

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

**Felipe dos Santos Maestri**

**FACHADAS VENTILADAS: Verificação de elementos de revestimento  
em concreto têxtil**

Porto Alegre  
outubro de 2022

**FELIPE DOS SANTOS MAESTRI**

**FACHADAS VENTILADAS: Verificação de elementos de revestimento  
em concreto têxtil**

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

**Orientadora: Profa. Dra. Eng. Vanessa Fátima Pasa Dutra**

Porto Alegre  
outubro de 2022

#### CIP - Catalogação na Publicação

Maestri, Felipe dos Santos  
Fachadas Ventiladas: Verificação de elementos de  
revestimento em concreto têxtil / Felipe dos Santos  
Maestri. -- 2022.  
81 f.  
Orientadora: Vanessa Fátima Pasa Dutra.

Trabalho de conclusão de curso (Graduação) --  
Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Escola de  
Engenharia, Curso de Engenharia Civil, Porto Alegre,  
BR-RS, 2022.

1. Concreto têxtil. 2. Fachada ventilada. 3.  
Verificação e dimensionamento. I. Dutra, Vanessa  
Fátima Pasa, orient. II. Título.

**FELIPE DOS SANTOS MAESTRI**

**FACHADAS VENTILADAS: Verificação de elementos de revestimento em  
concreto têxtil**

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

Porto Alegre, outubro de 2022

**BANCA EXAMINADORA**

**Profa. Vanessa Fátima Pasa Dutra (UFRGS)**

Dra. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil  
Orientadora

**Profa. Cristiane Sardin Padilla De Oliveira (UFRGS)**

Dra. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil

**Profa. Paula Manica Lazzari (UFRGS)**

Dra. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil

Dedico esse trabalho aos meus pais, a minha irmã e, em especial, a minha namorada.

## AGRADECIMENTO

Agradeço à Profa. Dra. Eng. Vanessa Fátima Pasa Dutra pela orientação, disponibilidade e ensinamentos ao longo deste trabalho. Com certeza a sua ajuda foi fundamental para a conclusão deste ciclo.

Agradeço aos professores da UFRGS que ministraram e transmitiram seus conhecimentos com maestria. Obrigado pela dedicação de cada um, foi um privilégio poder participar das aulas de graduação.

Agradeço aos meus pais e a minha irmã, que fazem parte da minha pequena família. Obrigado por estarem junto comigo.

Agradeço a minha namorada, Gabriela Luiza Hochscheidt, por todo apoio incondicional ao longo do período de graduação. Seu companheirismo e incentivo foram fundamentais para eu seguir em frente e não desistir.

Não poderia deixar de agradecer também à empresa Sulgás, onde tive a difícil missão de conciliar as atividades laborais com a graduação. Obrigado aos gerentes que, de uma maneira ou outra, me permitiram participar de algumas disciplinas do curso de graduação. Obrigado aos colegas da empresa, também, pela compreensão e pelo apoio.

## RESUMO

A crescente demanda por materiais cimentícios na construção civil tem gerado um grande impacto ambiental, seja pelo consumo de recursos naturais e alta emissão de poluentes, como também pela geração de resíduos na produção. Um desses materiais, o concreto armado, é amplamente utilizado nos dias atuais, tanto em elementos estruturais quanto em outros componentes das edificações. Diante da necessidade da utilização das propriedades desse material, somado a preocupação em diminuir o dano ambiental, surge em pesquisas e estudos, o concreto têxtil. Como é um compósito que utiliza menos quantidade de materiais em sua composição e mantém algumas das propriedades do concreto armado, torna-se um possível substituto ao concreto convencional. O concreto têxtil alia a elevada capacidade à compressão do concreto composto por agregado de fina granulometria com a elevada resistência à tração do reforço têxtil, tornando-se assim uma alternativa para elementos estruturais. Para a composição do têxtil, fibras de diferentes formas e materiais não-metálicos são constantemente consideradas para garantir boa compatibilidade junto ao concreto. De maneira geral, as fibras de carbono e de vidro álcali-resistente (AR) são as que alcançaram melhores resultados e desempenho nesse compósito, considerando também o custo. O concreto têxtil, cujos primeiros estudos aconteceram na década de 1990, na Alemanha, traz algumas vantagens frente ao concreto armado convencional como: redução de material aglomerante e de agregados; resistência à corrosão da sua malha; facilidade de manuseio e de instalação; otimização na logística de elementos pré-moldados, entre outras. O material já obteve êxito em aplicações de pontes e passarelas, paredes-cortinas do tipo sanduíche, coberturas tipo casca, silos, elementos de fachada ventilada e até mesmo em móveis. Com objetivo de expandir a sua utilização e aprofundar o conhecimento na aplicação desse compósito, este trabalho traz um estudo de verificação para um elemento de fachada ventilada a partir de um problema proposto. Para tanto foram utilizados como referência diversos artigos na língua estrangeira, dissertações e trabalhos de conclusão de graduação. Os resultados obtidos são comparados aos resultados de ensaios de protótipos estudados na tese de doutorado de Christian Kulas, um dos grandes pesquisadores deste material e com vasta contribuição literária, inclusive no que se refere a modelo de dimensionamento de estruturas compostas por este material inovador.

**Palavras-chave:** *Concreto Têxtil; Fachadas Ventiladas; Verificação; Dimensionamento.*

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Tipos de reforço têxtil: (a) tecido; (b) tela e (c) malha .....	20
Figura 2 – Tipos de reforço para concreto: (a) concreto armado; (b) concreto com fibras dispersas e (c) concreto têxtil .....	21
Figura 3 – Processo de impregnação de malha têxtil .....	24
Figura 4 – Fios impregnados: (a) SBR e (b) Epóxi .....	24
Figura 5 – Diagrama tensão-deformação do concreto têxtil.....	26
Figura 6 – Protótipo de ensaio à flexão de uma placa têxtil em ensaio à flexão.....	28
Figura 7 – Gráfico esforço cortante de ensaio e esforço cortante calculado .....	28
Figura 8 – Gráfico de placa e vigas em função do momento de ensaio e momento resistente calculado.....	29
Figura 9 – Relação entre $Vu, exp$ e $Vu, cal$ em função do grau de reforço .....	30
Figura 10 – Relação entre $Mu, exp$ e $Mu, cal$ em função do grau de reforço .....	31
Figura 11 – Gráfico de tensão-deformação do filamento têxtil.....	32
Figura 12 – Gráfico resumo de ensaio de uma placa têxtil por Kulas (2013).....	32
Figura 13 – Cobertura do tipo casca para bicicletas, Aachen, Alemanha .....	33
Figura 14 – Reforço de estruturas.....	34
Figura 15 - Ponte para pedestres, Oschatz, Alemanha. ....	34
Figura 16 - Ponte para pedestres, ciclistas e <i>small snow-cleaner</i> , Kempten, Alemanha.....	35
Figura 17 – Passarela em concreto têxtil, Albstadt, Alemanha. ....	35
Figura 18 - Ponte pedestres e ciclistas, Weinstadt, Alemanha .....	36
Figura 19 - Pavilhão em concreto têxtil (malha de fibra de carbono), Chemnitz, Alemanha ..	36
Figura 20 - Primeira etapa batizada como "the box" .....	37
Figura 21 - Segunda etapa da parede-telhado simultâneo, batizada como "twist" .....	37
Figura 22 - Representação gráfica da edificação "the cube" .....	38
Figura 23 – Representação de fachada ventilada.....	39
Figura 24 - Sistemas de fixação: (a) visível e (b) oculto .....	41
Figura 25 – Envoltória de pressão: (a) sobrepressão e (b) sucção.....	44
Figura 26 - Gráfico Isoplelas .....	45
Figura 27 – Módulo, direção e sentido dos vetores de coeficientes de pressão .....	47
Figura 28 – Tabela coeficientes de pressão e forma externo.....	48
Figura 29 – Carga devido ao peso próprio em elemento de revestimento .....	50

Figura 30 – Instituto de Concreto Estrutural, Aachen, Alemanha.....	51
Figura 31 – Laboratório de pesquisas de concreto estrutural, Aachen, Alemanha. ....	52
Figura 32 – Representação do componente têxtil para fachada ventilada utilizando barras de GFRP .....	52
Figura 33 – Modelo idealizado de fachada ventilada em concreto têxtil .....	59
Figura 34 – Vista isométrica da placa com dimensões (cm) .....	59
Figura 35 – Vista lateral do elemento de revestimento com dimensões (cm).....	60
Figura 36 – Malha de fibra de vidro álcali-resistente (AR) impregnada com epóxi.....	62
Figura 37 – Localização Edifício Santa Cruz, Porto Alegre, Brasil.....	64
Figura 38 – Vista frontal e lateral edifício Santa Cruz, Porto Alegre, Brasil.....	64
Figura 39 – Cenário proposto para a fachada “C” .....	65
Figura 40 – Modelo estrutural do elemento em concreto têxtil com carregamento .....	68
Figura 41 – Diagrama de momento fletor na placa (em kN.m).....	69
Figura 42 – Diagrama de esforço cortante (em kN) .....	70
Figura 43 – Carga distribuída devido ao peso próprio do modelo em têxtil .....	71
Figura 44 – Diagrama de esforço cortante devido à carga distribuída (em kN).....	71
Figura 45 - Vento de sucção agindo no sentido de arrancamento .....	72
Figura 46 - Força de arrancamento (a) e força resistente mínima ao arrancamento (b).....	73

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Propriedades e dimensões do elemento de concreto têxtil de Kulas (2013).....	31
Tabela 2 – Materiais utilizados na confecção do concreto têxtil.....	61
Tabela 3 – Propriedades do concreto fresco .....	61
Tabela 4 – Propriedades malha têxtil fibra de vidro – AR impregnada .....	62
Tabela 5 – Valores de ensaio, coeficiente de eficiência e modo de falha .....	63
Tabela 6 – Resumo dos parâmetros para a carga distribuída em função da ação do vento.....	66
Tabela 7 – Coeficientes, propriedades e parâmetros para o cálculo de $F_{ctu}$ .....	69
Tabela 8 – Comparação resultados dos modelos.....	74

## LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

AR – Álcali Resistente

DIBt – Instituto alemão de Tecnologia da Construção

DIN – *Deutsche Industrie Norm* (Instituto alemão de normas técnicas)

GFRP - *Glass Fibre Reinforced Plastics* (Plásticos Reforçados com Fibras de Vidro)

NBR – Norma Brasileira

SBR – Butadieno-Estireno

UFRGS – Universidade Federal do Rio Grande do Sul

UFRJ – Universidade Federal do Rio de Janeiro

UNISINOS – Universidade do Vale do Rio dos Sinos

## LISTA DE SÍMBOLOS

### LETRAS ROMANAS MAIÚSCULAS

$A_t$  – Área da seção transversal do reforço têxtil

$A_{t,st}$  – Área da seção transversal do reforço têxtil distribuída

$A_c$  - Área de concreto na seção transversal

$C_e$  – Coeficiente de forma externo

$C_i$  – Coeficiente de forma interno

$E_{fil}$  - Módulo de elasticidade do filamento

$E_t$  – Módulo de elasticidade têxtil

$E_c$  – Módulo de elasticidade do concreto

$F_{ctu}$  – Resistência à tração do reforço têxtil

$M_{máx}$  - Momento resistente máximo seção transversal;

$M_k$  – Momento solicitante característico

$M_u$  – Momento resistente de cálculo

$M_{u,cal}$  – Momento resistente calculado

$M_{u,exp}$  – Momento resistente de ensaio

$P$  – Peso próprio do elemento da fachada em concreto têxtil

$S_1$  – Fator topográfico

$S_2$  – Fator que considera efeito combinado da rugosidade do terreno, variação da velocidade do vento em função da altura acima do terreno e das dimensões da edificação

$S_3$  – Fator estatístico, baseado em estatística e considera o grau de segurança requerido e a vida útil da edificação.

$V_k$  – Velocidade característica do vento

$V_0$  – Velocidade básica do vento

$V_{Rm,c}$  – Componente referente à contribuição do concreto ao esforço cortante

$V_{Rm,f}$  – Componente referente à contribuição da malha têxtil destinada à absorção do esforço cortante

$V_{Rm}$  – Capacidade total resistente para a força cortante (cisalhamento)

$V_{u,cal}$  – Esforço cortante resistente calculado

$V_{u,exp}$  – Esforço cortante resistente de ensaio

$Z$  – Altura edificação

$W_d$  – Carga distribuída a partir da pressão dinâmica do vento

$W_p$  – Carga distribuída devido ao peso próprio do elemento da fachada em concreto têxtil

## LETRAS ROMANAS MINÚSCULAS

$a$  – Lado de maior dimensão horizontal de uma edificação

$b$  – Lado de menor dimensão horizontal de uma edificação

$b_{s,eff}$  - Largura da placa ou largura efetiva da alma (perfil I)

$b_w$  – Largura da alma para vigas seção I ou da base para lajes

$c_{pe}$  – Coeficiente de pressão externa

$c_{pi}$  – Coeficiente de pressão interna

$d$  – Altura útil

$dt$  – Diâmetro dos fios

$e$  – Espessura do elemento da fachada em concreto têxtil

$f_t$  – Resistência à tração do filamento.

$f_{cm}$  – Resistência média à compressão do concreto

$f_{fil}$  – Resistência à tração do filamento.

$h$  - Altura de uma edificação acima do terreno, medido até a o topo da platibanda ou nível do beiral

$h$  - Altura do elemento da fachada em concreto têxtil

$h_{f,i}$  – Altura da mesa.

$k$  – Fator de escala com “ $d$ ” em milímetros

$k_{fl,p}$  – Fator de carregamento à flexão simples

$k_1$  – Coeficiente de eficiência

$k_2$  – Coeficiente para carregamento biaxial

$k_{0,\alpha}$  – Coeficiente de orientação do reforço

$l$  – Largura do elemento da fachada em concreto têxtil

$m$  – Valor médio

$n$  – Número de diâmetros de reforço têxtil

$q$  – Pressão dinâmica

$v$  – Coeficiente de variação

$z$  – Braço de alavanca interno

## LETRAS GREGAS

$\alpha$  – Ângulo entre a direção da força de tração e o alinhamento dos fios

$\Delta p$  – Pressão efetiva

$\Delta p_e$  – Pressão efetiva externa

$\Delta p_i$  – Pressão efetiva interna

$\gamma_{tex}$  – Peso específico concreto têxtil

$\gamma$  – Peso específico do elemento de fachada

$\varepsilon_{max}$  – Deformação máxima malha têxtil

$\sigma_{max}$  – Tensão média máxima dos filamentos no compósito

$\rho_l$  – Taxa de reforço longitudinal

$\eta_1$  - Fator de correção para concreto leve

$\omega_t$  – Grau de reforço

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>15</b>
1.1	CONTEXTO NACIONAL.....	17
1.2	OBJETIVO .....	18
1.2.1	Objetivo principal.....	18
1.2.2	Objetivo secundário.....	18
1.3	DELIMITAÇÃO .....	18
1.4	LIMITAÇÕES .....	19
<b>2</b>	<b>CONCRETO TÊXTIL .....</b>	<b>20</b>
2.1	DEFINIÇÃO .....	20
2.2	MALHA TÊXTIL.....	22
2.2.1	Formação das Malhas e Processo de Melhoria.....	23
2.3	MATRIZ.....	25
2.4	COMPORTAMENTO MECÂNICO .....	26
2.4.1	Ensaios mecânicos realizados por Kulas .....	27
2.5	CARACTERÍSTICAS E APLICAÇÕES DO CONCRETO TÊXTIL .....	33
<b>3</b>	<b>FACHADAS VENTILADAS .....</b>	<b>39</b>
3.1	SISTEMAS DE FIXAÇÃO.....	40
<b>4</b>	<b>VERIFICAÇÃO DE FACHADAS .....</b>	<b>43</b>
4.1	SOLICITAÇÕES E CARREGAMENTOS.....	43
4.1.1	Solicitação devido à ação do vento .....	43
4.1.2	Solicitação devido ao peso próprio.....	49
4.2	VERIFICAÇÃO DE FACHADAS EM CONCRETO TÊXTIL.....	51
4.2.1	Verificação para Flexão Simples .....	53
4.2.2	Verificação para Força Cortante .....	55
<b>5</b>	<b>MODELAGEM DO PROBLEMA.....</b>	<b>58</b>
5.1	DEFINIÇÃO DO ELEMENTO DE REVESTIMENTO .....	58
5.2	PROPRIEDADES DA MATRIZ E DO REFORÇO TÊXTIL .....	60
5.3	CARACTERÍSTICAS DA EDIFICAÇÃO.....	63
5.4	CARREGAMENTO DEVIDO À AÇÃO DO VENTO.....	65
5.5	CARREGAMENTO DEVIDO AO PESO PRÓPRIO .....	67

<b>6</b>	<b>RESULTADOS .....</b>	<b>68</b>
6.1	VERIFICAÇÃO DO ELEMENTO DE FACHADA CONSIDERANDO AÇÃO DO VENTO.....	68
6.1.1	Verificação à Flexão Simples.....	68
6.1.2	Verificação ao Cisalhamento (Força Cortante).....	70
6.2	REAÇÕES VINCULARES PARA VERIFICAÇÃO DO SISTEMA DE SUPORTE .....	71
6.3	CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	74
<b>7</b>	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>75</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>76</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O uso de materiais cimentícios é considerado um dos grandes propulsores nas obras de engenharia civil, pois possibilitou a construção de edificações de grande porte e de infraestruturas robustas. Nesse contexto, estudos com intuito de melhoria e de economia dos materiais foram realizados, ao passo que avanços tecnológicos foram atingidos para o desenvolvimento de diferentes tipos de concretos e argamassas especiais.

