

INSTITUTO DE TECNOLOGIA PARA O DESENVOLVIMENTO

NILSON THADEU NOVELLO

**DESENVOLVIMENTO DE UM PARAFUSO PARA FIXAÇÃO DE
TELHAS EM TERÇAS METÁLICAS FINAS**

Curitiba
2020

NILSON THADEU NOVELLO

**DESENVOLVIMENTO DE UM PARAFUSO PARA FIXAÇÃO DE
TELHAS EM TERÇAS METÁLICAS FINAS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento de Tecnologia, Área de Concentração Tecnologias em Materiais, do Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento, em parceria com o Instituto de Engenharia do Paraná, como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre em Desenvolvimento de Tecnologia.

Orientador: Prof. Dr. Luiz Alkimin de Lacerda

Curitiba
2020

THADEU NOVELLO, NILSON
DESENVOLVIMENTO DE UM PARAFUSO PARA FIXAÇÃO
DE TELHAS EM TERÇAS METÁLICAS FINAS / NILSON THADEU
NOVELLO, LACTEC. -- Curitiba, 2020.
92 f.

Orientador: LUIZ ALKIMIN DE LACERDA.
Dissertação (Mestrado) - Instituto de Tecnologia para
O Desenvolvimento – Programa de Pós-graduação
Em Desenvolvimento de Tecnologia, LACTEC, 2020.

1. aço. 2. parafuso autoatarraxante. 3. rosca de parafuso. 4.
telha. 5. falhas em conexões. I. ALKIMIN DE LACERDA, LUIZ. II.
Título.

TERMO DE APROVAÇÃO

NILSON THADEU NOVELLO

DESENVOLVIMENTO DE UM PARAFUSO PARA FIXAÇÃO DE TELHAS EM TERÇAS METÁLICAS FINAS

Trabalho de conclusão de curso aprovado como requisito para obtenção do grau de Mestre, no Mestrado Profissional do Programa de Pós-graduação em Desenvolvimento de Tecnologia, realização do Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento (LACTEC) em parceria com o Instituto de Engenharia do Paraná (IEP), pela seguinte banca examinadora:



ORIENTADOR(A): Prof.^(a) Dr.^(a) Luiz Alkimin de Lacerda
Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento (LACTEC)



Prof.^(a) Dr.^(a) Mariana D'Orey Gaivão Portella
Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento (LACTEC)



Prof.^(a) Dr.^(a) Rodrigo Moraes da Silveira
Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento (LACTEC)



Prof.^(a) Dr.^(a) Amanda Jarek
Universidade Federal do Paraná (UFPR)

Curitiba, 17 de fevereiro de 2020.

Dedico esta dissertação a Deus,
aos meus pais, minha esposa e meus filhos.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer ao Professor Dr. Luiz Alkimin de Lacerda pela disposição e motivação em orientar essa dissertação.

Ao Lactec, por prover infraestrutura para o desenvolvimento deste trabalho.

Aos técnicos do Centro Universitário Univel, pelo auxílio para realização dos ensaios do presente trabalho.

RESUMO

Atualmente, o sistema mais aplicado na fixação de telhas em terças de perfis leves de aço consiste na fixação em onda baixa através de parafusos autoatarraxantes. As principais vantagens dessa forma de fixação consistem na agilidade da execução do projeto e baixo custo, entretanto, a desvantagem da fixação em onda baixa é a possibilidade de entrada de água pluvial, já que a água flui preferencialmente nessa região da telha. Nesse contexto, o objeto de estudo nesse trabalho foi o desenvolvimento de um novo parafuso, que possibilitasse a fixação em onda alta com a mesma agilidade e custo próximo ao de fixação em onda baixa. O novo parafuso proposto possui o mesmo diâmetro menor de parafusos comerciais, entretanto, a altura dos filetes é quatro vezes maior que os de parafusos comerciais. Para se analisar a viabilidade do presente projeto, testes de resistência ao arrancamento estático (*pull-out*) foram realizados. Ao todo, 22 ensaios de arrancamento foram realizados: 06 utilizando chapas de 0,43 mm de espessura, 10 usando chapas de 0,50 mm de espessura e 06 utilizando chapas de 0,65 mm de espessura. Comparando-se os resultados de resistência ao *pull-out* com parafusos comerciais, o parafuso proposto mostrou maiores resistências para as chapas de 0,50 mm (entre 16,6% e 54,7%) e 0,65 mm (entre 34,6% e 82,2%). Assim, mostrou-se que o novo parafuso apresenta maior resistência que os parafusos comerciais, com a vantagem de não precisar utilizar calço nestes parafusos para onda alta. Além da redução de custos para a execução dos projetos, o que se espera é que ocorra menor possibilidade de infiltrações.

