3 - 1	200,67	74,38	74,54	74,49	74,47	20,04	20,02	20,00	20,02	180,00	2129,90	19,27	21,27	0,75	3,43%
		S3 - 2	200,65	74,39	74,38	74,46	74,41	20,24	20,24	20,26	20,25	180,00	2698,60	23,89		0,65	2,98%
		S3 - 3	199,68	74,22	74,35	74,38	74,32	20,35	20,23	20,21	20,26	180,00	2388,40	21,13		0,18	0,84%
		S3 - 4	1999,60	74,08	74,13	74,23	74,15	20,24	20,22	20,22	20,23	180,00	2202,30	19,60		0,64	2,96%
		S3 - 5	200,82	74,34	74,32	74,35	74,34	20,04	20,02	20,01	20,02	180,00	2450,40	22,20		0,14	0,64%
		S3 - 6	200,08	74,05	74,00	73,99	74,01	20,23	20,23	20,29	20,25	180,00	2419,40	21,52		0,07	0,30%
	SECO	S3 - 7	200,10	74,58	74,69	74,11	74,46	20,35	20,36	20,36	20,36	180,00	2522,80	22,08	22,21	0,10	0,47%
		S3 - 8	200,77	74,16	74,17	74,04	74,12	20,10	20,22	20,12	20,15	180,00	2295,30	20,60		0,34	1,58%
		S3 - 9	199,96	74,12	74,13	74,20	74,15	20,35	20,36	20,35	20,35	180,00	2657,20	23,36		0,49	2,24%
		S3 - 10	199,70	74,14	74,13	74,12	74,13	20,36	20,36	20,34	20,35	180,00	2512,40	22,09		0,11	0,49%
		S3 - 11	200,59	73,91	73,92	74,04	73,96	20,02	20,05	20,10	20,06	180,00	2367,70	21,49		0,08	0,35%
		S3 - 12	199,90	74,10	74,21	74,22	74,18	20,41	20,40	20,44	20,42	180,00	2708,90	23,65		0,58	2,66%
Ensaio realizado no Laboratório de Estruturas da UNISC, 06/11/2017 às 14h30min										Média (MPa)		21,74					
ITAÚNA	SATURADO	I3 - 1	200,09	75,05	75,05	75,04	75,05	21,90	21,84	21,70	21,81	180,00	1137,30	8,60	9,6	0,48	4,71%
		I3 - 2	200,10	75,01	75,02	75,05	75,03	21,72	21,81	21,81	21,78	180,00	1333,80	10,12		0,02	0,22%
		I3 - 3	200,16	74,29	74,26	74,19	74,25	21,07	21,13	21,32	21,17	180,00	1064,90	8,64		0,47	4,60%
		I3 - 4	200,36	74,36	74,33	74,24	74,31	21,65	21,43	21,44	21,51	180,00	1302,70	10,23		0,01	0,12%
		I3 - 5	200,21	75,03	74,65	74,59	74,76	21,66	21,47	21,39	21,51	180,00	1323,40	10,33		0,04	0,42%
		I3 - 6	199,21	75,24	75,16	75,20	75,20	22,07	21,29	21,79	21,72	180,00	1282,10	9,76		0,13	1,28%
	SECO	I3 - 7	200,27	75,00	74,93	74,84	74,92	21,59	21,44	21,25	21,43	180,00	1385,50	10,88	10,77	0,21	2,02%
		I3 - 8	199,71	75,10	75,24	75,23	75,19	20,82	21,17	21,33	21,11	180,00	1271,70	10,25		0,02	0,17%
		I3 - 9	220,35	74,56	74,46	74,44	74,49	21,46	21,64	21,69	21,60	180,00	1457,80	11,33		0,34	3,36%
		I3 - 10	199,86	75,34	75,53	75,26	75,38	22,06	21,98	21,86	21,97	180,00	1302,70	9,67		0,16	1,54%
		I3 - 11	200,29	74,95	74,97	74,97	74,96	21,69	21,93	21,93	21,85	180,00	1519,90	11,47		0,38	3,77%
		I3 - 12	200,07	75,22	75,26	75,22	75,23	21,36	21,52	21,75	21,54	180,00	1426,80	11,03		0,25	2,49%
Ensaio realizado no Laboratório de Estruturas da UNISC, 30/10/2017 às 17h00min										Média (MPa)		10,19					
BASALTO	SATURADO	B3 - 1	199,94	75,18	75,09	75,11	75,22	23,86	23,92	24,01	23,93	180,00	4435,60	27,80	28,44	1,20	3,77%
		B3 - 2	199,50	75,47	75,52	75,38	75,41	23,74	23,67	23,52	23,64	180,00	4652,70	29,80		0,60	1,88%
		B3 - 3	199,37	74,46	75,36	75,23	74,99	24,78	24,61	24,57	24,65	180,00	4125,40	24,44		2,21	6,96%
		B3 - 4	199,67	74,60	74,73	75,15	74,83	24,70	24,68	24,77	24,72	180,00	5107,60	30,17		0,49	1,53%
		B3 - 5	199,15	75,23	75,18	75,16	75,27	23,71	23,55	23,36	23,54	180,00	4373,50	28,31		1,05	3,29%
		B3 - 6	199,83	75,58	75,45	75,41	75,38	24,04	23,91	23,69	23,88	180,00	4797,40	30,13		0,50	1,56%
	SECO	B3 - 7	200,00	75,21	75,06	75,11	75,21	24,14	24,22	24,06	24,14	180,00	5469,50	33,69	35,11	0,58	1,82%
		B3 - 8	198,94	75,31	75,48	75,37	75,46	23,23	23,54	23,50	23,42	180,00	5117,90	33,38		0,48	1,52%
		B3 - 9	199,95	75,32	75,56	75,58	75,29	24,10	24,24	23,93	24,09	180,00	5965,80	36,86		1,53	4,83%
		B3 - 10	199,68	75,33	75,33	75,00	75,31	24,81	24,80	24,80	24,80	180,00	6286,30	36,64		1,46	4,61%
		B3 - 11	200,09	75,17	75,23	75,26	75,25	24,21	24,34	24,31	24,29	180,00	5583,20	33,96		0,66	2,07%
		B3 - 12	200,20	75,36	75,42	75,35	75,38	24,77	24,90	24,71	24,79	180,00	6203,60	36,15		1,32	4,15%
Ensaio realizado no Laboratório de Estruturas da UNISC, 30/10/2017 às 17h00min										Média (MPa)		31,78					