Materiais leves já são amplamente utilizados em substituição a materiais convencionais presentes na indústria automobilística, onde necessita-se de leveza e de resistência. Algumas décadas para cá, o emprego de materiais leves também atinge a construção civil através do concreto têxtil, por exemplo.

Levando em consideração as novas tecnologias e pesquisas na área de concreto, esse trabalho de conclusão de curso trata sobre uma das vertentes que tem crescido nos últimos anos: o concreto têxtil. Definição:

O concreto têxtil consiste basicamente de reforços têxteis que são embebidos em camadas finas de concreto. Os reforços têxteis são produzidos do processamento de fibras de alto desempenho (isto é, fibras com alta resistência, ductilidade e durabilidade) em estruturas planas ou espaciais que utilizam tecnologia têxtil de ponta. (JESSE et al., 2008, p. 50 apud DENARDI, 2016, p.41)

O concreto têxtil apresenta-se como alternativa tecnológica e possível substituto ao concreto armado, permitindo a construção de estruturas mais esbeltas e com grande redução na massa de concreto utilizada em estruturas de concreto armado. As fibras mais utilizadas para a composição do têxtil são as de carbono, vidro álcali-resistente (AR), basalto e aramida.

Nessa seara, atualmente desenvolve-se diversos tipos de fibras para utilização, as quais em comparação às armaduras de aço são ligeiramente mais leves e com resistência à tração maior. Segundo Denardi (2016, p. 76):

Até 2030, 20% do concreto armado poderá ser substituído por concreto têxtil em novas construções. Os elementos de construção em concreto têxtil são leves e podem contribuir de maneira relevante a construções duráveis. Eles reduzem a consumação de energia e as emissões de carbono e poupam fontes naturais

Isso posto, o concreto têxtil tem sido estudado para aplicação em fachadas ventiladas, cuja fixação se dá por perfis metálicos que são ligados diretamente no substrato da alvenaria. Através de sua pequena espessura, bem como fibras leves, é possível ter economia no consumo dos matérias, bem como quanto ao frete; resistência dos suportes e material cimentício.

## 1.1 CONTEXTO NACIONAL

A aplicação do concreto têxtil no cenário nacional não é uma realidade, existe pouco conhecimento das suas propriedades e de seu desempenho pela indústria da construção civil. Como consequência, não há produção de materiais para utilização desse compósito em elementos estruturais e peças para reforços. Ainda, deve-se levar em consideração o fato de ser um compósito relativamente novo, o que se depreende a necessidade de difundir o assunto no âmbito acadêmico e no mercado civil brasileiro.

Em termos de pesquisas e trabalhos acadêmicos, esse tema já é tratado com bastante maturidade. Na Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), por exemplo, existem trabalhos e estudos realizados por Denardi (2016) e por Morassutti (2016), que tratam da revisão bibliográfica do concreto têxtil e do dimensionamento de passarela em concreto têxtil, respectivamente. Dissertações de mestrado realizados por Giese (2019) e por Araújo (2019), que tratam sobre reforço têxtil e sobre a simulação do comportamento do mesmo pelo método de elementos finitos, respectivamente. Todos esses utilizados como base para este trabalho de conclusão de curso. Cabe citar ainda o trabalho de conclusão de curso de Nora (2018); a dissertação de mestrado de Dalazen (2021) e a tese de doutorado de Reginato (2020). Há ainda outros trabalhos desenvolvidos por instituições como Universidade do Vale do Rio dos Sinos (Unisinos) e Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ).

## 1.2 OBJETIVO

Os objetivos deste trabalho, apresentados a seguir, são classificados como principal e secundários.

### 1.2.1 Objetivo principal

O objetivo principal deste trabalho é verificar as resistências à flexão e ao cisalhamento de um modelo de elemento de revestimento de fachada ventilada em concreto têxtil, submetidos a carregamentos externos (ação do vento) e ao peso próprio.

### 1.2.2 Objetivo secundário

Dentre os objetivos secundários deste trabalho, destacam-se alguns, como:

- a) contribuir para o entendimento e expansão das aplicações do concreto têxtil no âmbito nacional;
- b) contribuir para a compreensão do comportamento mecânico do concreto têxtil;
- c) avaliar as vantagens do seu uso em sistemas de fachadas ventiladas;
- d) buscar uma comparação aos modelos ensaiados por Kulas (2013);
- e) verificação das resistências obtidas em comparação às solicitadas.

## 1.3 DELIMITAÇÃO

Este trabalho propõe verificar as resistências de um elemento de revestimento que faz parte de um sistema de fachadas ventiladas, para isso faz uso de equações específicas para o compósito de concreto têxtil. Esse elemento de revestimento proposto possui dimensões e características similares a de um elemento aplicado em uma edificação localizada na universidade de Aachen,

Alemanha. Além disso, o compósito conta somente com um tipo de reforço têxtil, composto de fibra de vidro álcali-resistente (AR) impregnada com resina epóxi. Desta maneira, não será analisado o sistema completo de fachadas ventiladas de uma edificação. Não serão verificadas as deformações do compósito, assim como a verificação de espessuras de diferentes dimensões. Além disso, não serão verificados, também, os elementos metálicos da subestrutura e componentes de fixação, que fazem parte desse sistema de fachadas ventiladas.

#### 1.4 LIMITAÇÕES

As limitações deste trabalho são relacionadas principalmente à restrição de literatura de fachadas ventiladas em concreto têxtil e outras limitações que são apresentadas a seguir:

- a) a dilatação térmica do compósito não será abordada;
- b) as deformações do elemento em concreto têxtil não serão verificadas;
- c) a verificação da espessura do elemento em concreto têxtil;
- c) o comportamento mecânico da subestrutura metálica não será abordado;

O trabalho limita-se aos estudos experimentais e teóricos publicados pelas principais universidades da Alemanha, tendo enfoque a tese de doutorado de Kulas (2013). O instituto alemão de Tecnologia da Construção (DIBt) reuniu as principais regras e usos que o concreto têxtil deve seguir na norma DIN (*Deutsche Industrie Norm*) Z-31.10-182, publicada em 2014, com revisões em 2016 e 2021.

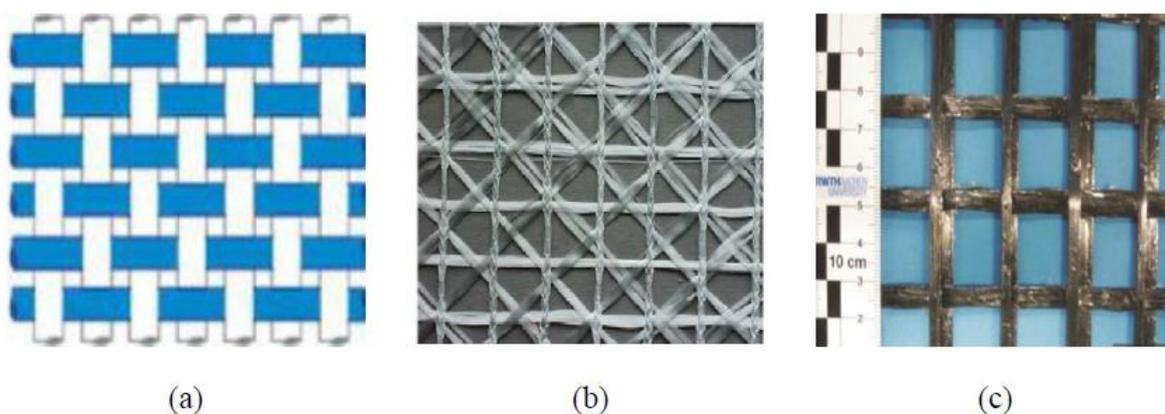
## 2 CONCRETO TÊXTIL

Nesta seção identificam-se as principais propriedades do concreto têxtil, especialmente no que diz respeito à matriz cimentícia e à malha têxtil. Faz-se necessário, também, apresentar as definições e as classificações constantes em diversas literaturas, as quais caracterizam o compósito e contextualizam as suas aplicações.

### 2.1 DEFINIÇÃO

Naaman (2010, apud ARAÚJO, 2019, p.31) define concreto têxtil como um tipo de concreto reforçado constituído de uma matriz cimentícia de baixa granulometria que envolve um reforço têxtil (bidimensional ou tridimensional), composto por fibras que possuem um alto desempenho, as quais podem ser classificadas como sintéticas, metálicas ou orgânicas. Comumente pode-se utilizar termos como malha, tela ou tecido para fazer referência ao têxtil utilizado, afirma Giese (2019). A partir de sua geometria os reforços têxteis são classificados conforme a Figura 1.

Figura 1 – Tipos de reforço têxtil: (a) tecido; (b) tela e (c) malha

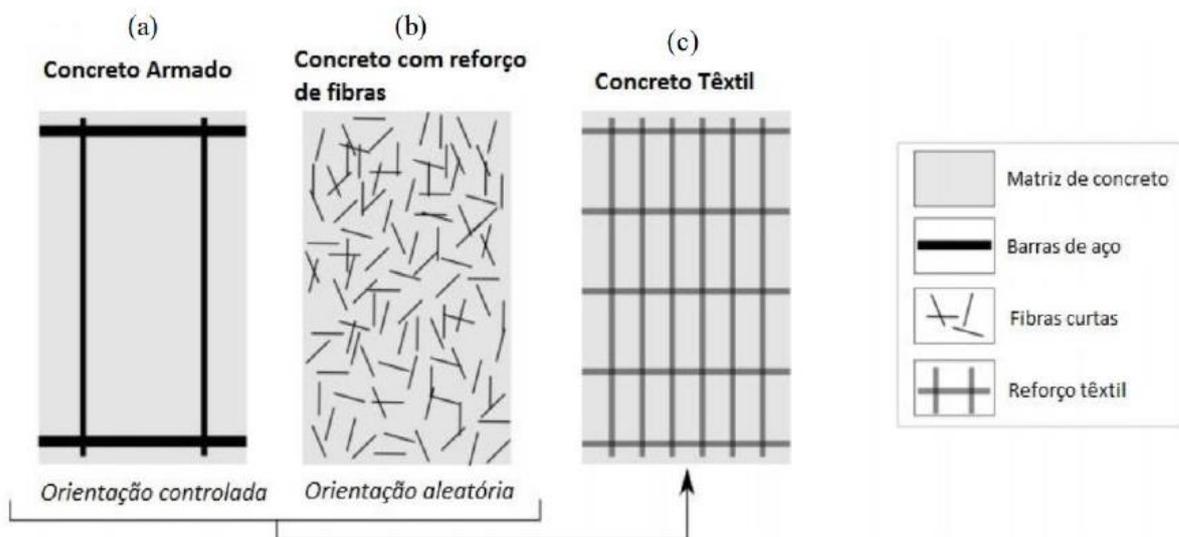


Fonte: Araújo (2019)

Ainda, Brameshuber (2006, apud ARAÚJO, 2019) estabelece que fibras utilizadas na confecção dos reforços têxteis devem possuir propriedades e características compatíveis com a matriz cimentícia. Destaca-se “o módulo de Young superior ao do concreto, boa aderência a matriz cimentícia, resistência a ambientes alcalinos e, também, alta tensão e deformação na ruptura”, segundo Araújo (2019, p. 32).

O uso de fibras em concretos não é uma aplicação nova na construção civil, principalmente as fibras curtas de vidro álcali-resistente (AR), de aço e de materiais poliméricos. O uso dessas fibras dispersas aleatoriamente na matriz cimentícia tem boa resposta do material quanto à flexão, sendo usado em ampla escala em pisos industriais (DENARDI, 2016). Contudo, ao promover a orientação das fibras longas de alto desempenho dispostas segundo as tensões solicitantes e agrupá-las nas regiões de maior tração, tem-se um melhor aproveitamento do compósito em estruturas. Tal ordenação maximiza as propriedades das fibras e, conseqüentemente, viabiliza a substituição das barras de aço por reforço têxtil, como pode ser visto na Figura 2, onde há uma comparação entre tipos de reforços (ARAÚJO, 2019).

Figura 2 – Tipos de reforço para concreto: (a) concreto armado; (b) concreto com fibras dispersas e (c) concreto têxtil



Fonte: adaptado de HEGGER et al. (2006, p.133) apud ARAÚJO (2019).

## 2.2 MALHA TÊXTIL

As malhas comumente utilizadas na concepção de elementos de concreto têxtil possuem fibras de carbono, vidro álcali-resistente (AR), basalto e aramida (KULAS, 2013). Essas fibras, não metálicas, são adequadas para elementos utilizados na construção civil, uma vez que possuem boas propriedades mecânicas e químicas, como elevada tensão de ruptura à tração uniaxial, aderência à matriz cimentícia, durabilidade e reatividade química. Destaca-se um módulo de elasticidade dessas fibras muito maior do que o módulo de elasticidade da matriz cimentícia, para que quando ocorra a fissuração do concreto, o mesmo não tenha extrema redução de sua rigidez. Soma-se a essas características e propriedades, a estabilidade das fibras em ambientes carbonatados e ambientes com cloretos (DENARDI, 2016).

A malha têxtil na matriz cimentícia tem como função formar a armadura do compósito, semelhante ao concreto armado convencional. Como não utilizam aço em sua formação, o concreto têxtil torna-se uma alternativa para ambientes agressivos onde o fenômeno de corrosão em armaduras de aço é recorrente (GIESE, 2019).

Segundo Giese (2019, p.36):

Não existe um padrão definido para a distância entre os fios do têxtil. É importante que a abertura seja maior do que a dimensão máxima do agregado utilizado na matriz cimentícia, garantindo assim uma penetrabilidade e, conseqüentemente, uma boa aderência do têxtil com a matriz. Em geral, as armaduras têxteis apresentam aberturas inferiores a 30 mm.

Existe na literatura um vocabulário específico para a descrição de diferentes formas de arranjo dessas fibras. As fibras são constituídas de agrupamentos de filamentos, e posteriormente quando combinadas formam as malhas. O trabalho de Giese (2019, p.35 e 36) traz o resumo de cada termo associado ao tipo de arranjo das fibras. Basicamente, para utilização neste trabalho, lista-se a terminologia abaixo:

- fibra: unidade de matéria prima (natural ou sintética);
- filamento: fibra com grande comprimento e com determinada orientação, a qual pode ser encontrada naturalmente ou extrudada;
- fio: constitui no agrupamento de filamentos que são torcidos, alinhados ou a combinação dos dois formando um fio que poderá ser tecido através de variadas técnicas;
- malha: conjunto de fios interligados formando uma tela quadriculada.

### 2.2.1 Formação das Malhas e Processo de Melhoria

Cada tipo de fibra utilizada na malha têxtil possui um processo de produção e técnica ligeiramente diferente (KULAS, 2013). Conforme Kulas (2013, apud ARAÚJO, 2019, p. 38):

As malhas têxteis são telas quadriculadas formadas a partir da interligação de fios têxteis. Esses, por sua vez, originam-se do agrupamento de filamentos de diâmetro reduzido. O processo para conexão dos filamentos e fios pode ser feito a partir do transpasse, entrelaçamento ou costura dos mesmos.

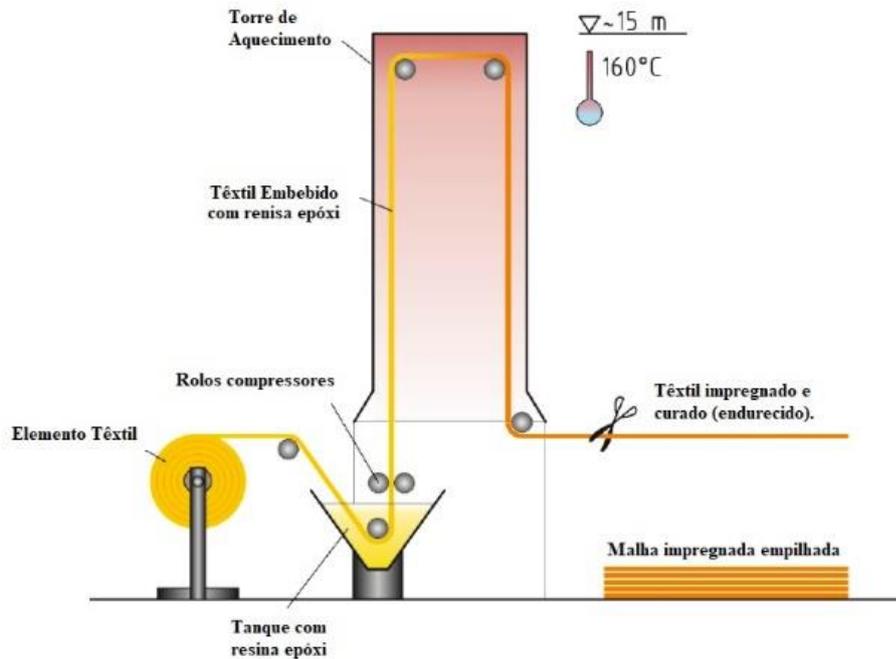
Sabe-se que as propriedades últimas da malha têxtil estão diretamente ligadas às características da concepção dos fios e em como estes são interligados (ARAÚJO, 2019). Além das características intrínsecas dos fios, a forma geométrica e a técnica utilizada na conformação das malhas, possui influência direta no desempenho de aderência junto à matriz cimentícia.