Palavras-chave: aço, parafuso autoatarraxante, rosca de parafuso, telha, falhas em conexões de parafuso.

ABSTRACT

Currently, the most widely applied system to install profiled steel roof claddings is to fasten self-tapping screws (tek screws) in valley fixing (plan). The main advantages of this fasten type is speed in execution of project and low cost, however, the main disadvantage of this fasten manner is the higher probability of infiltration throughout the cladding, as water flows preferentially into valley regions. In this context, the focus of this work was the development of a new screw, which allowed fasten in high wave regions (crest fixing) with the same agility and cost. The new screw has the same smaller diameter of commercial screws, nonetheless, the thread is four times larger than commercial screws. To analyze applicability of the present project, static pull-out strength tests were performed. In all, 22 tests were performed: 06 using steel sheets of 0.43 mm, 10 of 0.50 mm and finally 06 using steel sheets of 0.65 mm. Comparing pull-out strength of new screw with commercial ones, the developed screw showed higher values of pull-out strength for 0.50 mm (from 16.6 % to 54.7%) and 0.65 mm metal sheets (from 34,6% to 82,2%). Thus, it has been shown that the new screw has higher strength than commercial screws, with the advantage of not using eaves fillers in those screws for crest fixing. In addition to reducing costs for project implementation, it is expected that there will be less possibility of infiltration.

Keywords: steel; self-tapping screws; screw thread; steel roof claddings; failures in screw connections.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1.1 – Sistema típico de fixação da cobertura	15
FIGURA 1.2 – Ilustração da fixação de uma telha convencional trapezoidal em onda baixa	17
FIGURA 1.3 – Sistema de fixação: (a) Características do parafuso autoatarraxante e (b) Influência dos torques nas arruelas de vedação	17
FIGURA 1.4 – Ilustração da fixação de uma telha termoacústica trapezoidal em onda alta	18
FIGURA 1.5 – Sistema de fixação em onda alta de telhas convencionais: (a) Ilustração de calços usados, (b) Ilustração de parafusos para essa aplicação e (c) Aplicação para fixação da telha na terça	18
FIGURA 1.6 – Isopletras de velocidade básica (em m/s)	20
FIGURA 2.1 – Tipos de parafusos autoatarraxantes: (a) Representação esquemática da diferença entre cortador e conformador de rosca, (b) Exemplo de fixação de um cortador de rosca e (c) Exemplo de fixação de um conformador de rosca	25
FIGURA 2.2 – Principais tipos de pontas de parafusos autoatarraxantes	26
FIGURA 2.3 – Terminologia básica de roscas de parafusos	28
FIGURA 2.4 – Classificação de roscas	28
FIGURA 2.5 – Ilustração dos padrões normativos de roscas triangulares: (a) Sistema métrico e americano e (b) Sistema <i>whitworth</i>	29
FIGURA 2.6 – Dimensões básicas da rosca métrica normal	30
FIGURA 2.7 – Relação entre dimensões básicas da rosca métrica normal	31
FIGURA 2.8 – Modos de falhas mecânicas em fixações com carregamento de tração	34
FIGURA 2.9 – Diferença entre uma chapa de (a) Galvalume® e (b) galvanizada	39
FIGURA 2.10 – Ilustração de como o torque excessivo pode provocar pontos críticos para ocorrência de corrosão	40
FIGURA 2.11 – Exemplo de corrosão galvânica em uma telha de aço com pintura de proteção	41