Fonte: da autora (2017).

APÊNDICE E – Resultados do ensaio de flexão por 3 pontos

APÊNDICE F – Resultados do ensaio de flexão por 4 pontos

FLEXÃO 4 PONTOS																			
AMOSTRA	COMPRIMENTO	LARGURA b					ESPESSURA d					DIST. ROLETES INFERIORES L	FORÇA DE RUPTURA P	MÓDULO DE RUPTURA	MÉDIA	DESVIO PADRÃO	COEF. DE VARIAÇÃO		
		(mm)					(mm)												
		A	B	C	D	Média	A	B	C	D	Média								
SÃO GABRIEL	SATURADO	S4 - 1	399,09	100,30	100,37	100,26	100,14	100,27	42,90	42,84	42,61	42,79	42,79	320,00	12469,20	16,30	16,06	0,36	2,33%
		S4 - 2	400,01	100,32	100,34	100,36	100,33	100,34	42,51	42,55	42,66	42,71	42,61	320,00	12159,00	16,02		0,26	1,71%
		S4 - 3	400,01	100,38	100,13	99,95	100,07	100,13	42,65	42,62	42,48	42,52	42,57	320,00	11569,70	15,30		0,02	0,14%
		S4 - 4	400,00	100,41	100,33	100,31	100,29	100,34	42,76	42,59	42,46	42,55	42,59	320,00	12438,20	16,40		0,39	2,54%
		S4 - 5	400,02	100,37	100,38	100,23	100,19	100,29	42,67	42,58	42,69	42,78	42,68	320,00	12386,50	16,27		0,34	2,26%
	SECO	S4 - 6	400,05	100,15	100,22	100,37	100,35	100,27	42,60	42,62	42,74	42,72	42,67	320,00	11156,10	14,67	14,42	0,19	1,26%
		S4 - 7	400,06	100,20	100,16	100,10	100,29	100,19	42,96	42,86	42,72	42,73	42,82	320,00	10432,30	13,63		0,54	3,52%
		S4 - 8	400,02	100,22	100,24	100,21	100,22	100,22	42,70	42,65	42,78	42,86	42,75	320,00	11145,70	14,61		0,21	1,39%
		S4 - 9	400,03	99,79	99,63	99,65	99,56	99,66	42,79	42,80	42,82	42,80	42,80	320,00	12107,30	15,92		0,23	1,48%
		S4 - 10	400,04	99,89	99,93	99,95	100,05	99,96	42,70	42,66	42,60	42,60	42,64	320,00	10049,80	13,27		0,66	4,30%
Ensaio realizado no Laboratório de Estruturas da Universidade de Santa Cruz do Sul, 30/10/2017 às 17h00min												Média (MPa)		15,24					
ITAÚNA	SATURADO	I4 - 1	400,40	99,64	99,70	99,94	100,08	99,84	41,94	41,95	42,01	42,02	41,98	320,00	7640,70	10,42	9,75	0,09	0,89%
		I4 - 2	400,60	99,96	99,93	100,09	100,06	100,01	41,18	41,03	40,69	40,59	40,87	320,00	7950,90	11,42		0,42	4,17%
		I4 - 3	400,50	100,17	100,17	100,26	100,12	100,18	41,23	41,11	40,65	40,58	40,89	320,00	7278,90	10,43		0,09	0,91%
		I4 - 4	400,80	100,16	100,12	100,41	100,27	100,24	40,70	40,71	41,08	41,21	40,93	320,00	7123,80	10,18		0,01	0,10%
		I4 - 5	400,40	100,59	100,73	100,84	101,04	100,80	40,80	40,69	40,56	40,58	40,66	320,00	4363,20	6,28		1,29	12,70%