Os fios utilizados nas malhas têxteis são agrupamentos de milhares de filamentos. Nesse aspecto, verifica-se que o núcleo desses fios não entra em contato com a matriz cimentícia, fazendo com que apenas os filamentos externos tenham o papel de aderir à matriz. “Devido a essa configuração, apenas os filamentos aderidos à matriz absorvem o carregamento, de modo que apenas cerca de 30 a 35% dos filamentos são ativados”, afirma Giese (2019, p. 39).

No intuito de melhorar o aproveitamento dos filamentos e, conseqüentemente, dos fios, implementa-se o processo de impregnação, que consiste na aplicação de um material que

penetra mais profundamente no fio (KULAS, 2015). Esse processo está exemplificado na Figura 3.

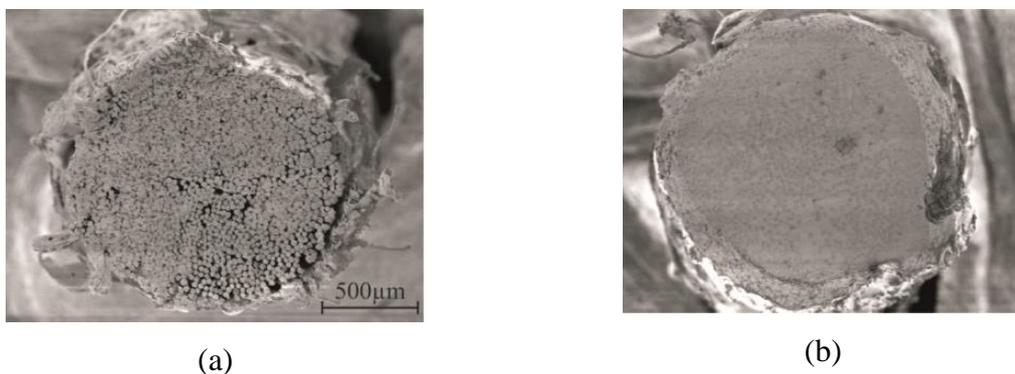
Figura 3 – Processo de impregnação de malha têxtil



Fonte: adaptado (KULAS, 2013)

Dois materiais são comumente usados: resina epóxi e butadieno-estireno (SBR), apresentados na Figura 4.

Figura 4 – Fios impregnados: (a) SBR e (b) Epóxi



Fonte: Kulas (2013)

Esse processo melhora a interação entre filamentos internos e externos, fazendo com que se obtenha uma seção transversal mais homogênea. Nesse sentido as malhas têxteis impregnadas, em comparação com as malhas não impregnadas, possuem melhor adesão ao concreto, resultado da penetração melhorada das partículas do concreto fino nos interior dos fios (ARAÚJO, 2019).

### 2.3 MATRIZ

A matriz cimentícia empregada no concreto têxtil possui características diferentes das matrizes empregadas em concreto armado convencional, principalmente no que diz respeito à granulometria. Enquanto o concreto armado convencional utiliza em sua conformação agregados graúdos e miúdos, o concreto têxtil utiliza apenas agregados miúdos. O diâmetro máximo do agregado miúdo é, em geral, em função da abertura da malha têxtil, afim de se obter total penetração dos grãos por entre os vazios das malhas e de fios não impregnados. Em alguns trabalhos é possível encontrar faixas de diâmetro de agregados miúdos utilizados em compósitos, como o de Araújo (2019), em que aponta ser de 8 mm; Giese (2019), aponta ser, em geral, até 2 mm.

Em algumas literaturas, pelo fato de possuir a granulometria fina, o concreto têxtil é denominado como argamassa têxtil. Apesar das diferentes nomenclaturas, a matriz cimentícia utilizada no concreto têxtil possui características e propriedades notavelmente diferentes das argamassas convencionais. Segundo Denardi (2016, p.52), “Altas taxas de aglomerante são empregadas, bem como adições de finos, como cinza volante, sílica ativa e aditivos como superplastificantes e redutores de água”. As matrizes obtidas são de alto desempenho, possuindo propriedades similares às do concreto estrutural, fazendo com que se atribua o nome de “concreto de fina granulometria” ou, apenas, “concreto fino” (BRAMESHUBER, 2006).

As propriedades reológicas da matriz cimentícia, em estado fresco, são fundamentais para a permeabilidade do material aglomerante ao têxtil utilizado. Deve-se garantir a boa

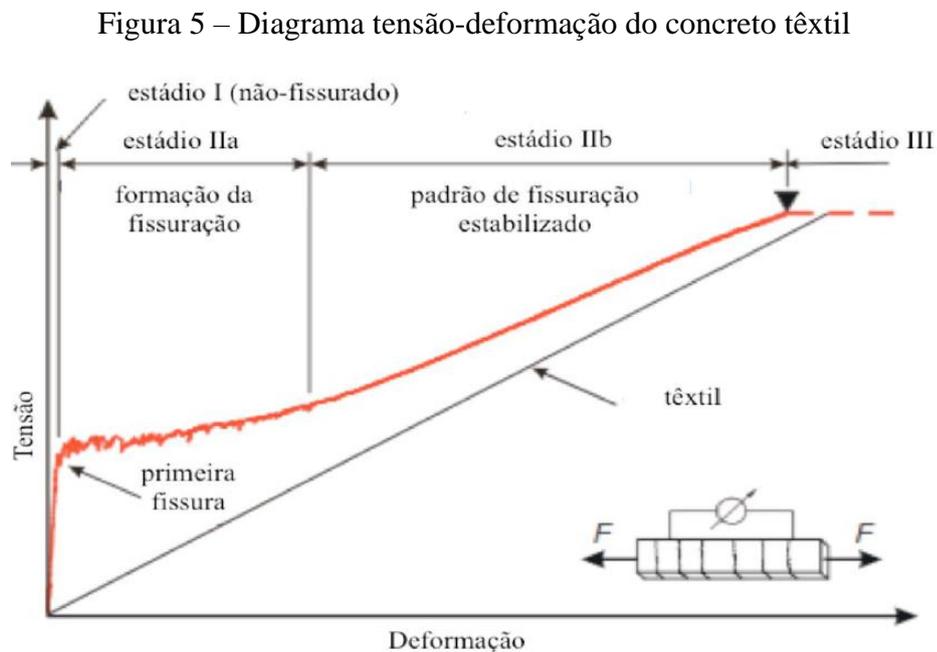
trabalhabilidade dessa matriz em estado fresco, com objetivo de facilitar a mobilidade, fluidez e coesão na concepção final do compósito. Corrobora-se ao fato, citado por Giese (2019, p. 47):

Para garantir uma penetração adequada nos vazios existentes dentro dos fios têxteis são necessários ajustes da fluidez através da adição de agregados finos, superplastificantes e aditivos minerais, principalmente pozolânicos como cinza volante, sílica ativa e metacaulim.

Desta maneira, busca-se sempre um concreto com propriedades mecânicas de alta performance e auto adensável.

## 2.4 COMPORTAMENTO MECÂNICO

Em ensaios de flexão simples ou tração, o concreto têxtil se comporta similarmente ao concreto armado convencional, tendo seu diagrama tensão-deformação resumido em três estádios definidos, conforme Figura 5.



Fonte: adaptado de JESSE et al., (2005, p. 2) apud DENARDI (2016).

Define-se os três Estádios no comportamento à tração:

- a) Estádio I: Início do carregamento, o concreto ainda não iniciou o processo de fissuração. Rigidez do compósito corresponde aproximadamente ao módulo de Young do concreto fino;
- b) Estádio Iia: Nessa etapa inicia o processo de fissuração do concreto. Pode-se verificar no diagrama que há pouco acréscimo de tensão em função da múltipla fissuração;
- c) Estádio Iib: Nessa última etapa ocorre as estabilizações das fissuras do concreto ao passo que os filamentos são tensionados até atingirem a resistência dos filamentos. Ocorre o rompimento do elemento estrutural;
- d) Estádio III: Ao contrário dos elementos em concreto armado convencional, não há estágio III onde ocorreria a plastificação do aço utilizado.

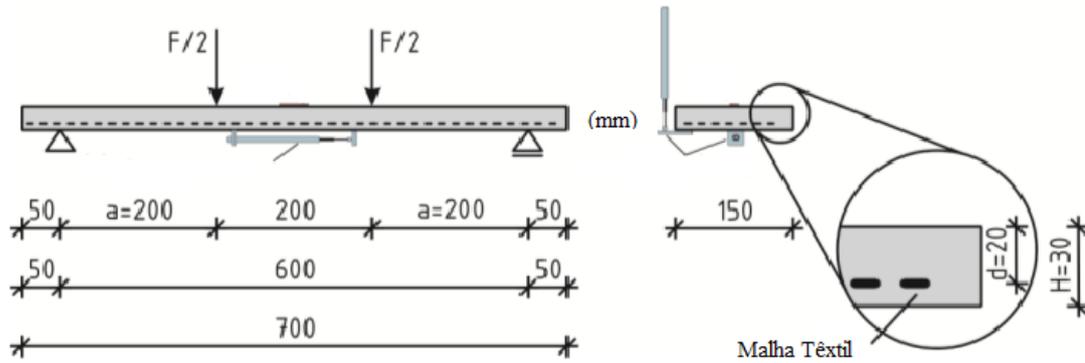
#### 2.4.1 Ensaio mecânicos realizados por Kulas

Para entender o comportamento mecânico dos elementos estruturais em concreto têxtil com malhas impregnadas, assim como identificar os resultados de ensaios, torna-se importante citar o estudo pioneiro de Christian Hubert Kulas.

Kulas (2013) desenvolveu um estudo teórico e experimental sobre a resposta à flexão de elementos em concreto têxtil com malhas impregnadas, compilado em sua tese de doutorado em 2013. Nela constam também ensaios de tração e de cisalhamento. Kulas (2013) utilizou placas com espessuras entre 30 mm a 60 mm (sem armadura de cisalhamento), com largura de 150 mm e comprimentos de 700 mm, apresentada na Figura 6. O comportamento à flexão foi examinado em testes de 4 (quatro) apoios para obtenção dos resultados.

Os valores calculados apresentados a seguir são provenientes das expressões analíticas de dimensionamento à tração, flexão e cisalhamento dos modelos desenvolvidos por Voss (2008) e aprimorados por Kulas (2013). As expressões para cálculo são apresentadas no item 4.2 e aplicadas a modelos de viga biapoiada.

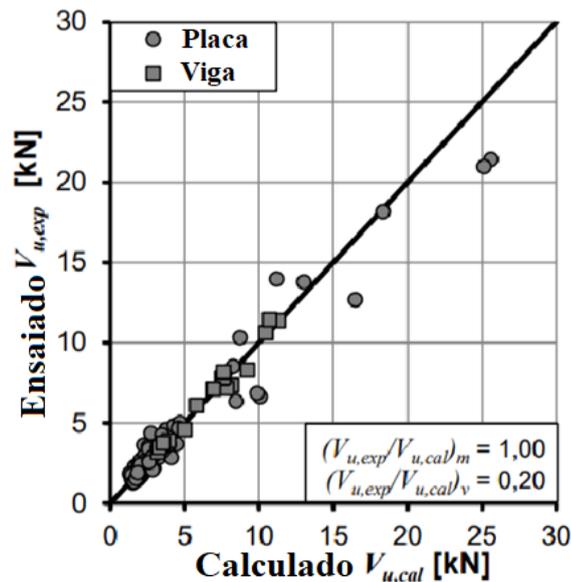
Figura 6 – Protótipo de ensaio à flexão de uma placa têxtil em ensaio à flexão



Fonte: adaptado (KULAS, 2013)

Nota-se no gráfico da Figura 7 a relação entre o esforço cortante ensaiado e o esforço cortante calculado. Para placas, se limita, majoritariamente, a valores de cortante calculado e ensaiado entre 1 kN a 15 kN. Verifica-se que a discrepância máxima foi de 20% entre os resultados ensaiados e os valores calculados, conforme coeficiente de variação ( $v$ ). Nota-se também a convergência igualitária da razão entre os valores de ensaio e de cálculo, conforme coeficiente médio de valores ( $m$ ).

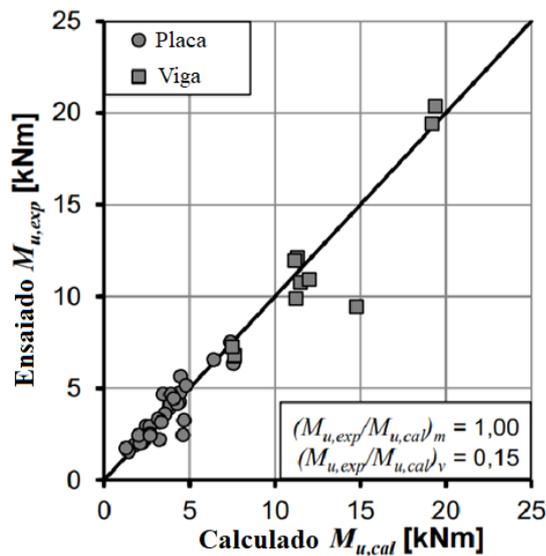
Figura 7 – Gráfico esforço cortante de ensaio e esforço cortante calculado



Fonte: adaptado (KULAS, 2013)

Nota-se no gráfico da Figura 8 a relação entre o momento resistente ensaiado e o momento resistente calculado. Para placas, se limita, majoritariamente, a valores de momento calculado e ensaiado entre 1 *kNm* a 8 *kNm*. Verifica-se que a discrepância máxima foi de 15% entre os resultados ensaiados e os valores calculados, conforme coeficiente de variação (*v*). Nota-se também a convergência igualitária da razão entre os valores de ensaio e de cálculo, conforme coeficiente médio de valores (*m*).

Figura 8 – Gráfico de placa e vigas em função do momento de ensaio e momento resistente calculado



Fonte: adaptado (KULAS, 2013)

Verifica-se na Figura 9 os resultados obtidos para a força cortante de cálculo e a força cortante de projeto em função do grau de reforço têxtil, Equação 1. Kulas (2013) afirma que há uma variação pequena entre os valores ensaiados e os valores calculados.

$$\omega_t = \frac{A_t \cdot E_t}{A_c \cdot E_c} \quad (1)$$

Onde,

$\omega_t$ : grau de reforço;

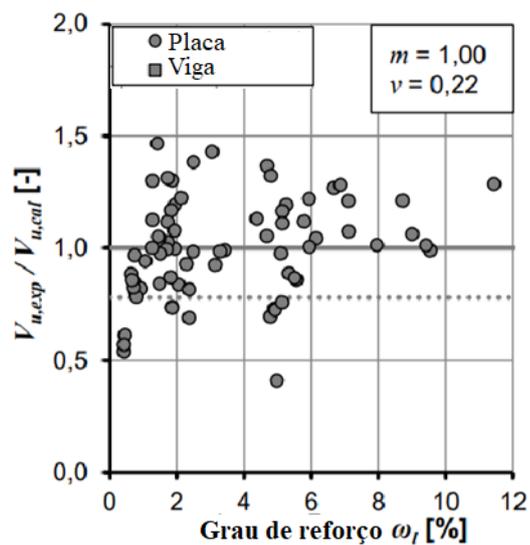
$A_t$ : área seção transversal têxtil;

$A_c$ : área seção transversal concreto;

$E_t$ : módulo de elasticidade têxtil;

$E_c$ : módulo de elasticidade concreto.

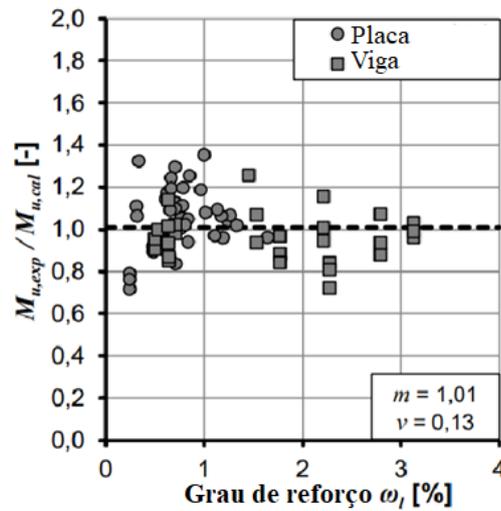
Figura 9 – Relação entre  $V_{u,exp}$  e  $V_{u,cal}$  em função do grau de reforço



Fonte: adaptado (KULAS, 2013)

Verifica-se na Figura 10 os resultados obtidos para o momento resistente de cálculo e o momento resistente de ensaio em função do grau de reforço têxtil. Kulas (2013) afirma que há uma variação pequena entre os valores ensaiados e os valores calculados, menor que a variação existente para os resultados da força cortante apresentados na Figura 9.