FIGURA 3.1 – Parafuso utilizado em coberturas atuais (marca Hard®)	43
FIGURA 3.2 – Modelo do parafuso proposto nessa dissertação	43
FIGURA 3.3 – Diferença na fixação do (a) Sistema atual e (b) Sistema proposto	43
FIGURA 3.4 – Ilustração do sistema de fixação proposto em onda alta: (a) detalhe do sistema de fixação proporcionado pelo filete maior do parafuso	44
FIGURA 3.5 – Protótipo do parafuso proposto nessa dissertação	44
FIGURA 3.6 – Protótipo da rosca do parafuso proposto e do parafuso comercial utilizados no ensaio de <i>pull-out</i>	45
FIGURA 3.7 – Exemplo de elemento montado para ensaio	46
FIGURA 3.8 – Chapas usadas no ensaio	47
FIGURA 3.9 – Elementos de apoio da chapa	48
FIGURA 3.10 – Chapas e elementos usados	48
FIGURA 3.11 – Elemento montado para ensaio de <i>pull-out</i>	49
FIGURA 3.12 – Sistema de aquisição de dados do ensaio de <i>pull-out</i>	50
FIGURA 3.13 – Deslocamentos máximos apresentados na Tabela C.1 da ABNT NBR 8800:2006	52
FIGURA 4.1 – Elemento montado em ensaio	55
FIGURA 4.2 – Processo de falha da terça durante o ensaio de <i>pull-out</i>	56
FIGURA 4.3 – <i>Box-plot</i> para os dados de resistência ao <i>pull-out</i> das chapas de 0,43 mm, 0,50 mm e 0,65 mm	57
FIGURA 4.4 – Tipos de ponta encontrada em parafusos fixadores de telhas da marca Hard®	60
FIGURA 4.5 – Regressão linear entre os 5 pontos de resistência <i>pull-out</i> para TCP1 apresentados na TABELA 4.7	61

LISTA DE TABELAS

TABELA 2.1 – Classificação dos parafusos autoatarraxantes	24
TABELA 3.1 – Descrição das cargas consideradas no desenvolvimento do projeto	53
TABELA 3.2 – Descrição dos materiais considerados no desenvolvimento do projeto	54
TABELA 4.1 – Carga (N) antes do escoamento do contato terça-telha usando chapa de 0,43 mm	56
TABELA 4.2 – Teste de normalidade para os dados da chapa de 0,43 mm	57
TABELA 4.3 – Carga (N) antes do escoamento do contato terça-telha usando chapa de 0,50 mm	58
TABELA 4.4 – Teste de normalidade para os dados da chapa de 0,50 mm	58
TABELA 4.5 – Carga (N) antes do escoamento do contato terça-telha usando chapa de 0,65 mm	59
TABELA 4.6 – Teste de normalidade para os dados da chapa de 0,65 mm	59
TABELA 4.7 – Resistência ao <i>pull-out</i> para diferentes espessuras de terça-telha	61
TABELA 4.8 – ANOVA para a regressão linear proposta na Equação 5.1	62
TABELA 4.9 – ANOVA para a regressão linear proposta na Equação 5.1	63
TABELA 4.10 – Teste de normalidade para os resíduos padrão da TABELA 4.9	63
TABELA 4.11 – Resistência estimada de <i>pull-out</i> para o parafuso do fabricante	63
TABELA 4.12 – Comparação entre o parafuso do fabricante e o parafuso proposto no presente trabalho	63

TABELA 4.13 – Resistência estimada de <i>pull-out</i> para o parafuso testado por Mahendran (1994)	65
TABELA 4.14 – Dados da regressão linear realizadas para obtenção das equações 4.2 e 4.3	65
TABELA 4.15 – Dados do resíduo padrão da regressão linear realizadas para obtenção das equações 5.2 e 5.3	66
TABELA 4.16 – Resistência estimada de <i>pull-out</i> para o parafuso testado por Mahendran (1994)	66
TABELA 4.17 – Comparação entre o parafuso testado por Mahendran (1994) e o parafuso proposto no presente trabalho	66
TABELA 4.18 – Resistência estimada de <i>pull-out</i> para o parafuso testado por Mahendran e Tang (1998)	67
TABELA 4.19 – Comparação entre o parafuso testado por Mahendran e Tang (1998) e o parafuso proposto no presente trabalho	67
TABELA 4.20 – Resistência estimada de <i>pull-out</i> para o parafuso testado por Mahendran e Mahaarachchi (2000)	68
TABELA 4.21 – Dados da regressão linear realizadas para obtenção da equação 5.4	68
TABELA 4.22 – Dados do resíduo padrão da regressão linear realizadas para obtenção das equações 5.4	69
TABELA 4.23 – Planilha orçamentária de custos do estudo de caso desenvolvido no presente trabalho	72