	SECO	I4 - 6	400,60	99,84	99,78	99,87	99,92	99,85	40,55	40,65	40,65	40,63	40,62	320,00	6089,80	8,87	10,56	0,43	4,21%
		I4 - 7	400,60	99,95	99,69	99,08	98,76	99,37	40,74	40,72	41,03	41,25	40,94	320,00	8385,20	12,09		0,64	6,35%
		I4 - 8	400,40	99,97	100,00	100,03	100,11	100,03	41,27	41,04	40,66	40,64	40,90	320,00	8023,30	11,51		0,45	4,45%
		I4 - 9	400,40	100,10	100,07	100,09	99,78	100,01	40,69	40,70	40,48	40,51	40,60	320,00	5986,40	8,72		0,48	4,71%
		I4 - 10	400,20	100,19	100,03	100,03	99,99	100,06	41,21	40,96	40,65	40,54	40,84	320,00	8064,60	11,60		0,48	4,75%
Ensaio realizado no Laboratório de Estruturas da Universidade de Santa Cruz do Sul, 30/10/2017 às 17h00min												Média (MPa)		10,15					
BASALTO	SATURADO	B4 - 1	400,02	100,82	100,89	100,84	100,83	100,85	28,96	28,89	28,73	29,16	28,94	300,00	7340,90	19,56	21,22	-	-
		B4 - 2	400,06	100,22	100,29	100,81	100,25	100,39	28,81	28,84	28,91	28,75	28,83	300,00	7289,20	19,66		0,67	3,10%
		B4 - 3	400,02	100,65	100,61	100,90	100,97	100,78	28,82	28,92	28,89	28,72	28,84	300,00	8157,70	21,90		0,08	0,35%
		B4 - 4	400,03	100,88	100,95	100,78	100,75	100,84	28,84	28,92	28,97	28,86	28,90	300,00	7537,30	20,14		0,51	2,36%
		B4 - 5	400,05	100,91	100,82	100,86	101,01	100,90	28,89	28,83	28,55	28,76	28,76	300,00	8157,70	22,00		0,11	0,50%
		B4 - 6	400,03	100,98	100,91	100,88	100,82	100,90	29,08	28,77	28,88	28,98	28,93	300,00	8416,20	22,43		0,25	1,16%
	SECO	B4 - 7	400,07	101,05	100,81	101,17	101,28	101,08	28,74	28,79	28,86	28,71	28,78	300,00	8695,30	23,38	22,12	0,57	2,62%
		B4 - 8	400,04	100,78	100,75	100,82	100,91	100,82	28,95	28,83	28,62	28,87	28,82	300,00	8168,00	21,95		0,09	0,43%
		B4 - 9	400,05	100,32	100,23	100,33	100,31	100,30	28,82	28,65	28,86	28,95	28,86	300,00	8488,60	22,87		0,40	1,84%
		B4 - 10	400,02	100,73	100,83	100,77	100,88	100,80	28,94	29,04	29,02	28,90	28,98	300,00	7496,00	19,93		0,58	2,68%
		B4 - 11	400,01	100,92	100,65	100,63	100,66	100,72	29,03	28,62	28,81	28,90	28,84	300,00	8364,50	22,47		0,27	1,22%
		B4 - 12	400,08	101,01	101,06	101,05	100,86	101,00	28,75	28,77	28,86	28,70	28,77	300,00	-	-		-	-
Ensaio realizado no Laboratório de Estruturas da Universidade de Santa Cruz do Sul, 30/10/2017 às 17h00min												Média (MPa)		21,67					

Fonte: da autora (2017).