Figura 10 – Relação entre  $M_{u,exp}$  e  $M_{u,cal}$  em função do grau de reforço



Fonte: adaptado (KULAS, 2013)

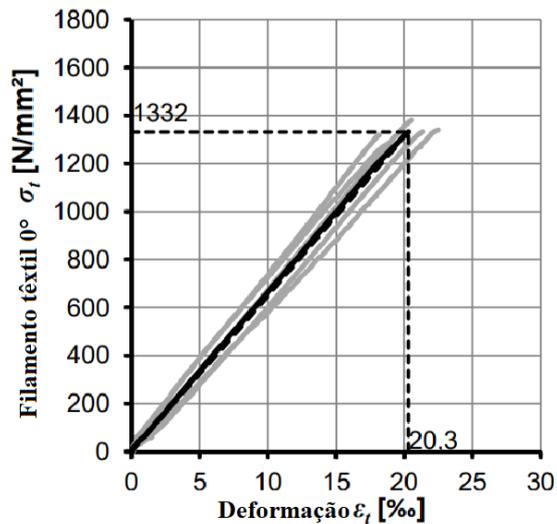
Ainda na tese de doutorado de Kulas (2013), mostra-se o ensaio de um elemento retangular têxtil com dimensões e propriedades conforme Tabela 1. Verifica-se, também, o ensaio da tensão de tração do filamento têxtil utilizado, conforme Figura 11.

Tabela 1 – Propriedades e dimensões do elemento de concreto têxtil de Kulas (2013)

Propriedades e dimensões	Valor	Unidade
Espessura	3	cm
Largura	15	cm
Distância carga pontual do apoio	20	cm
Altura útil	2,4	cm
Camadas têxtil	2	-
Grau de reforço	1,57	%
Resistência média do concreto	106	MPa
Tensão de tração filamento têxtil	1332	MPa

Fonte: adaptado (KULAS, 2013)

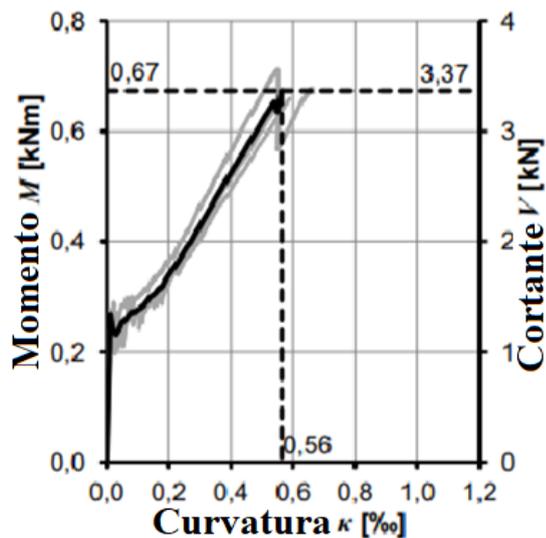
Figura 11 – Gráfico de tensão-deformação do filamento têxtil



Fonte: adaptado (KULAS, 2013)

A força cortante última de ensaio foi de 3,37 kN e o momento resistente último de ensaio foi de 0,67 kN.m, conforme Figura 12.

Figura 12 – Gráfico resumo de ensaio de uma placa têxtil por Kulas (2013)



Fonte: adaptado (KULAS, 2013)

Além de ser um trabalho referencial de apoio para a verificação de elementos em concreto têxtil, os dados da Figura 12, obtidos no estudo de Kulas (2013), servirão neste trabalho como base de comparação com os resultados do problema exemplificado na seção 5.

## 2.5 CARACTERÍSTICAS E APLICAÇÕES DO CONCRETO TÊXTIL

Conforme visto na primeira seção (introdução), o fato de o concreto têxtil utilizar malhas formadas por fibras não corrosivas, dispensando uma barreira física grande entre armadura e atmosfera – cobrimento do concreto armado convencional – faz com seja possível executar elementos finos e esbeltos, com espessuras em torno de 20 a 30 mm. Soma-se a isso, a composição dos agregados miúdos. Para garantir uma aderência adequada entre a malha têxtil e a matriz cimentícia, um cobrimento em torno de 10 e 15 mm é suficiente (GIESE, 2019).

Aplicações na construção civil com elementos de concreto têxtil são diversas, principalmente em estruturas onde necessita-se de grande capacidade de carga alinhado a elementos de fina espessura como na Figura 13. Existem aplicações em fachadas ventiladas e paredes-cortinas; módulos de garagens, estacionamentos e estações de transformadores; elementos de estocagem como silos e tanques; pontes e passarelas; superfícies de formato livre; varandas e sacadas; e diversas outras em que se necessite das propriedades do concreto têxtil. A Figura 13 apresenta uma estrutura do tipo casca curvada que serve de cobertura para abrigar bicicletas, localizada no campus da universidade de Aachen, Alemanha. A Figura 14 apresenta a aplicação em rede de esgoto como reforço estrutural, situada na Alemanha.

Figura 13 – Cobertura do tipo casca para bicicletas, Aachen, Alemanha



Fonte: Hegger et al (2017)

Figura 14 – Reforço de estruturas



Fonte: Walther et al (2017)

A Figura 15 apresenta a primeira ponte de pedestres feita em concreto têxtil, com vão de 8,60 m, localizada na cidade de Oschatz, Alemanha, 2005. Dois anos mais tarde, foi construída uma ponte com um vão maior, 16 metros, localizada na cidade de Kempten, Alemanha, 2007, apresentada na Figura 16.

Figura 15 - Ponte para pedestres, Oschatz, Alemanha.



Fonte: Structurae (2015)

Figura 16 - Ponte para pedestres, ciclistas e *small snow-cleaner*, Kempten, Alemanha



fonte: BAUINGENIEUR24 (2007)

A Figura 17 apresenta a passarela construída na cidade de Albstadt, Alemanha. Utilizou-se concreto têxtil com malha impregnada de epóxi, cabos de protensão e barras não metálicas. A Figura 18 apresenta uma ponte para pedestres e bicicletas construída na cidade de Weinstadt, Alemanha, em 2019.

Figura 177 – Passarela em concreto têxtil, Albstadt, Alemanha.



Fonte: Structurae (2012)

Figura 18 - Ponte pedestres e ciclistas, Weinstadt, Alemanha



Fonte: Solidian (2022)

A Figura 19 apresenta um pequeno pavilhão com estruturas curvadas, localizada no campus da universidade técnica de Chemnitz, Alemanha, 2016.

Figura 19 - Pavilhão em concreto têxtil (malha de fibra de carbono), Chemnitz, Alemanha



Fonte: BFT *International*, UT Chemnitz, *Issue*, 04 (2016)

Em 2021, no campus da universidade técnica de Dresden, Alemanha, começou a ser construído a primeira edificação utilizando somente concreto têxtil (malhas de carbono), livre de armaduras de aço, apresentado na Figura 20, 21 e 22. Batizado de “*The Cube*”, o prédio conta com dois andares, salas de aula, sala de evento e uma pequena cozinha, totalizando 220 m<sup>2</sup> de área.

Figura 20 - Primeira etapa batizada como “*the box*”



Fonte: <https://tu-dresden.de/> (2021)

Figura 21 - Segunda etapa da parede-telhado simultâneo, batizada como “*twist*”



Fonte: <https://tu-dresden.de/> (2022)

Figura 22 - Representação gráfica da edificação "*the cube*"



Fonte: <https://www.henn.com/en/project/c3-cube-tu-dresden> (2022)

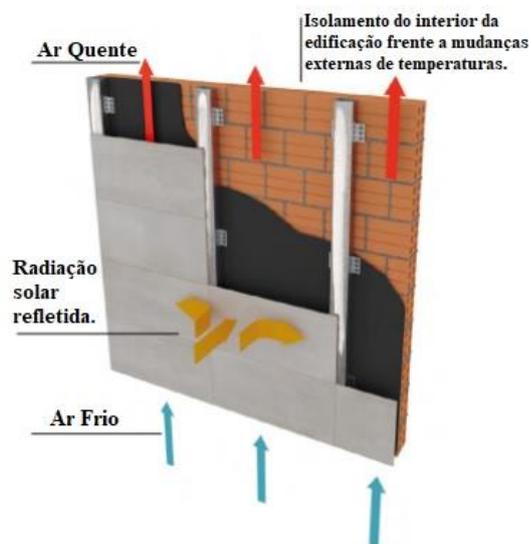
Além das aplicações citadas, devido ao alto desempenho e a grande durabilidade, o concreto têxtil se torna uma boa alternativa onde há uma alta exposição a ataques agressivos, como por exemplo, em áreas costeiras, estruturas marítimas, garagens de estacionamento etc. (DENARDI, 2016).

### 3 FACHADAS VENTILADAS

O sistema de fachadas ventiladas foi desenvolvido nas últimas décadas por laboratórios europeus, a partir da necessidade de redução dos custos com energia para refrigeração e calefação das edificações, segundo revista *TÉCHNE*, *Fachadas Respirantes* (2009, apud, Carneiro, 2015). Com o tempo, as fachadas ventiladas passaram a ser soluções construtivas caracterizadas pela uniformidade dos seus elementos e pela alta produtividade, uma vez que dispensam o uso de argamassa de assentamento como utilizado no caso de fachadas aderidas.

A fachada ventilada se caracteriza pelo afastamento físico entre revestimento e parede externa da edificação, fazendo com que exista um fluxo de ar entre as superfícies. Esse afastamento é possível devido à subestrutura, geralmente constituída por perfis metálicos com função estrutural, além de demais componentes e acessórios metálicos, conforme Figura 23. As vantagens desse sistema são inúmeras, cabendo destacar o conforto térmico, pois há redução significativa da irradiação sobre a fachada original; conforto acústico, devido à reverberação significativa dos ruídos externos e economia de energia da edificação, devido ao menor uso de aparelhos de ar condicionado.

Figura 23 – Representação de fachada ventilada



Fonte: Adaptado de Manual Fachadas Portinari (2022, p.11)

Fachadas ventiladas com fechamento em concreto t\xeatil permitem grande economia em rela\u00e7\u00e3o a materiais, transporte e sistemas de ancoragem. Dessa maneira a sua utiliza\u00e7\u00e3o tem se transformado em uma alternativa para arquiteturas contempor\u00e2neas, permitindo fachadas mais esbeltas, com grandes v\u00e3os e diferentes geometria.

### 3.1 SISTEMAS DE FIXA\u00c7\u00c3O

Quanto \u00e0 fixa\u00e7\u00e3o dos elementos \u00e0 vedaa\u00e7\u00e3o externa da edifica\u00e7\u00e3o, o primeiro fator a ser analisado \u00e9 a estabilidade da parede que dever\u00e1 suportar as excentricidades das cargas oriundas das solicita\u00e7\u00f5es e dos carregamentos. Assim como a natureza do substrato para identificar a adequabilidade do mesmo em rela\u00e7\u00e3o aos sistemas de suporte para ancoragem dos elementos em concreto t\xeatil.

Os revestimentos n\u00e3o aderidos, de forma geral, podem ser fixados de maneira pontual e direta, por um sistema de *inserts* met\u00e1licos e chumbadores na vedaa\u00e7\u00e3o externa ou tamb\u00e9m por uma subestrutura auxiliar composta por perfis met\u00e1licos chamados de montantes (verticais) e guias (horizontais) – tamb\u00e9m fixados na vedaa\u00e7\u00e3o externa. H\u00e1 varia\u00e7\u00f5es ainda, como somente com montantes ou somente com guias para a subestrutura auxiliar. Segundo Klein et al. (2002, p.2 apud Campos, 2011, p.45), “as fachadas ventiladas podem ser aplicadas em qualquer tipo de edifica\u00e7\u00e3o, seja ela constru\u00edda em concreto armado, a\u00e7o ou alvenaria portante”. Em casos onde n\u00e3o h\u00e1 possibilidade de a vedaa\u00e7\u00e3o externa ser utilizada como suporte, deve-se fixar o sistema de ancoragem, atrav\u00e9s de seus chumbadores, diretamente em elementos estruturais como vigas, lajes e pilares.

Os dispositivos para o acoplamento das placas de revestimento à subestrutura auxiliar, podem ser divididos em duas variantes principais pela forma de fixação: acoplamento visível e acoplamento oculto, como demonstrado na Figura 24.

- (i) Sistema de fixação visível: os elementos de fixação permanecem expostos na superfície do revestimento após a execução da fachada, são comumente usados nesses casos cliques metálicos ou grampos. Os dispositivos inferiores têm a função de sustentar o peso próprio do revestimento. Já os dispositivos superiores têm função de evitar o tombamento do revestimento. Esse sistema conta também com uma subestrutura auxiliar composta de perfis metálicos, onde os mesmos são fixados na vedação externa, em posição vertical, através de parafusos ou de chumbadores.
- (ii) Sistema de fixação oculto: os elementos de fixação não permanecem expostos na superfície do revestimento após a execução da fachada, são comumente usados *inserts* metálicos inseridos na borda da placa ou ganchos de ancoragem fixados ao tardo da placa. Esse sistema conta também com uma subestrutura auxiliar composta por perfis metálicos, onde os mesmos são fixados na vedação externa, em posição vertical e horizontal, através de parafusos ou de chumbadores.

Figura 24 - Sistemas de fixação: (a) visível e (b) oculto



(a)



(b)

Fonte: Eliane TEC (2022, p. 10 e 11)

Além da fixação supracitada, existem outras maneiras de fixação dos elementos de revestimento à subestrutura auxiliar. No caso das fachadas ventiladas com placas de vidro (*Structural Glazing*), utiliza-se selante estrutural de silicone para fixação à subestrutura auxiliar. Em fachadas ventiladas de placas cerâmicas e rochas ornamentais, por exemplo, pode-se fixar a subestrutura auxiliar diretamente no tardo da placa através de *inserts* metálicos e parafusos fixadores.

## 4 VERIFICAÇÃO DE FACHADAS

Para a verificação e dimensionamento dos componentes de fachadas ventiladas é necessário, primeiro, definir as solicitações atuantes no sistema como um todo e, após, quantificá-las. As solicitações que atuam nos elementos de fachada ventiladas são a ação do vento, a carga devido ao peso próprio da placa de revestimento e as variações de temperatura em função da dilatação térmica. Esse último caso não será abordado nesse trabalho, em função da limitação de literatura referente à dilatação térmica para os materiais constituintes do concreto têxtil.

Para verificação do desempenho térmico esperado do sistema de fachada ventilada, deve-se dimensionar o afastamento dos elementos de revestimento da vedação externa da edificação, a fim de entender a transmitância térmica existente. As aberturas inferiores e superiores do sistema de fachada ventilada devem ser dimensionadas também para o correto funcionamento do efeito chaminé, assim como a verificação das juntas. Essas verificações devem ser dimensionadas em um projeto específico por profissionais da área de comportamento térmico.

### 4.1 SOLICITAÇÕES E CARREGAMENTOS

As solicitações que atuam em um elemento de revestimento em sistemas de fachadas ventiladas devem ser consideradas como carregamentos em um modelo estrutural proposto, desta maneira é possível verificar as resistências da peça estrutural conforme suas propriedades e dimensões.

#### 4.1.1 Solicitação devido à ação do vento

Quando se fala de elementos de revestimentos, tal como as fachadas ventiladas, para o dimensionamento em relação ao vento, deve-se verificar a envoltória de pressão (e não a incidência do vento), seja de sobrepressão ou de sucção, conforme Figura 25. Para essa verificação, no Brasil, a norma NBR 6123 (1988) traz orientações e procedimentos a seguir.

Figura 25 – Envoltória de pressão: (a) sobrepressão e (b) sucção



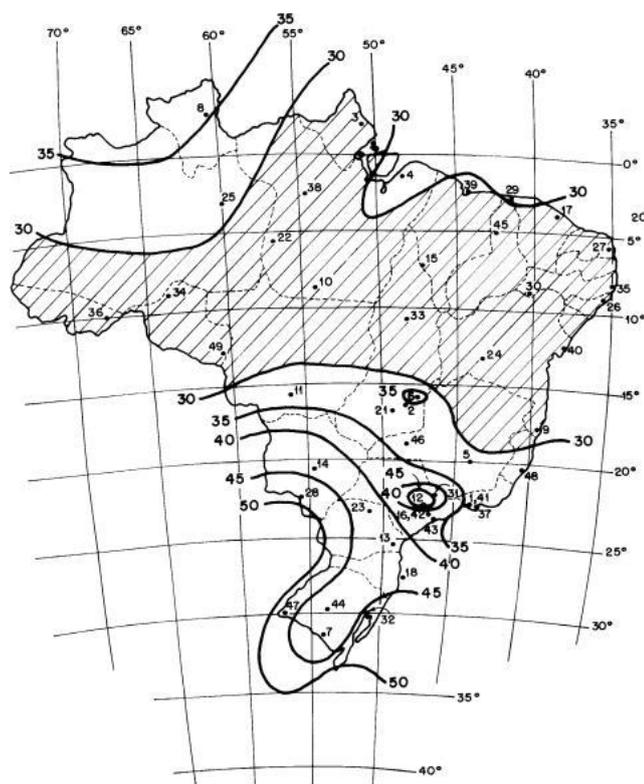
Fonte: Moreiras (2005)

Conforme as diretrizes da NBR 6123 (1988), verifica-se os critérios para o carregamento devido à ação do vento, no que diz respeito a forças estáticas

- a) Velocidade básica do vento ( $V_0$ );
- b) Velocidade característica do vento ( $V_k$ );
- c) Pressão dinâmica ( $q$ );
- d) Coeficientes de pressão.