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
1.1 OBJETIVOS	19
1.2 JUSTIFICATIVA	19
1.3 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	20
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	21
2.1 PARAFUSOS AUTOATARRAXANTES	23
2.1.1 GEOMETRIA DAS ROSCAS	26
2.1.1.1 PADRÕES NORMATIVOS DE ROSCAS TRIANGULARES MÉTRICAS	28
2.2 TERÇAS EM CHAPA FINA DE AÇO	31
2.2.1 NORMAS INTERNACIONAIS	31
2.2.2 NORMAS E UTILIZAÇÃO NO BRASIL	32
2.2.3 MÉTODOS DE FALHAS EM TERÇAS	33
2.3 ESTATÍSTICA DE DADOS	34
2.3.1 <i>OUTLIER</i>	35
2.3.2 TESTE DE NORMALIDADE	35
2.4 CONCEITOS DE CIÊNCIA DOS MATERIAIS	37
2.4.1 DIFERENÇA ENTRE AÇO GALVANIZADO E GALVALUNE®	37
2.4.2 CORROSÃO E SELEÇÃO DO MATERIAL DO PARAFUSO	39
3 MATERIAIS E MÉTODOS	42
3.1 DEFINIÇÃO DO FORMATO DO NOVO PARAFUSO	42
3.2 FABRICAÇÃO DO NOVO PARAFUSO	44
3.3 MONTAGEM DAS AMOSTRAS PARA O ENSAIO	45
3.4 ENSAIO DE TRAÇÃO	49
3.5 TRATAMENTO ESTATÍSTICO DOS RESULTADOS COLETADOS	50

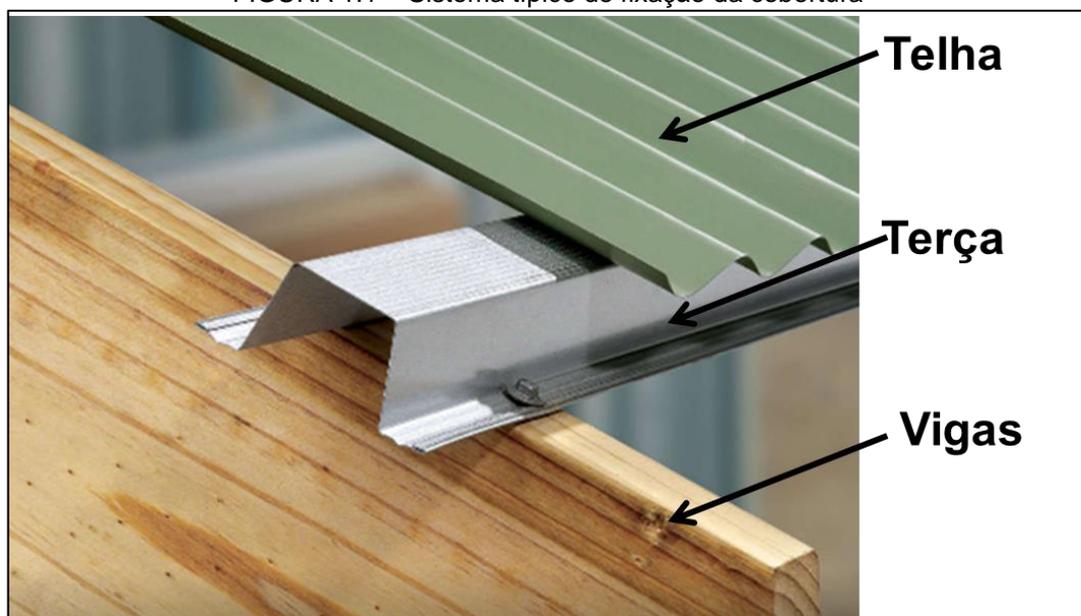
3.5.1 COMPARAÇÃO ENTRE OS VALORES DE <i>PULL-OUT</i>	51
3.6 METODOLOGIA PARA ACESSAR A VIABILIDADE DE APLICAÇÃO DO PARAFUSO PROPOSTO	51
4 RESULTADOS	55
4.1 DETERMINAÇÃO DOS VALORES DE RESISTÊNCIA AO <i>PULL-OUT</i>	55
4.1.1 TERÇA DE 0,43 MM	55
4.1.2 TERÇA DE 0,50 MM	57
4.1.3 TERÇA DE 0,65 MM	59
4.2 COMPARAÇÃO ENTRE OS VALORES DE <i>PULL-OUT</i> COM PARAFUSO PROPOSTO E COM PARAFUSO DO FABRICANTE HARD®	59
4.3 COMPARAÇÃO ENTRE OS VALORES DE <i>PULL-OUT</i> COM PARAFUSO PROPOSTO E ENSAIOS DA LITERATURA	64
4.3.1 MAHENDRAN (1994)	64
4.3.2 MAHENDRAN E TANG (1998)	66
4.3.3 MAHENDRAN E MAHAARACHCHI (2000)	67
4.4 RESULTADOS DA VIABILIDADE DA APLICAÇÃO DO PARAFUSO PROPOSTO EM UM CASO REAL	69
5 CONCLUSÃO	74
6 TRABALHOS FUTUROS	76
REFERÊNCIAS	77
APÊNDICE A	81
APÊNDICE B	85
APÊNDICE C	87
APÊNDICE D	89