CORPO DURO																
AMOSTRAS		ORDEM DE ENSAIO	DIMENSÕES (mm)		ESPESSURA (mm)	ALTURA DE QUEDA (cm)				ALTURA FISSURAÇÃO (m)	ALTURA RUPTURA (m)	MASSA ESFERA Kg	ACEL. DA GRAVIDADE m/s ²	ENERGIA DE RUPTURA J	DESVIO PADRÃO	COEF. DE VARIAÇÃO
			A	B		25	30	35	40							
SÃO GABRIEL	S20 - 6	2	199,60	200,13	20,54			R		-	0,35	1,000	9,806	3,43	0,04	1,04%
	S20 - 5	13	199,45	200,10	20,50				R	-	0,40	1,000	9,806	3,92	0,18	5,20%
	S20 - 4	12	199,76	199,80	20,72			R		-	0,35	1,000	9,806	3,43	0,04	1,04%
	S20 - 3	6	199,70	199,83	21,08		F		R	0,30	0,40	1,000	9,806	3,92	0,18	5,20%
	S20 - 2	5	200,06	199,70	20,64		F	R		0,30	0,35	1,000	9,806	3,43	0,04	1,04%
	S20 - 1	4	200,02	199,62	20,68	F	R			0,25	0,30	1,000	9,806	2,94	0,26	7,28%
Ensaio realizado no Laboratório de Estruturas da UNISC, 26/10/2017 às 15h30min										Média (m)	0,36	Média (J)		3,51		
ITAÚNA	I20 - 6	1	200,06	199,60	19,44		R			-	0,30	1,000	9,806	2,94	0,29	8,13%
	I20 - 5	14	200,14	199,86	19,61				R	-	0,40	1,000	9,806	3,92	0,15	4,07%
	I20 - 4	15	199,82	200,13	19,77			R		-	0,35	1,000	9,806	3,43	0,07	2,03%
	I20 - 3	16	199,58	200,35	19,94			F	R	0,35	0,40	1,000	9,806	3,92	0,15	4,07%
	I20 - 2	17	200,32	199,82	19,59				R	-	0,35	1,000	9,806	3,43	0,07	2,03%
	I20 - 1	18	200,03	199,27	19,58			F	R	0,35	0,40	1,000	9,806	3,92	0,15	4,07%
Ensaio realizado no Laboratório de Estruturas da UNISC, 26/10/2017 às 15h30min										Média (m)	0,37	Média (J)		3,60		
BASALTO	B20 - 6	3	200,08	197,45	20,41		R			-	0,30	1,000	9,806	2,94	0,04	1,21%
	B20 - 5	7	200,23	195,80	21,59		R			-	0,30	1,000	9,806	2,94	0,04	1,21%
	B20 - 4	8	200,16	198,80	20,88		R			-	0,30	1,000	9,806	2,94	0,04	1,21%
	B20 - 3	9	200,12	199,91	21,57			R		-	0,35	1,000	9,806	3,43	0,18	6,04%
	B20 - 2	10	200,00	199,97	20,89		R			-	0,30	1,000	9,806	2,94	0,04	1,21%
	B20 - 1	11	200,15	199,80	20,08		R			-	0,30	1,000	9,806	2,94	0,04	1,21%
Ensaio realizado no Laboratório de Estruturas da UNISC, 26/10/2017 às 15h30min										Média (m)	0,31	Média (J)		3,02		

Fonte: da autora (2017).

ANEXO A – Proposta geral de qualificação tecnológica de rochas

Sentido Crescente da Qualidade	Parâmetros Tecnológicos de Referência									
	Absorção d'Água (%)	Porosidade Aparente (%)	Coefficiente de Dilatação Térmica ($\text{mm} \times 10^{-3}$)	Resistência ao Desgaste Amsler (mm)	Resistência ao Impacto (m)	Resistência à Compressão (kg/cm^2)*	Resistência à Flexão (kg/cm^2)*			
							3 Pontos	4 Pontos		
	Muito Alta > 3,0	Muito Alta > 6,0	Muito Alto > 12	Muito Baixa > 6,0	Muito Baixa < 0,30	Muito Baixa < 400	Muito Baixa < 60	Muito Baixa < 45		
	Alta 1,0 – 3,0	Alta 3,0 – 6,0	Alto 10 – 12	Baixa 3,0 – 6,0	Baixa 0,30 – 0,50	Baixa 400 – 700	Baixa 60-100	Baixa 45-75		
	Média 0,4 – 1,0	Média 1,0 – 3,0	Médio 8 – 10	Média 1,5 – 3,0	Média 0,50 – 0,70	Média 700 – 1300	Média 100-160	Média 75-115		
	Baixa 0,1 – 0,4	Baixa 0,5 – 1,0	Baixo 6 – 8	Alta 0,7 – 1,5	Alta 0,70 – 0,95	Alta 1300 – 1800	Alta 160-200	Alta 115-150		
	Muito Baixa < 0,1	Muito Baixa < 0,5	Muito Baixo < 6	Muito Alta < 0,7	Muito Alta > 0,95	Muito Alta > 1800	Muito Alta > 200	Muito Alta > 150		

(*) 10 kg/cm² ≈ 1 MPa. Fonte: adaptado e modificado do Manual da Pedra Natural para Arquitectura (HENRIQUES & TELLO, coord., 2006)