A velocidade básica do vento ( $V_0$ ) depende de fatores geográficos e regiões analisadas. Para verificação, é necessário consultar o gráfico das isopletras na seção 5 da NBR 6123 (1988), representado pela Figura 26.

Figura 26 - Gráfico Isopletas



Fonte: NBR 6123 (1988, p. 9)

A velocidade característica do vento depende de três coeficientes e da velocidade básica do vento, conforme Equação 2:

$$V_k = V_0 \cdot S_1 \cdot S_2 \cdot S_3 \quad (2)$$

Onde,

$V_0$ : velocidade básica do vento adequada ao local onde a estrutura será construída;

$S_1$ : fator topográfico;

$S_2$ : fator que considera efeito combinado da rugosidade do terreno, variação da velocidade do vento em função da altura acima do terreno e das dimensões da edificação;

$S_3$ : fator estatístico, baseado em estatística e considera o grau de segurança requerido e a vida útil da edificação.

A pressão dinâmica incidente na edificação é dada pela Equação 3:

$$q = 0,613 \cdot (V_k)^2 \quad (3)$$

Sendo as unidades de  $q$  igual a  $N/m^2$  e  $V_k$  igual a  $m/s$ , no sistema internacional.

Os coeficientes de pressão são dados para superfícies externas e superfícies internas, sendo que entende-se por pressão efetiva a Equação 4.

$$Q = \Delta p = \Delta p_e - \Delta p_i \quad (4)$$

Sendo,

$Q$ : pressão efetiva ( $N/m^2$ );

$\Delta p_e$ : pressão efetiva externa;

$\Delta p_i$ : pressão efetiva interna.

Portanto,

$$Q = \Delta p = (c_{pe} - c_{pi}) \cdot q$$

ou

$$Q = \Delta p = (C_e - c_{pi}) \cdot q \quad (5)$$

Sendo,

$c_{pe}$ : coeficiente de pressão externa;

$c_{pi}$ : coeficiente de pressão interna;

$C_e$  : coeficiente de forma externo.

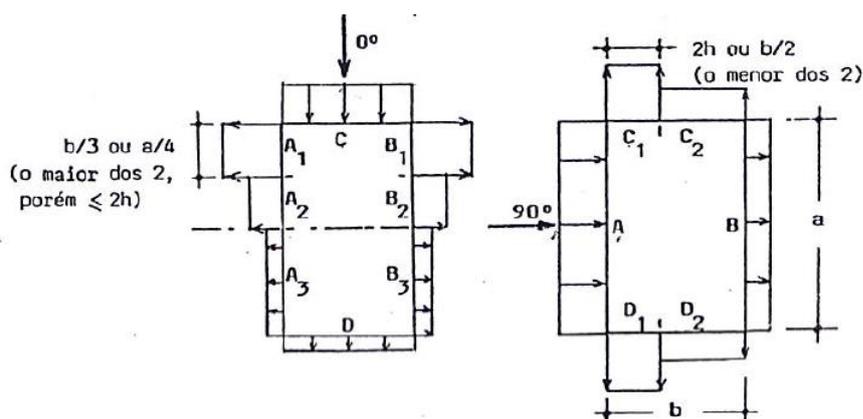
Onde,

$$c_{pe} = \Delta p_e / q$$

$$c_{pi} = \Delta p_i / q$$

Valores positivos dos coeficientes de pressão externa ou interna correspondem a sobrepressões. Já os valores negativos, correspondem a sucções. Tem-se ainda que um valor positivo para  $\Delta_p$  indica uma pressão efetiva com sentido de sobrepressão externa, já um valor negativo indica uma pressão efetiva com sentido de uma sucção externa (CAMPOS, 2011). A Figura 27 sintetiza a direção e sentido dos coeficientes de pressão nas vedações externas da edificação.

Figura 27 – Módulo, direção e sentido dos vetores de coeficientes de pressão



Fonte: NBR 6123 (1988, p. 18)

Onde,

$a$ : lado de maior dimensão horizontal de uma edificação;

$b$ : lado de menor dimensão horizontal de uma edificação;

$h$ : altura de uma edificação acima do terreno, medido até a o topo da platibanda ou nível do beiral.

Os ângulos apresentados na Figura 27 indicam as duas incidências do vento que são consideradas para determinar os coeficientes de pressão e forma. Sendo o ângulo de  $0^\circ$  vento incidente perpendicularmente ao lado de menor dimensão horizontal e o ângulo de  $90^\circ$  para vento incidente perpendicularmente ao lado de maior dimensão horizontal.

Para determinar os valores dos coeficientes de pressão e de forma, a NBR 6123 (1988) traz quatro notas a serem analisadas e a tabela 4, que é representada pela Figura 28.

Figura 28 – Tabela coeficientes de pressão e forma externo<sup>1</sup>

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: Campos (2011, p. 132)

Os coeficientes de pressão interna são determinados a partir de diretrizes de permeabilidade da edificação. Em caso contrário – edificação totalmente impermeável ao ar – a pressão no interior da edificação será invariável no tempo e independente da velocidade da corrente do ar externo.

O item 6.2.2 da NBR 6123 (1988) elenca os elementos construtivos e as vedações que são consideradas impermeáveis e os que são considerados permeáveis. Acrescenta-se, “A permeabilidade deve-se à presença de aberturas tais como: juntas entre painéis de vedação e entre telhas, frestas em portas e janelas, ventilações em telha e telhados, vão abertos de portas e janelas, chaminés, lanternins, etc.”.

O item 6.2.5 da NBR 6123 (1988) afirma que para edificações com paredes internas permeáveis, a pressão interna pode ser considerada uniforme. Sendo que para quatro faces igualmente permeáveis, o coeficiente de pressão interna ( $c_{pi}$ ) é igual a  $-0,3$  ou  $0$  (considerar o

<sup>1</sup> Tabela dos coeficientes de pressão e forma externo referenciada às situações da Figura 27.

valor mais nocivo). Ainda, há indicação de valores de coeficientes de pressão interna em função da abertura dominante, seja ela à barlavento ou à sotavento.

No caso de sistema de fachadas ventiladas, onde existe a presença de uma câmara de ar de fluxo ascendente entre o elemento de revestimento e a vedação externa da edificação, torna-se complexa a definição dos coeficientes de pressão e forma. O vento à barlavento que incide em sobrepressão na área frontal de uma placa, por exemplo, pode agir também no mesmo sentido e direção na área traseira da placa, fazendo com que esse vetor, eventualmente, passe a atuar também em faces adjacentes da edificação, paralelas à incidência do vento, onde geralmente ocorrem zonas de altas sucções.

Para contornar esse problema, há possibilidade de compartimentar as placas, para que se verifique corretamente os coeficientes de pressão e forma, equalizando-se a pressão externa e a interna em relação a uma placa. Essa é uma solução altamente técnica, que exige mão de obra especializada, tornando-se uma solução quase inviável em termos de custos. Eventualmente, é colocado um elemento de vedação nas arestas das paredes próximas às faces de barlavento, para assim confinar uma zona de pressão, e assim não agir também onde ocorrem as zonas de altas sucções.

#### 4.1.2 Solicitação devido ao peso próprio

Além do esforço devido ao vento, deve-se também analisar o peso próprio do elemento de fachada, onde o mesmo tem influência direta no sistema de ancoragem (subestrutura) e no sistema de fixação ao substrato da edificação. A definição é vista pela Equação 6.

$$P = \gamma . h . l . e. \quad (6)$$

Onde,

$P$ : peso próprio ( $kN$ );

$\gamma$ : peso específico ( $kN/m^3$ );

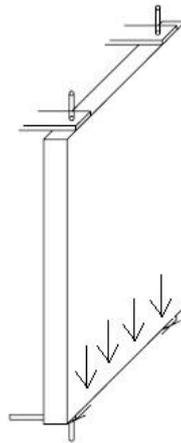
$h$ : altura do elemento ( $m$ );

$l$ : largura do elemento ( $m$ );

$e$ : espessura do elemento ( $m$ ).

A carga devido ao peso próprio do elemento de revestimento pode ser considerada como uma carga distribuída bastando dividi-la pela largura, conforme Figura 29.

Figura 29 – Carga devido ao peso próprio em elemento de revestimento



Fonte: adaptado (MOREIRAS, 2005)

Tratando-se do sistema de subestrutura e ancoragem à vedação externa da edificação, não existe padronização de qual sistema usar – sistema visível ou sistema oculto, tampouco seus materiais. Nesse aspecto, deve-se analisar as similaridades do concreto têxtil com peças existentes. Pode-se verificar os sistemas de fachadas ventiladas em rochas naturais, a qual a NBR 15846 (2010) faz referência às solicitações que devem ser abordadas.

Segundo Antoniazzi (2019), a NBR 15846 (2010) elenca genericamente as solicitações que devem ser analisadas para elementos de revestimento, *inserts* e chumbadores. Portanto, cabe ao projetista determinar as cargas e a aplicabilidade de cada item.

## 4.2 VERIFICAÇÃO DE FACHADAS EM CONCRETO TÊXTIL

Tratando-se de verificação e dimensionamento de fachadas em concreto têxtil, os trabalhos encontrados, e desenvolvidos até o presente momento, analisam os elementos das fachadas em concreto têxtil através de *softwares* considerando-os como placas ou então como vigas, dependendo do sistema de vinculação adotado. Os resultados são apresentados em termos de solicitações de flexão e cisalhamento, os quais são comparados com resultados de ensaios.

O uso da malha têxtil em fachadas ventiladas tem ganhado destaque na última década em virtude das vantagens do compósito. Cabe destacar a primeira fachada têxtil realizada no *Institute of Structural Concrete; RWTH Aachen University, Germany*, apresentada na Figura 30. As placas possuem dimensões de 268,5 x 32,5 x 2,5 cm<sup>3</sup>, o reforço têxtil está a 4 mm da superfície do painel da face externa, fazendo com que o concreto tenha recobrimento de pelo menos 3 mm.

Figura 30 – Instituto de Concreto Estrutural, Aachen, Alemanha.

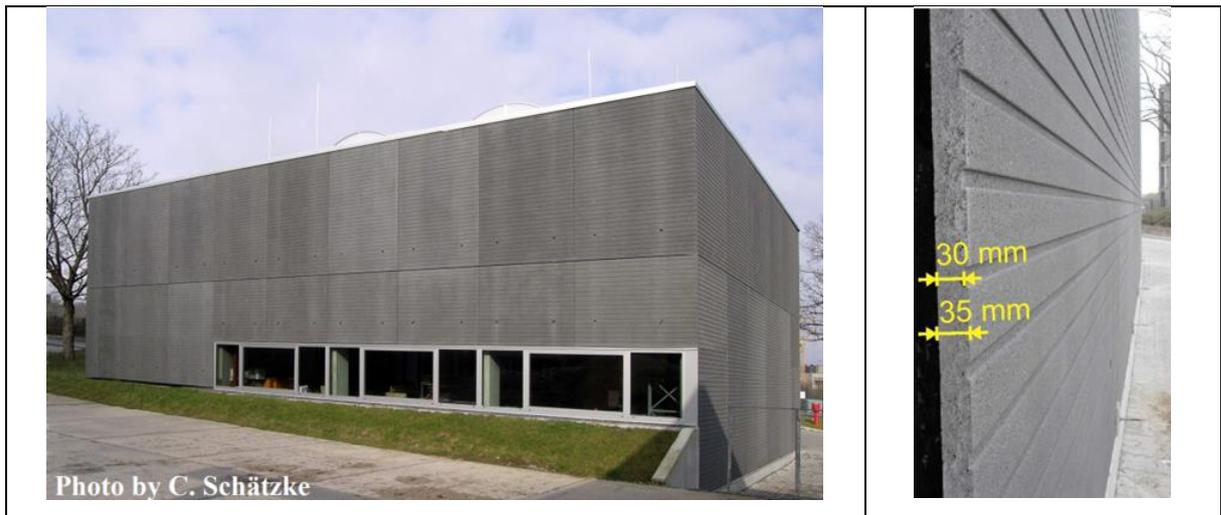


Fonte: Hegger et al (2006)

Outro exemplo, ainda na universidade de Aachen, Alemanha, são os elementos da fachada utilizada no laboratório de pesquisas de concretos estruturais – Figura 31. Nesse caso, foram

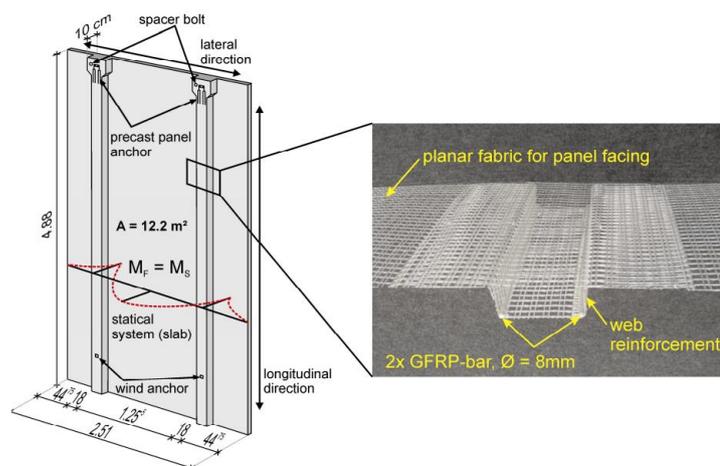
elaborados painéis têxteis de grandes dimensões, 2,51 m x 4,88 m, com apenas 30 mm de espessura. Nota-se nesse projeto que foram dispensadas as subestruturas de perfis metálicos para ancoragem e fixação, comumente empregado em fachadas em rochas naturais e cerâmicas. Foram executados dois perfis com próprio material têxtil, reforçados com barras de GFRP de  $\varnothing = 8$  mm, como mostra a Figura 32.

Figura 31 – Laboratório de pesquisas de concreto estrutural, Aachen, Alemanha.



Fonte: Hegger et al (2011)

Figura 32 – Representação do componente têxtil para fachada ventilada utilizando barras de GFRP



Fonte: Hegger et al (2011)

Elementos retangulares de fachadas ventiladas que contam com subestrutura em coluna (perfil vertical) podem ser dimensionados analogamente ao modelo estrutural de viga biapoiada, ao longo de sua seção transversal.

#### 4.2.1 Verificação para Flexão Simples

Para a flexão simples é proposto um sistema de viga biapoiada, conforme Hegger et al. (2006). O momento fletor máximo, ou momento fletor resistente de cálculo, é estabelecido conforme Equação 7, proposto por Voss (2008).

$$M_u = k_{fl,p} \cdot F_{ctu} \cdot z \quad (7)$$

Onde,

$k_{fl,p}$  : Fator de carregamento à flexão simples;

$F_{ctu}$  : Resistência à tração do reforço têxtil ( $kN$ );

$z$  : Braço de alavanca interno ( $m$ ).

O fator de carregamento à flexão simples ( $k_{fl,p}$ ) é adicionado ao cálculo da força resistente à tração, devido às pressões transversais nos fios, as quais surgem nas regiões onde ocorre a fissuração do concreto. Voss (2008) afirma que apesar dos danos gerados pelas tensões transversais aos filamentos externos, a ativação dos filamentos internos aumenta a resistência do reforço têxtil. Os valores apresentados por Voss (2008) são mostrados pela Equação 8.

Fibra de vidro álcali-resistente (AR), ponto de costura pilar<sup>2</sup>:  $k_{fl,p} = 1,0$ ;

fibra de vidro álcali-resistente (AR), ponto de costura tricô<sup>3</sup>:  $k_{fl,p} = 1,0 + 0,15 \cdot \rho_l$ ; (8)

fibra de carbono:  $k_{fl,p} = 1,0 + 0,4 \cdot \rho_l$ .

---

<sup>2</sup> Técnica de ponto de costura entre os fios do reforço têxtil. Possui rigidez à flexão e resistência ao deslocamento maior quando comparada à técnica de tricô.

<sup>3</sup> Técnica de ponto de costura entre os fios do reforço têxtil. Possui menor rigidez à flexão e resistência ao deslocamento quando comparada à técnica de pilar.

Sendo,

$\rho_l$  : Taxa de reforço longitudinal (%).

A força de resistência à tração, tem relação direta com a área da seção transversal e resistência a tração dos fios, assim como outros três parâmetros elencados ao longo deste tópico. Os ensaios e investigações, Hegger e Voss (2006) demonstraram através da Equação 9 o comportamento à tração.

$$F_{ctu} = k_1 \cdot k_2 \cdot k_{0,\alpha} \cdot A_t \cdot f_t \quad (9)$$

Onde,

$k_1$  : coeficiente de eficiência;

$k_2$  : coeficiente para carregamento biaxial;

$k_{0,\alpha}$  : coeficiente de orientação do reforço;

$A_t$  : área de seção transversal do reforço têxtil ( $cm^2/m$ );

$f_t$  : resistência à tração do filamento ( $MPa$ ).