1 INTRODUÇÃO

No projeto de cobertura de edificações deve-se considerar no desenvolvimento dessa etapa não só o tipo de telha, mas o sistema de cobertura a ser adotado. Em edificações de armazéns para usos industriais e comerciais, é comum a aplicação de telhas metálicas, que são fixadas em terças, que por sua vez são fixadas nas vigas. Cada um destes três componentes possui uma função fundamental no sistema. As telhas são responsáveis pela proteção primária da ação do vento e da chuva. As terças são os elementos que permitem que os telhados sejam firmemente fixados. Como função adicional, as terças servem para distribuir uniformemente as cargas devido à ação do vento. Por fim, as vigas são os elementos que garantem a rigidez estrutural na cobertura.

É comum em projetos o uso de aço para as telhas, terças e vigas, mas sistemas híbridos de aço e concreto ou aço e madeira são também aplicados. A FIGURA 1.1 ilustra de forma esquemática um sistema típico de fixação da cobertura utilizando aço para as telhas e terças e madeira para a viga.

FIGURA 1.1 – Sistema típico de fixação da cobertura



FONTE: Disponível em <<https://www.no1roofing.com.au/roof-battens/#metal-batten>>, acesso 17/09/2019, adaptado.

Ressalta-se que há diversas variações de aplicação desse sistema, pois diferentes telhas, terças e vigas podem ser combinadas, dependendo da demanda de cada projeto ou do fornecimento de material da região.

Com relação às telhas, pode-se encontrar as chapas onduladas ou as trapezoidais. As telhas de seção ondulada seguem o padrão normativo ABNT NBR 14513:2008 e a seção trapezoidal segue o padrão estabelecido pela ABNT NBR 14514:2008. Além disso, as telhas podem ser de dois tipos, simples ou termoacústicas. As simples, também conhecidas como singelas ou convencionais, são produzidas com uma única chapa metálica. As telhas termoacústicas são usualmente constituídas de duas telhas simples com um núcleo preenchido com isolante termoacústico (poliuretano, poliestireno expandido ou lã mineral), formando uma espécie de sanduíche. Por isso, são popularmente chamadas de telhas sanduíche.

As terças são elementos estruturais secundários, definidos como vigas horizontais, dispostas de maneira a se apoiarem nas vigas, com a finalidade de transferir tanto cargas verticais e quanto horizontais à estrutura. Dentre as diversas possibilidades, as principais terças são: (1) perfis dobrados — U ou Z e (2) vigadas — planas ou espaciais.