O coeficiente ( $k_1$ ) é obtido de maneira empírica, cuja função é representar a diferença entre a resistência apresentada por um único filamento e a malha têxtil utilizada. Araújo (2019, p. 59) complementa com a seguinte afirmação “este fator, que pode ser calculado como a razão entre a resistência última à tração da malha e dos filamentos, considera a perda de resistência decorrente do deslizamento dos filamentos internos em relação aos externos e de problemas relacionados ao processo de fabricação”.

O coeficiente ( $k_2$ ) é obtido de maneira empírica, e leva em consideração as tensões biaxiais as quais o material é submetido. Nesse processo existe a redução da capacidade resistente devido a formação de fissuras que causam danos e reduzem a aderência dos feixes. Não há, no entanto, perdas significativas em casos de carregamento à compressão transversal e tração longitudinal (HEGGER; VOSS, 2006).

O coeficiente ( $k_{0,\alpha}$ ) é resultado do ângulo de orientação das fibras em relação ao eixo da direção da tensão principal. À medida que esse ângulo aumenta, aumenta-se também a parcela da tensão transversal às fibras, ocorrendo o rompimento precoce dos filamentos. A partir desse cenário, por meio de ensaios em fibras carregadas em diferentes direções, Voss (2008) e Hegger et al. (2006) estimam o coeficiente conforme Equação 10:

$$k_{0,\alpha} = 1 - \frac{\alpha}{90^\circ} \quad (10)$$

Onde,

$\alpha$ : ângulo entre a direção da força de tração e o alinhamento dos fios.

Sabendo das incertezas do compósito, os coeficientes de segurança adotados para o momento resistente de cálculo, são ligeiramente maiores em comparação com os adotados em concreto armado. Nesse sentido, Hegger, Will e Schneider (2011), sugerem para o concreto têxtil o coeficiente de 1,5.

#### 4.2.2 Verificação para Força Cortante

Para verificação da capacidade resistente para a força cortante (cisalhamento) do concreto têxtil devemos analisar duas componentes, conforme Morassutti (2016) – embasado nos trabalhos de Voss (2008) e Kulas(2013). São elas a componente sem reforço transversal, a qual representa a contribuição do concreto, e a componente da resistência da analogia com treliças, que considera a resistência ao corte do reforço transversal e das bielas de compressão. Verifica-se a Equação 11.

$$V_{Rm} = V_{Rm,c} + V_{Rm,f} \quad (11)$$

Onde,

$V_{Rm,c}$ : componente referente à contribuição do concreto ao esforço cortante;

$V_{Rm,f}$ : componente referente à contribuição da malha têxtil destinada à absorção do esforço cortante;

Verifica-se que em elementos de fina espessura, como placas, passarelas, revestimentos, paredes sanduíches, não se faz uso da malha responsável pela absorção dos esforços de cisalhamento. Diante disso, Kulas (2013) aprimorou as equações propostas por Voss (2008) com procedimentos que necessitam de armadura transversal e elementos que não precisam de armadura transversal.

Para verificar o esforço cortante resistente de cálculo, em elementos sem malha de cisalhamento, de concreto têxtil e com malha longitudinal impregnada, Kulas (2013) propôs um modelo analítico baseado nas equações propostas por Voss (2008). A expressão utilizada é apresentada na Equação 12.

$$V_{Rm,c} = C_{Rm,c} \cdot \beta \cdot \eta_1 \cdot k \cdot (\rho_l^\delta \cdot \sigma_{tex} \cdot f_{cm})^{1/3} \cdot b_{s,eff} \cdot d \quad (12)$$

Sendo,

$C_{Rm,c}$  : 0,29 para placas ( $b/h \geq 4$  e  $h \leq 60$  mm);

$C_{Rm,c}$  : 0,01 para vigas de seção transversal I;

$\eta_1$  : fator de correção para concreto leve e tem valor igual a 1,0;

$k$ : fator de escala com “ $d$ ” em milímetros;

$f_{cm}$ : resistência média à compressão do concreto;

“ $d$ ”: altura útil;

$b_{s,eff}$ : largura da placa ou largura efetiva da alma (perfil I).

$$\beta = \begin{cases} \frac{3}{a/d} > 1,0 \text{ (para vigas em I)} \\ \left(\frac{7}{a/d}\right)^{1,5} \geq 1,0 \text{ (para placas)} \end{cases} ; \delta = \begin{cases} 2,0 \text{ (para placas } \frac{b}{h} \geq 4) \\ 1,0 \text{ (para vigas } \frac{b}{h} < 4) \end{cases} \quad (13)$$

Sendo,

“ $a$ ”: distância da carga concentrada até o apoio;

“ $d$ ”: altura útil;

“*b*”: largura da placa ou da viga;

“*h*”: altura da placa ou da viga.

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} \leq 2,0; \quad \rho_l = \frac{A_t}{A_c}; \quad \sigma_{tex} = \frac{M_{max}}{A_t \cdot z} \quad (14)$$

Sendo,

$A_t$ : área da seção transversal do reforço têxtil;

$A_c$ : área de concreto na seção transversal;

$M_{máx}$ : momento resistente máximo seção transversal;

“*z*”: braço de alavanca interno.

$$b_{s,eff} = b_w - n \cdot dt + 0,3 \cdot \sum_i h_{f,i} \quad (15)$$

Onde,

$b_{s,eff}$ : largura da placa ou largura efetiva da alma (perfil I);

$b_w$ : largura da alma para vigas seção I ou da base para lajes;

$n$ : número de diâmetros de reforço têxtil;

$dt$ : diâmetro dos fios;

$h_{f,i}$ : altura da mesa.

Segundo Araújo (2019, p. 63), “para esta situação, onde não há malha têxtil posicionada especificamente para absorção dos esforços cortantes, tem-se que  $V_{Rm} = V_{Rm,c}$ ”.

Sabendo das incertezas do compósito quanto à resistência ao cisalhamento e à flexão (item 4.2.1), Hegger, Will e Schneider (2011) propõem a utilização de um coeficiente de segurança igual a 1,5, superior ao utilizado no concreto armado convencional, por exemplo. Esse valor tem por objetivo abarcar a variabilidade de resultados na resistência efetiva do compósito e minimizar efeitos negativos.

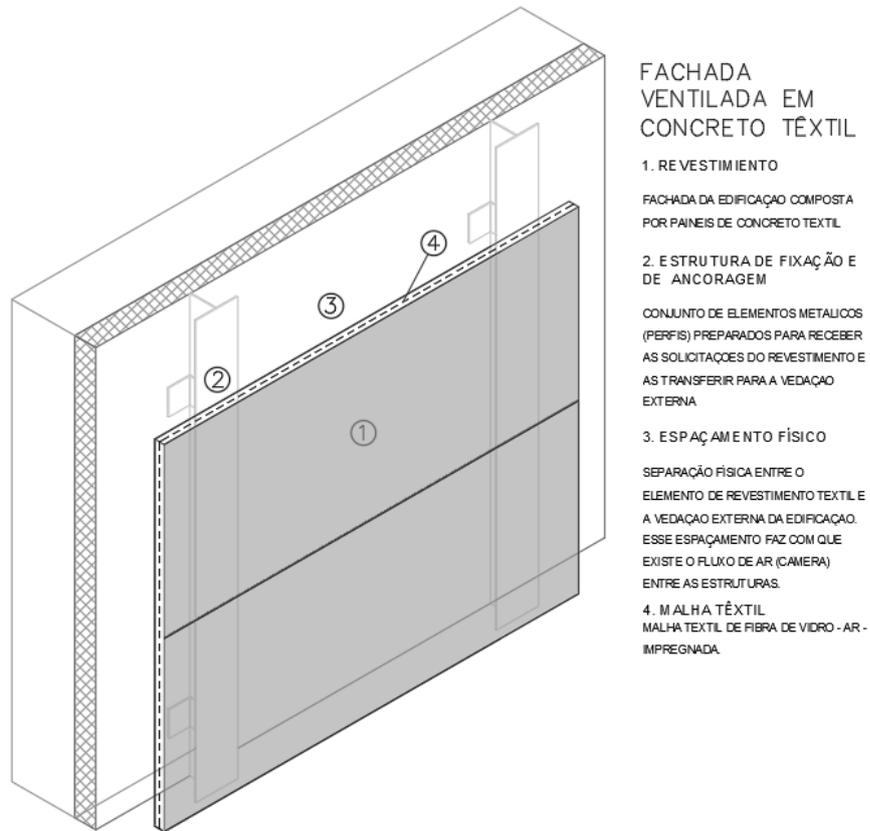
## 5 MODELAGEM DO PROBLEMA

Nesta seção serão apresentadas as dimensões de um modelo de elemento de revestimento reforçado com malha têxtil a partir de um problema idealizado, assim como as propriedades da matriz e da malha têxtil de referência. Serão apresentados também os carregamentos devido à ação do vento e do peso próprio do elemento de revestimento.

### 5.1 DEFINIÇÃO DO ELEMENTO DE REVESTIMENTO

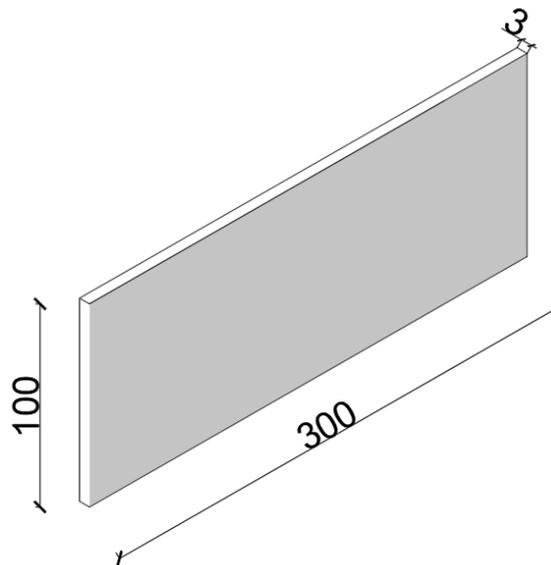
A partir das informações existentes nas literaturas sobre fachadas ventiladas em concreto têxtil, foi possível propor um modelo de fachada de concreto têxtil, adotando-se como reforço malha de fibra de vidro álcali-resistente (AR) impregnada com epóxi, cujas características são semelhantes aos elementos de revestimentos utilizados no laboratório do Instituto de Concreto Estrutural, Universidade de Aachen, Alemanha. As Figuras 33, 34 e 35 ilustram o modelo idealizado, assim como identificam as dimensões propostas e a altura útil das duas malhas têxteis, que é de 2 cm em relação às superfícies e possui cobrimento de 1 cm.

Figura 33 – Modelo idealizado de fachada ventilada em concreto têxtil



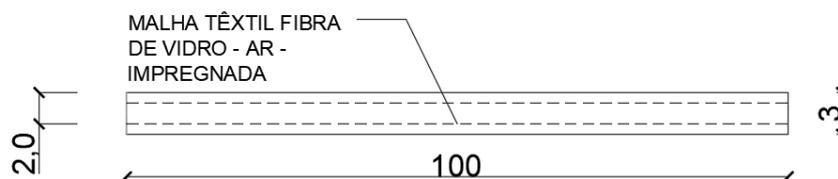
Fonte: elaborado pelo autor.

Figura 34 – Vista isométrica da placa com dimensões (cm)



Fonte: elaborado pelo autor.

Figura 35 – Vista lateral do elemento de revestimento com dimensões (cm)



Fonte: elaborado pelo autor.

O sistema de fixação, conforme visto no item 3.1, varia conforme a aplicabilidade, estética e comportamento mecânico do tipo de revestimento utilizado. Desta maneira, a subestrutura proposta se faz com perfis metálicos, do tipo coluna, na parte detrás do elemento de revestimento, destacado na Figura 33. A função desses perfis, que devem ser dimensionados pelo projetista de estruturas metálicas, é servir como apoio ao elemento da fachada têxtil, instalados paralelamente à altura do modelo idealizado, formando assim um modelo de viga biapoiada. A ligação entre o elemento de revestimento em concreto têxtil e os perfis metálicos neste modelo se dá através de selante estrutural de silicone, como é feito em fachadas ventiladas com placas cerâmicas de fina espessura ou com placas de vidro, conforme item 3.1. Os perfis têm como função, também, servir como base para fixação dos chumbadores que são inseridos na vedação externa da edificação e devem ser corretamente dimensionados pelo projetista de estruturas metálicas.

## 5.2 PROPRIEDADES DA MATRIZ E DO REFORÇO TÊXTIL

Os materiais adotados para a produção do concreto estão especificados na Tabela 2 e as propriedades do concreto fresco são apresentadas na Tabela 3. A matriz escolhida para o revestimento têxtil foi desenvolvida por Hegger et al. (2010) e utilizadas, também, no trabalho de Morassutti (2016).

Tabela 2 – Materiais utilizados na confecção do concreto têxtil

Materiais	Unidade	Quantidade
Cimento CEM II/A-LL 42,5 R (c)	kg/m <sup>3</sup>	450
Cinza Volante (f)	kg/m <sup>3</sup>	100
Metacaulim (k)	kg/m <sup>3</sup>	31,5
Aglomerante (c + f + k)	kg/m <sup>3</sup>	581,5
Areia (0-4 mm)	kg/m <sup>3</sup>	1457,4
Água	kg/m <sup>3</sup>	213,8
Micro esferas ocas <sup>4</sup>	kg/m <sup>3</sup>	3
a/c	-	0,41

Fonte: adaptado de MORASSUTI, 2016, p.62.

Tabela 3 – Propriedades do concreto fresco

Propriedades	Unidade	Valores
Quantidade de ar incorporado	% do vol	2,8
Massa específica do concreto	kg/m <sup>3</sup>	2256
Peso específico do concreto	kN/m <sup>3</sup>	22,13
Resistência à compressão (28d)	MPa	87,1
Resistência à flexão (28d)	MPa	10,7
Módulo de Young (28d)	MPa	33600

Fonte: adaptado de MORASSUTI, 2016, p.62.

As propriedades do reforço têxtil são de acordo com o estudo feito por Hegger e Voss (2008), e estão compiladas na Tabela 4.

---

<sup>4</sup> Utilizadas para melhorar a trabalhabilidade do concreto, uma vez que as micro esferas (comumente de vidro) podem rolar umas sobre as outras e sobre os outros componentes sólidos do concreto têxtil.

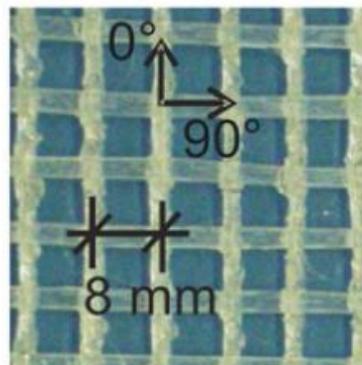
Tabela 4 – Propriedades malha têxtil fibra de vidro – AR impregnada

Nome	Material	Roving	Tipo de costura	Abertura 0°/90°	Área seção transversal 0°/90°	$f_{fil}$	$E_{fil}$	$\varepsilon_{max}$ (por mil)
(-)	(-)	(tex <sup>5</sup> )	(-)	(mm)	(mm <sup>2</sup> /m)	(MPa)	(MPa)	(por mil)
Fábrica 5	Fibra de Vidro – AR	2400	Chain <sup>6</sup>	8/8	105/105	1808	70000	25,8

Fonte: adaptado de HEGGER, VOSS, 2008, p.2052.

A malha têxtil de fibra de vidro álcali-resistente (AR) impregnada com epóxi é apresentada na Figura 36, possui direções definidas em 0° (vertical) e 90° (horizontal) e espaçamento entre fios de 8 mm. Esse último valor possibilita a correta passagem dos agregados em função de seus diâmetros máximos apresentados na Tabela 2. Os valores de tensão em ensaio de tração, modo de falha e o coeficiente de eficiência ( $k_1$ ) são apresentados na Tabela 5.

Figura 36 – Malha de fibra de vidro álcali-resistente (AR) impregnada com epóxi



Fonte: Hegger e Voss (2008, p. 2051)

<sup>5</sup> Trata-se de uma unidade utilizada para expressar a densidade linear de um elemento de têxtil (fibra, fio, filamento, feixe), representando a massa em gramas de um quilômetro do elemento.

<sup>6</sup> Esse padrão de costura refere-se a um tipo chamado de “pilar” em trabalhos nacionais. Ele tem maior rigidez à flexão e resistência ao deslocamento do que o padrão de costura do tipo “tricô”.

Tabela 5 – Valores de ensaio, coeficiente de eficiência e modo de falha

Nome (-)	Material (-)	$\sigma_{max}$ (MPa)	$k_1$ (-)	Modo de falha (-)
Fábrica 5	Fibra de Vidro – AR	1200	0,66	Separação/Divisão

Fonte: adaptado de HEGGER, VOSS, 2008, p.2052.

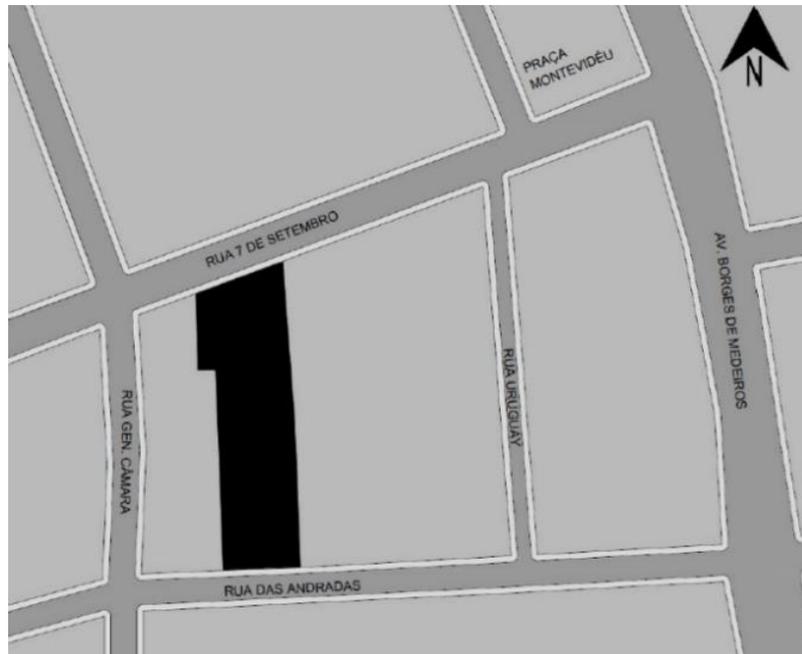
O coeficiente de eficiência  $k_1$  é obtido pela razão entre a tensão média máxima dos filamentos no compósito ( $\sigma_{max}$ ) e a resistência à tração do filamento ( $f_{fil}$ ).

### 5.3 CARACTERÍSTICAS DA EDIFICAÇÃO

Considerou-se uma edificação de referência para verificar as ações devidas ao vento, e assim realizar os procedimentos de verificação, adotando-se o modelo de fachada proposto e detalhado no item 5.1.

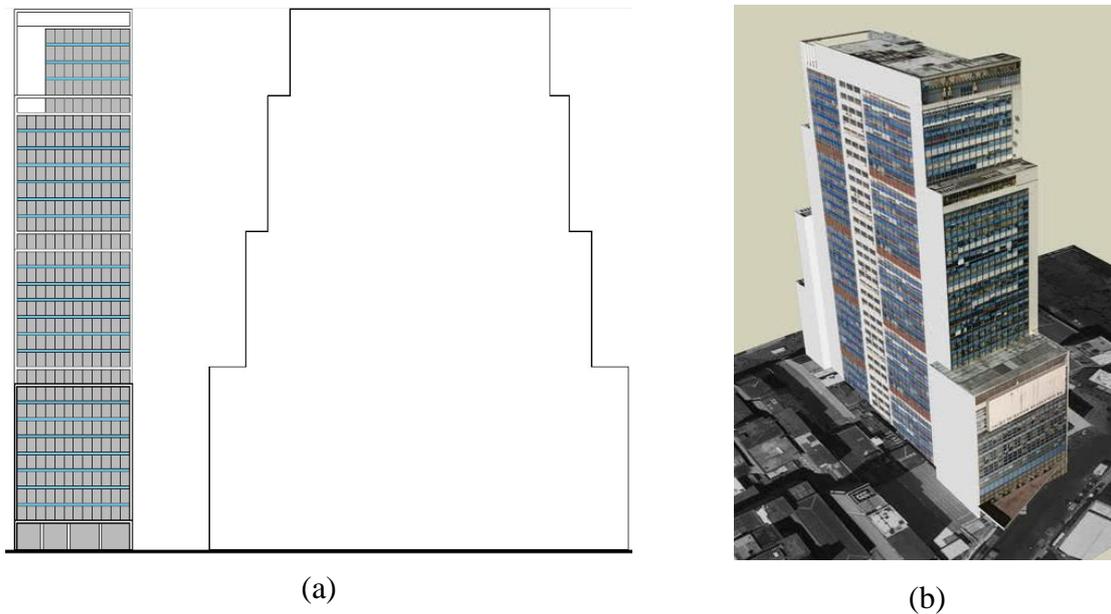
A edificação adotada foi inspirada no edifício Santa Cruz, localizado em Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil, Figura 37 e 38. A edificação é a maior em altura da cidade de Porto Alegre, sendo 107 metros em relação ao nível do solo, tendo 27,85 m de fachada voltada para a rua Sete de Setembro, e 24,15 m de fachada voltada para a rua dos Andradas.

Figura 37 – Localização Edifício Santa Cruz, Porto Alegre, Brasil.



Fonte: Brands (2014, p. 4)

Figura 38 – Vista frontal e lateral edifício Santa Cruz, Porto Alegre, Brasil.

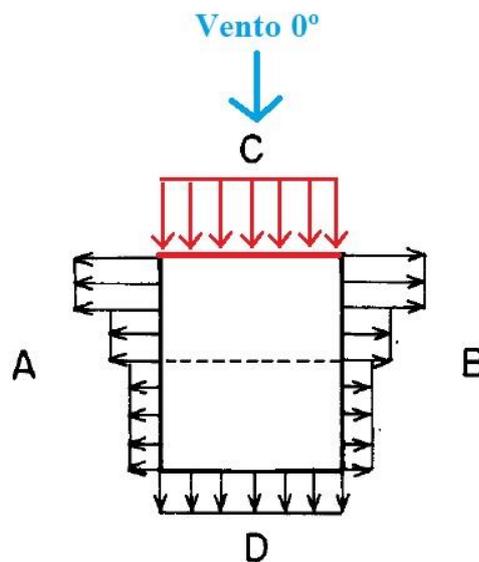


Fonte: (a) Brands (2014, p. 8) e (b) Penna (2014)

#### 5.4 CARREGAMENTO DEVIDO À AÇÃO DO VENTO

Conforme as diretrizes da NBR 6123 (1988), referenciadas no item 4.1.1, determinou-se o carregamento devido à ação do vento incidente na fachada de concreto têxtil. Considerado que o elemento de revestimento recebe a ação do vento vindo à barlavento (Figura 39), com ângulo de incidência a  $0^\circ$ , de sobrepressão (pressão efetiva acima da pressão atmosférica de referência, com sinal positivo).

Figura 39 – Cenário proposto para a fachada “C”



Fonte: elaborado pelo autor.

A partir da situação proposta e com o auxílio das equações apresentadas no item 4.1.1 chegou-se aos valores apresentados a seguir.

- Velocidade básica do vento ( $V_0$ ) de acordo com a Figura 5 : 46 m/s. Fator ( $S_1$ ) para terreno plano : 1,00. Fator ( $S_2$ ) para Categoria V, classe A: 1,06. Fator ( $S_3$ ) para grupo 2: 1,00.
- Velocidade característica ( $V_k$ ) de acordo com Equação 2: 48,57 m/s.
- Pressão dinâmica do vento ( $q$ ) de acordo com Equação 3: 1,446  $kN/m^2$ .

Para o coeficiente de pressão interna ( $c_{pi}$ ), utilizou-se o valor de um cenário onde ocorre uma das maiores soma vetoriais com coeficiente de pressão e forma externo ( $C_e$ ). A NBR 6123 (1988), determina que para o caso de quatro faces igualmente permeáveis de uma edificação, o ( $c_{pi}$ ) deve ser igual a  $-0,3$  ou  $0$ , devendo ser considerado o valor mais nocivo na soma vetorial.

$C_e$ : 0,8

$c_{pi}$ : -0,3

Utilizando-se a Equação 5, chega-se a pressão dinâmica efetiva em sobrepressão ( $Q$ ):  $1,591 \text{ kN/m}^2$ . A pressão dinâmica efetiva deve ser distribuída ao longo da maior dimensão do modelo proposto de concreto têxtil. Desta maneira, chega-se à carga distribuída  $W_d = 1,591 \text{ kN/m}$ .

A Tabela 6 apresenta os parâmetros utilizados para a obtenção da carga distribuída devido à ação do vento em sobrepressão.

Tabela 6 – Resumo dos parâmetros para a carga distribuída em função da ação do vento

Z (m)	$S_1$	$S_2$	$V_k$ (m/s)	$q$ (Pa)	$q \cdot  C_e - c_{pi} $ (kN/m <sup>2</sup> )	$q \cdot  C_e - c_{pi}  \cdot h$ (kN/m)
107	1,0	1,06	48,57	1446,29	1,591	1,591

Fonte: elaborado pelo autor.

## 5.5 CARREGAMENTO DEVIDO AO PESO PRÓPRIO

Para o cálculo do peso próprio do componente têxtil da fachada utilizou-se a Equação 6, cuja expressão é em função do peso específico do concreto têxtil e suas dimensões.

Considerando as dimensões propostas de acordo com a Figura 34 e o peso específico para o compósito considerado  $\gamma_{tex} = 22,13 \text{ kN/m}^3$ . Chegou-se ao valor de  $P = 2,0 \text{ kN}$ , que distribuído ao longo da largura do elemento da fachada, resulta  $W_p = 0,67 \text{ kN/m}$ .

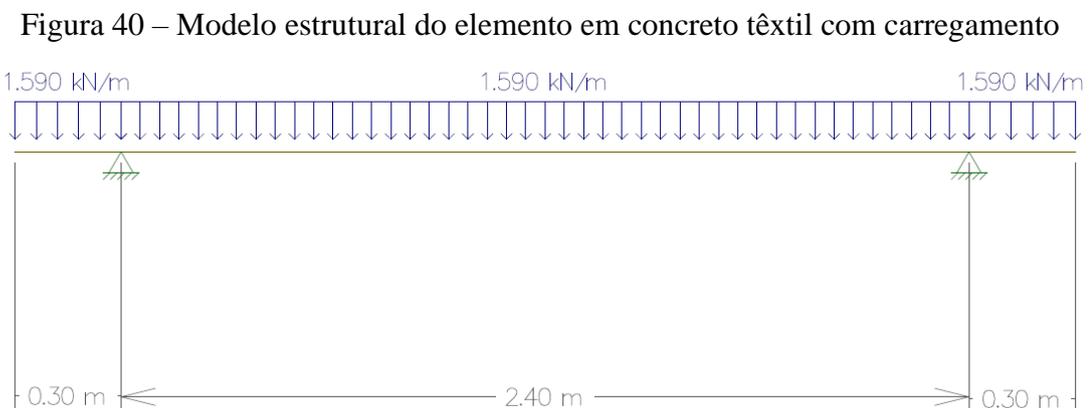
## 6 RESULTADOS

Esta seção apresenta as solicitações impostas no elemento da fachada ventilada em concreto têxtil devido à pressão dinâmica do vento e ao seu peso próprio. Com as solicitações apresentadas, é calculada a força resistente à tração do reforço têxtil, o momento resistente de cálculo e a capacidade da força resistente ao cortante a partir das referências literárias e equações apresentadas no item 4.2.

### 6.1 VERIFICAÇÃO DO ELEMENTO DE FACHADA CONSIDERANDO AÇÃO DO VENTO

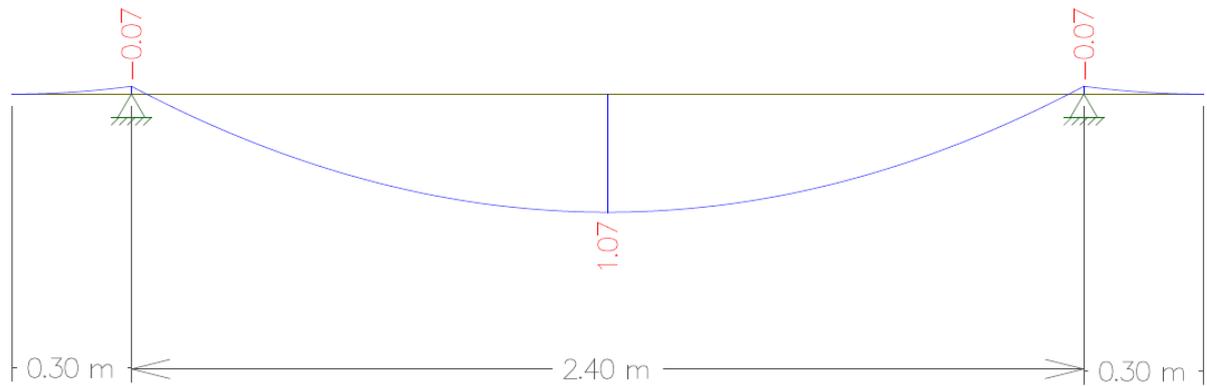
#### 6.1.1 Verificação à Flexão Simples

O modelo estrutural do elemento de fachada em concreto têxtil foi analisado no *software* Ftool, de acordo com a carga distribuída devido à ação do vento e as dimensões propostas, apresentada na Figura 40. O *software* representa o diagrama de momento fletor, Figura 41, cujo valor máximo é  $1,07 \text{ kN}$ , localizado na metade do vão de  $2,40 \text{ m}$ . Esse valor, comumente, é chamado de momento solicitante ( $M_k$ ), e deve ser menor que o valor do momento resistente de cálculo ( $M_u$ ).



Fonte: elaborado pelo autor

Figura 41 – Diagrama de momento fletor na placa (em kN.m)



Fonte: elaborado pelo autor.

Diante das equações propostas por Hegger e Voss (2008), item 4.2.1, é possível identificar os valores da força resistente à tração do reforço têxtil impregnado, momento fletor resistente e, por conseguinte, a área de reforço têxtil necessária.

Definindo os coeficientes da Equação 9, conforme Tabela 7, chega-se ao valor de  $F_{ctu} = 125,29 \text{ kN}$ .

Tabela 7 – Coeficientes, propriedades e parâmetros para o cálculo de  $F_{ctu}$ 

Coeficientes e propriedades	Valores	Unidades
$k_1$	0,66	
$k_2$	1	
$k_{0,\alpha}$	1	
$A_t$	1,05	cm <sup>2</sup> /m
$A_{t,st}$	1,05	cm <sup>2</sup>
$f_t$	1808	MPa

Fonte: elaborado pelo autor.

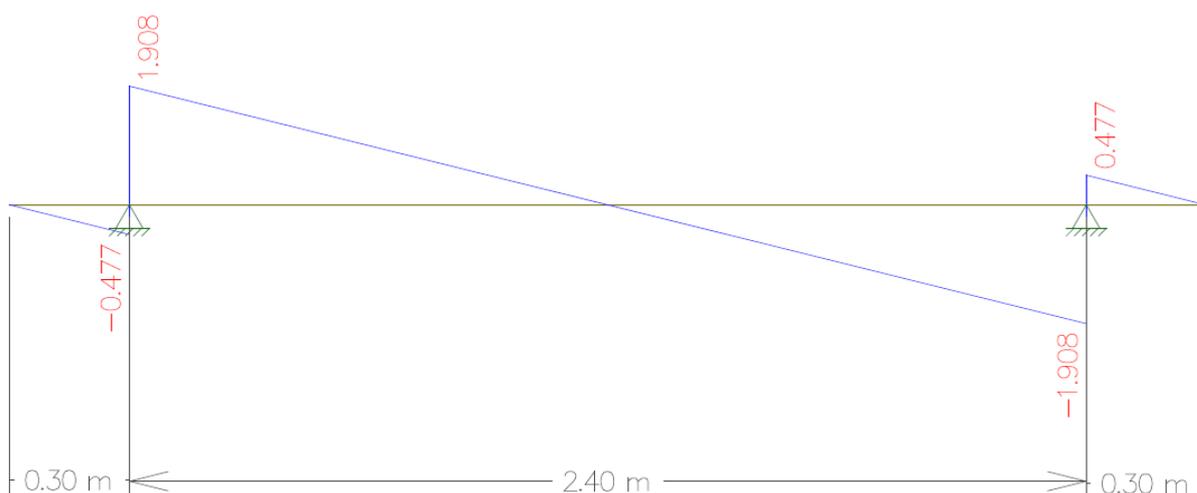
Identificado o valor da resistência à tração do reforço têxtil e, com o auxílio da Equação 7, é possível encontrar o valor do momento resistente. Utilizou-se na Equação 7, o valor do fator de carregamento à flexão simples,  $k_{fl,p} = 1$  e o braço de alavanca interno  $z = 2,0 \text{ cm}$ .

Ainda se utilizou o fator de segurança,  $\gamma_{tex} = 1,5$  e chegou-se ao valor de  $M_u = 1,671 \text{ kN.m}$ . Verifica-se que o momento solicitante característico é menor que o momento resistente do elemento da fachada ventilada.

### 6.1.2 Verificação ao Cisalhamento (Força Cortante)

O *software* Ftool apresenta o diagrama do esforço cortante, cujo valor máximo é  $1,908 \text{ kN}$ , Figura 42. Esse valor, comumente, é chamado de esforço cortante característico, afim de identificar a solicitação imposta pelos carregamentos do projeto.

Figura 42 – Diagrama de esforço cortante (em kN)



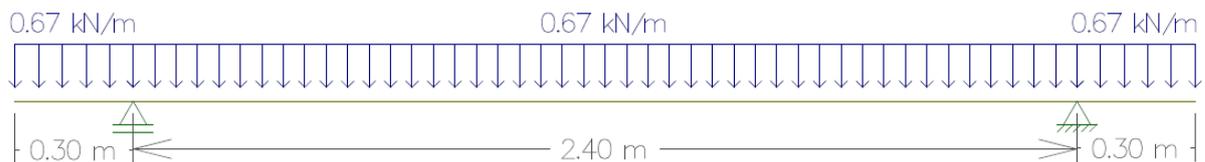
Fonte: elaborado pelo autor.