Além das telhas e terças, outro elemento estrutural fundamental nesse contexto são as vigas, que usualmente são de arcos, tesouras de banzos ou de sistemas de alma cheia.

Dependendo da região que o projeto foi realizado, a cobertura pode ficar sujeita à enormes esforços, especialmente durante eventos com ventos fortes, em que muitos telhados falham devido ao uso de fixadores inadequados ou ao dimensionamento equivocado da estrutura. Para evitar tais equívocos, no memorial de cálculo estrutural diversas normas devem ser utilizadas para a correta definição do carregamento, como a ABNT NBR 6120:2019 (Versão Corrigida:2019), ABNT NBR 6123: 1988, ABNT NBR 8800, entre outras.

Atualmente, para fixação de telhas convencionas o parafuso usualmente é fixado em onda baixa, conforme ilustra a FIGURA 1.2. A principal vantagem dessa aplicação é possibilitar a fixação das telhas nas terças sem que ocorra qualquer deformação das chapas das telhas. A desvantagem dessa aplicação é o fato de a onda baixa servir de também para canal de escoamento. Dessa forma, na prática, o que se observa é que os pontos de fixação dos parafusos são potenciais regiões de infiltração na estrutura, pois a má regulagem da parafusadeira ou a desregulagem devido ao uso contínuo faz com que os parafusos fiquem abaixo ou acima do torque usualmente recomendado pelo fabricante.

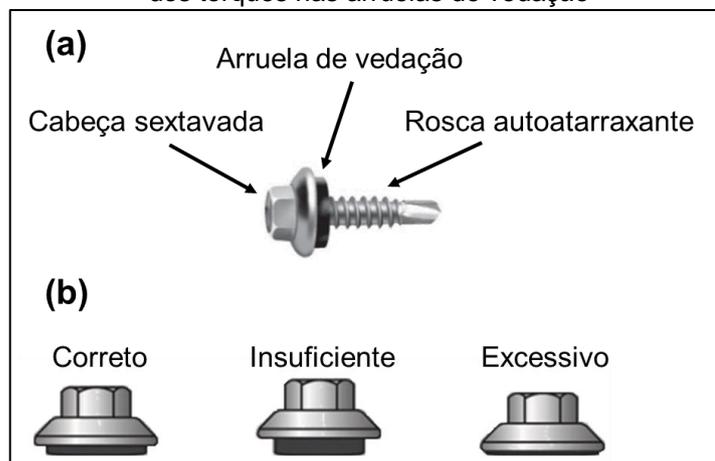
FIGURA 1.2 – Ilustração da fixação de uma telha convencional trapezoidal em onda baixa



FONTE: Disponível em < <http://www.ciser.com.br/materiais/fixadores-para-telhados-e-fechamentos-laterais.pdf>>, acesso 21/09/2019, adaptado.

Essa não padronização da aplicação dos parafusos, influencia consideravelmente no resultado de vedação da cobertura, visto que a fixação das telhas metálicas é realizada através de parafusos autoatarraxantes com arruelas de vedação. A FIGURA 1.3a apresenta de forma esquemática os componentes destes parafusos e a FIGURA 1.3b ilustra o torque excessivo ou insuficiente, que influenciam o funcionamento eficaz das arruelas de vedação. Além do torque desajustado, a angulação de fixação diferente de 90° em relação ao plano do telhado, o pisoteamento de funcionários no momento da montagem e a acomodação da estrutura, faz com que a arruela de vedação não funcione de maneira eficaz, gerando pontos para infiltrações na ocorrência de escoamento externo.

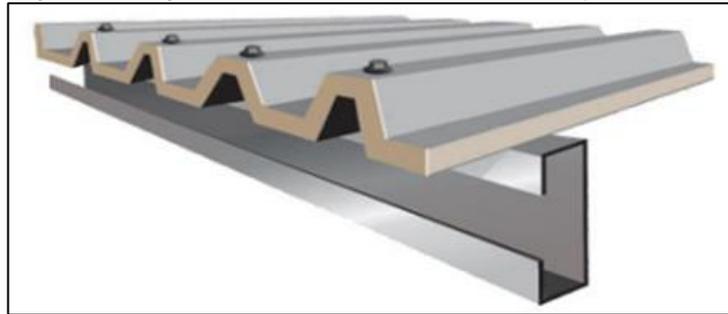
FIGURA 1.3 – Sistema de fixação: (a) Características do parafuso autoatarraxante e (b) Influência dos torques nas arruelas de vedação



FONTE: Disponível em < <http://www.ciser.com.br/materiais/fixadores-para-telhados-e-fechamentos-laterais.pdf>>, acesso 21/09/2019, adaptado.