Diante das equações propostas por Kulas (2013), item 4.2.2, para o cálculo da força cortante resistente, foi possível identificar o valor para o modelo adotado em concreto têxtil com malha impregnada. O valor calculado da capacidade resistente à força cortante do concreto têxtil foi de  $V_{Rm,c} = 23,65 \text{ kN}$ , considerando o fator de segurança  $\gamma_{tex} = 1,5$ , chega-se a um valor de  $V_{Rm,c} = V_{Rm} = 15,77 \text{ kN}$ . Verifica-se que a capacidade resistente à força cortante é maior que o esforço cortante característico.

## 6.2 REAÇÕES VINCULARES PARA VERIFICAÇÃO DO SISTEMA DE SUPORTE

A reação imposta pelo modelo elaborado de concreto têxtil aos clips inferiores (sustentadores), em caso de falha do selante estrutural de silicone nos perfis metálicos, está diretamente ligada à carga distribuída devido ao peso próprio do elemento de concreto têxtil. A carga distribuída devido ao peso próprio, conforme item 5.5 é de  $0,67 \text{ kN/m}$ , ao longo dos  $3,00 \text{ m}$  de largura. Desta maneira, elaborou-se o modelo estrutural no *software* Ftool, Figura 43.

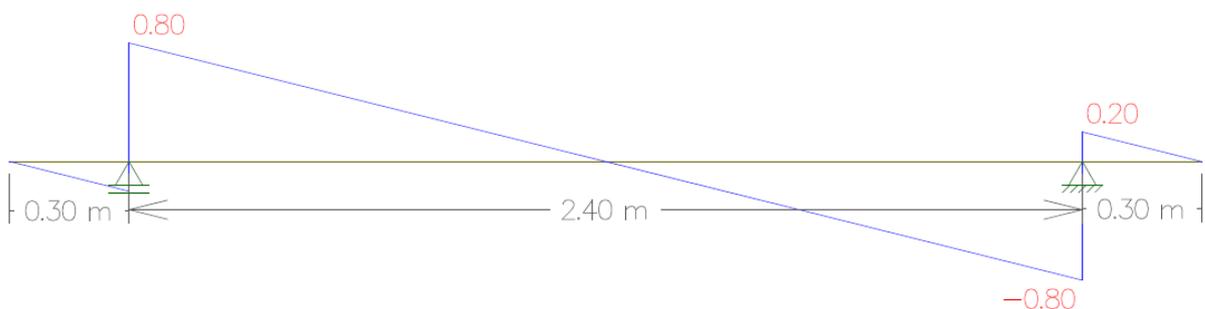
Figura 43 – Carga distribuída devido ao peso próprio do modelo em têxtil



Fonte: elaborado pelo autor.

A reação em cada um dos dois clips inferiores de sustentação é de  $0,80 \text{ kN}$ , conforme diagrama de esforço cortante apresentado na Figura 44.

Figura 44 – Diagrama de esforço cortante devido à carga distribuída (em Kn)

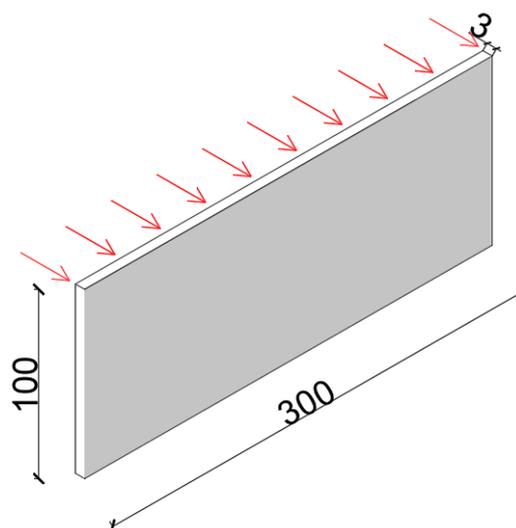


Fonte: elaborado pelo autor.

Os clips superiores têm como função evitar o tombamento do elemento da fachada em concreto têxtil em ventos de sucção, em caso de falha do selante estrutural. Para verificar a força necessária para anular o efeito de tombamento, em cada clip superior, é necessário verificar a pressão dinâmica do vento que age na parte traseira do elemento da fachada ventilada.

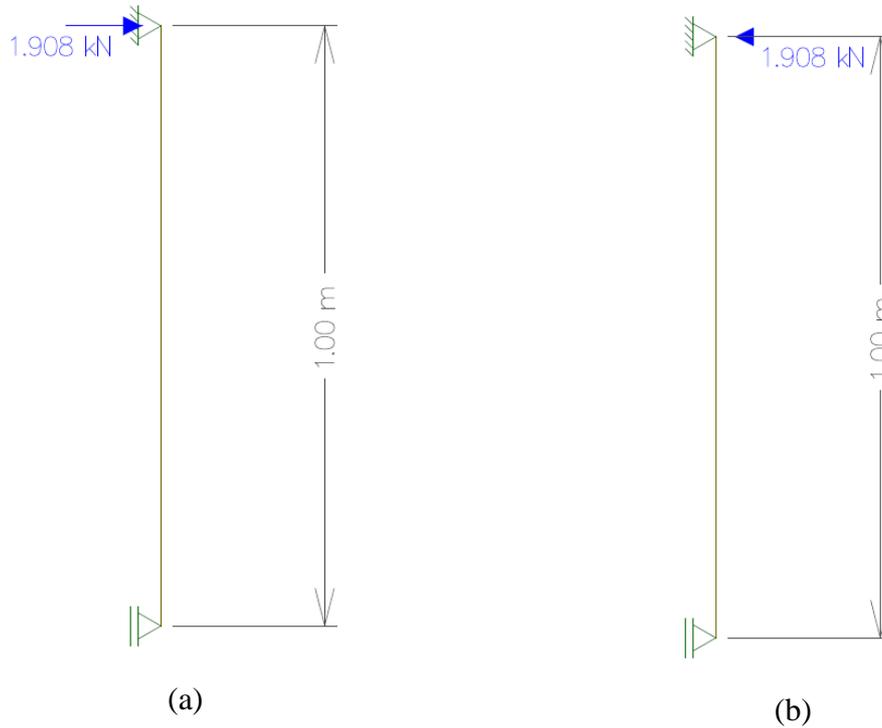
Supondo que a carga distribuída devido ao vento de sucção tenha o mesmo valor do vento de sobrepressão ( $1,590 \text{ kN/m}$ ), porém com o sentido oposto, agindo diretamente na aresta superior, conforme Figura 45, verifica-se a força de arrancamento, conforme Figura 46 (a). De maneira a anular o efeito dessa força e evitar o tombamento do elemento de concreto têxtil é necessário que os clips superiores tenham resistência ao arracamento de, no mínimo,  $1,908 \text{ kN}$  cada um, conforme Figura 46 (b).

Figura 45 - Vento de sucção agindo no sentido de arrancamento



Fonte: elaborado pelo autor.

Figura 46 - Força de arrancamento (a) e força resistente mínima ao arrancamento (b)



Fonte: elaborado pelo autor.

Cabe ao projetista de estruturas metálicas verificar os perfis, chumbadores e clips metálicos que devam resistir, no mínimo, aos esforços impostos pelas solicitações do modelo e demais componentes inerentes ao sistema de fixação.

### 6.3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos na verificação do modelo proposto neste trabalho, como o momento resistente e resistência ao cisalhamento, itens 6.1.1 e 6.1.2 respectivamente, podem ser comparados, à título de ordem de grandeza dos valores, aos resultados obtidos por Kulas (2013) em sua tese de doutorado.

Verifica-se a comparação entre os valores de ensaio de Kulas (2013) e os valores calculados nesse trabalho, conforme Tabela 8.

Tabela 8 – Comparação resultados dos modelos

Propriedades	Kulas (2013)	Autor (2022)	Unidade
Momento resistente	0,67	1,671	kN.m
Cortante resistente	3,37	15,77	kN

Fonte: elaborado pelo autor.

Os valores menores dos esforços nos ensaios dos modelos de Kulas (2013) se devem a alguns fatores como: dimensões diferentes dos elementos ensaiados; utilização de têxtil com resistência à tração menor que a utilizada neste trabalho; condições de contorno (carga pontual utilizada no ensaio de flexão a 4 apoios) e demais variáveis não controladas.

Verifica-se também que as dimensões e a espessura do elemento de revestimento em concreto têxtil elaborado, item 5.1, assim como as propriedades da matriz e da malha têxtil escolhidas, item 5.2, resultam em valores de resistência maiores, quando calculados, em relação aos valores solicitados pela ação do vento e do peso próprio.

## 7 CONCLUSÃO

As vantagens da utilização do concreto têxtil em fachadas ventiladas são significativas, tanto por conta da leveza do compósito quanto por conta da sua resistência e durabilidade. Além de construir elementos com seções esbeltas, pode-se também atingir boas curvaturas com os elementos para fins arquitetônicos, as quais não seriam possíveis com elementos de revestimento de cerâmica e de pedra natural. O menor consumo de insumos para a sua elaboração - em comparação ao concreto armado convencional - é um ponto positivo para atingir uma construção mais sustentável e com menor impacto ambiental.

Ao se utilizar a malha têxtil, constatou-se que o compósito pode ter menor cobrimento em relação a elementos de concreto armado convencional, em virtude da malha têxtil de vidro álcali-resistente (AR) não sofrer corrosão. Ainda em relação à corrosão, o têxtil está apto a ser utilizado em ambientes com atmosfera agressiva, como ambientes marítimos e estruturas em contato com reagentes químicos. Constatou-se a importância do processo de impregnação da malha têxtil, com intuito de tornar a seção transversal dos fios mais homogênea e assim aumentar sua resistência à tração, bem como melhorar sua aderência ao concreto.

Apesar de verificar poucas edificações na literatura que utilizam a fachadas ventilada em concreto têxtil, foi possível constatar a boa resposta do modelo para resistência à flexão e ao cisalhamento sob as solicitações impostas pela ação do vento e pelo peso próprio do modelo adotado. Verificou-se conforme as equações propostas por Kulas (2013) os valores de resistências maiores que os valores característicos. Ainda por ser um compósito em fase de estudos, com artigos em sua maioria voltados para utilização em pontes e passarelas, pode-se aprimorar os resultados encontrados nesse trabalho ou validá-los conforme outras análises a serem feitas.

## REFERÊNCIAS

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15846**: Rochas para revestimento – Projeto, execução e inspeção de revestimento de fachadas de edificações com placas fixadas por insertos metálicos, Rio de Janeiro, 2010.

ARAÚJO, M. de. **Simulação pelo método dos elementos finitos de peças em concreto têxtil**. Dissertação ao curso de Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 220 páginas. 2019.

ANTONIAZZI, R. de. **Fachadas De Revestimento Não Aderido Composto Por Rochas Ornamentais**: Descrição, Execução e Dimensionamento. Trabalho de conclusão do curso de Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 147 páginas. 2019.

BAUINGENIEUR24. **Brücke aus Textilbeton quert die Rottach in Kempten**. [S.l], 2007 Disponível em: <<http://www.bauingenieur24.de/url/700/1892>>.

BRAMESHUBER, W. et al. 4 Concrete/matrix. In. BRAMESHUBER, W. **Textile Reinforced Concrete – State-of-the-Art Report**. Bagnaux, France: RILEM Publications SARL, 2006. P. 29-56.

CAMPOS, K. de. **Desenvolvimento de Sistema de Fixação de Fachada Ventilada Com Porcelanato de Fina Espessura**. Dissertação ao curso de Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Catarina. 187 páginas. 2011.

CARNEIRO, L. de. **O sistema de fachadas ventiladas**: Análises e especificações. Trabalho de conclusão do curso de Engenharia Civil. Universidade Federal de Minas Gerais, 2015.

DALAZEN, C. De. **Reforço à flexão de vigas em concreto armado com a utilização de argamassa reforçada com Têxteis de carbono e de vidro**. Dissertação ao curso de Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 142 páginas. 2021.

DENARDI, A. De. **Concreto têxtil**: Uma revisão bibliográfica sobre desenvolvimentos, aplicações e perspectivas de estudos e empregos no Brasil. Trabalho de conclusão do curso de Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 108 páginas. 2016.

DIBt. **Verfahren zur Verstärkung von Stahlbeton mit TUDALIT (Textilbewehrter Beton)**, 1ª ed.; Aprovada número Z-31.10-182; DIBt: Berlin, Alemanha, 2014; revisão: 2016 e 2021; designação atual: CARBOrefit – Verfahren zur Verstärkung von Stahlbeton mit Carbonbeton, válida até 01/06/2026.

ELIANE. Elianetec. **Catálogo Fachadas Ventiladas, 2022**. Disponível em: <<https://elianetec.com/catalogos>>

GIESE, A. de. **Utilização de argamassa reforçada com têxtil de fibra de vidro álcali resistente para reforço à flexão de vigas de concreto armado**. Dissertação ao curso de engenharia civil. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 190 páginas. 2019.

HEGGER, J. et al. **Dimensioning of TRC with application to ventilated façade systems** Conference: International RILEM Conference on Material Science. September, 2010.

HEGGER, J.; VOSS, S. **Investigations on the bearing behaviour and application potential of textile reinforced concrete**. v. 30, p. 2050–2056, 2008.

HEGGER, J. et al. **Concrete Structures: the Challenge of Creativity**. Symposium 2004 – April 26-28 – Avignon, France.

HEGGER, J. et al. **Realization of TRC façades with impregnated AR-glass textiles**. Vol 466, p. 121-130, Trans Tech Publications, Switzerland, 2011. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.466.121>>

HEGGER, J. et al. **6.2 Mechanical behaviour of textile reinforced concrete**. State-of-the-Art Report of RILEM Technical Committee 201-TRC: Textile Reinforced Concrete, p. 133–183, 2006.

HEGGER, J.; VOSS, S. **Dimensioning of Textile Reinforced Concrete Structures**. 1st International Conference Textile Reinforced Concrete (ICTRC). p. 151–160, 2006.

HEGGER, J. et al. **Structural behavior of a lightweight, textile-reinforced concrete barrel vault shell**, p. 1-10, 2017, Germany. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2017.03.069>

HEGGER, J.; WILL, N.; SCHNEIDER, M. **Textilbeton: Tragverhalten – Bemessung – Sicherheit**. (M. Curbach, R. Ortlepp, Eds.) Textilbeton in Theorie und Praxis: 6th Colloquium on Textile Reinforced Structures (CTRS6). **Anais...** Berlin: Dresden: Technische Universität, 2011.

HENN. **Henn**. Disponível em: <https://www.henn.com/en/project/c3-cube-tu-dresden>. Acesso em: 10 setembro, 2022.

KULAS, C. de. **Zum Tragverhalten getränkter textiler Bewehrungselemente für Betonbauteile**. Aachen: RWTH Aachen University, 2013.

KULAS, C. de. **Actual applications and potential of textile-reinforced concrete**. GRC 2015 Dubai. Dubai, 2015.

MOREIRAS, S. de. **Estudo Sobre o Revestimento de Fachadas de Edifícios Altos Com Placas de Granitos Ornamentais**. Dissertação apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo. 80 páginas. 2005.

MORASSUTTI, D. De. **Passarela em Concreto Armado e Concreto Têxtil: Comparativo entre metodologias de dimensionamento**. Trabalho de conclusão do curso de Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 87 páginas. 2016.

NORA, J. De. **Análise experimental do Concreto Têxtil como reforço à flexão de vigas de concreto armado**. Trabalho de conclusão do curso de Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 118 páginas. 2018.

REGINATO, L. De. **Avaliação experimental dos efeitos da Corrosão em concreto armado: diagnóstico e Reabilitação com UHPFRC e concreto têxtil**. Tese de Doutorado ao curso de Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 191 páginas. 2020.

SOLIDIAN. **Solidian**. Disponível em: <<https://solidian.com/category/structural-engineering/>>. Acesso em: 12 setembro, 2022

STRUCTURAE. **Structurae-Lautlingen Footbridge**. Disponível em: <<https://structurae.net/en/media/210834-lautlingen-footbridge>>. Acesso em: 22 agosto, 2022.

UT-DRESDEN. **Universidade Técnica de Dresden**. Disponível em: <<https://tu-dresden.de/>>. Acesso em: 22 agosto, 2022.

VOSS, S.: **Ingenieurmodelle zum tragverhalten von textilbewehrtem Beton**. 246 f. Tese de Doutorado, Aachen: RWTH Aachen University, 2008.

WALTHER, T.; SCHEERER, S. **TRC for repair of wastewater structures: textile reinforced concrete work at the crown in the sewer**, 2015. Disponível em: <[https://tu-dresden.de/bu/bauingenieurwesen/imb/forschung/Forschungsfelder/TRC-C3/aeltere-projekte/Kanalsanierung?set\\_language=en#section-2](https://tu-dresden.de/bu/bauingenieurwesen/imb/forschung/Forschungsfelder/TRC-C3/aeltere-projekte/Kanalsanierung?set_language=en#section-2)>. Acesso em: 12 de setembro, 2022.