Diferente do que ocorre em telhas convencionais, as telhas termoacústicas, são usualmente fixadas na onda alta com auxílio de parafusos com maior comprimento. Pelo fato de as telhas termoacústicas possuírem maior rigidez, o atarraxamento na onda alta é possível sem o uso de calços. Essa forma é ilustrada na FIGURA 1.4. Nessa forma de fixação, o risco de infiltração diminui, pois a água tende a escoar pelo canal entre as ondas e não na crista da onda.

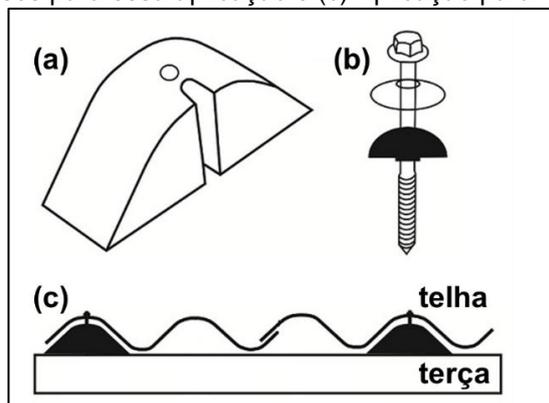
FIGURA 1.4 – Ilustração da fixação de uma telha termoacústica trapezoidal em onda alta



Fonte: Disponível em < <http://www.ciser.com.br/materiais/fixadores-para-telhados-e-fechamentos-laterais.pdf>>, acesso 21/09/2019, adaptado.

É importante ressaltar que, embora tenha essa vantagem, essa forma de fixação não é usada regularmente em telhas convencionais, devido ao acréscimo de tempo para a execução e custo, visto que calços são necessários. A FIGURA 1.5a ilustra um exemplo de calço aplicada em telhas convencionas. A FIGURA 1.5b exemplifica um parafuso usado para essa aplicação. Como pode-se observar, o comprimento desses parafusos deve ser maior, para possibilitar a fixação em onda alta. A FIGURA 1.5c apresenta a forma como o calço é aplicado nesse tipo de fixação.

FIGURA 1.5 – Sistema de fixação em onda alta de telhas convencionais: (a) Ilustração de calços usados, (b) Ilustração de parafusos para essa aplicação e (c) Aplicação para fixação da telha na terça



FONTE: Disponível em < <http://www.fixtil.com.br/catalogo.aspx?Linha=5&Catalogo=858>>, acesso 29/11/2019, adaptado.

1.1 OBJETIVOS

O objetivo geral do presente trabalho é desenvolver um parafuso que possibilite a fixação em onda alta de telhas em terças metálicas finas sem a utilização de atarraxamento e calços.

Este trabalho traz os seguintes objetivos específicos:

- Objetivo específico 1. Testar resistência ao arrancamento estático (*pull-out*) da fixação terça-telha de um novo parafuso que não utiliza autoatarraxamento e calço na fixação;
- Objetivo específico 2. Comparar as resistências observadas com a resistência ao *pull-out de parafusos* autoatarraxantes comumente utilizados para fixar a telha na terça;
- Objetivo específico 3. Avaliar a viabilidade econômica por meio de um estudo de caso sobre um projeto comum de cobertura.

1.2 JUSTIFICATIVA

No Brasil, há poucos estudos científicos referentes aos sistemas de fixação terça-telha em projetos de coberturas. A norma atualmente utilizada que descreve os procedimentos para dimensionamento de estruturas de aço (NBR 14762:2001) não indica qualquer equação ou tabela para a estimativa da capacidade resistente de ligações formadas por parafusos autoatarraxantes.

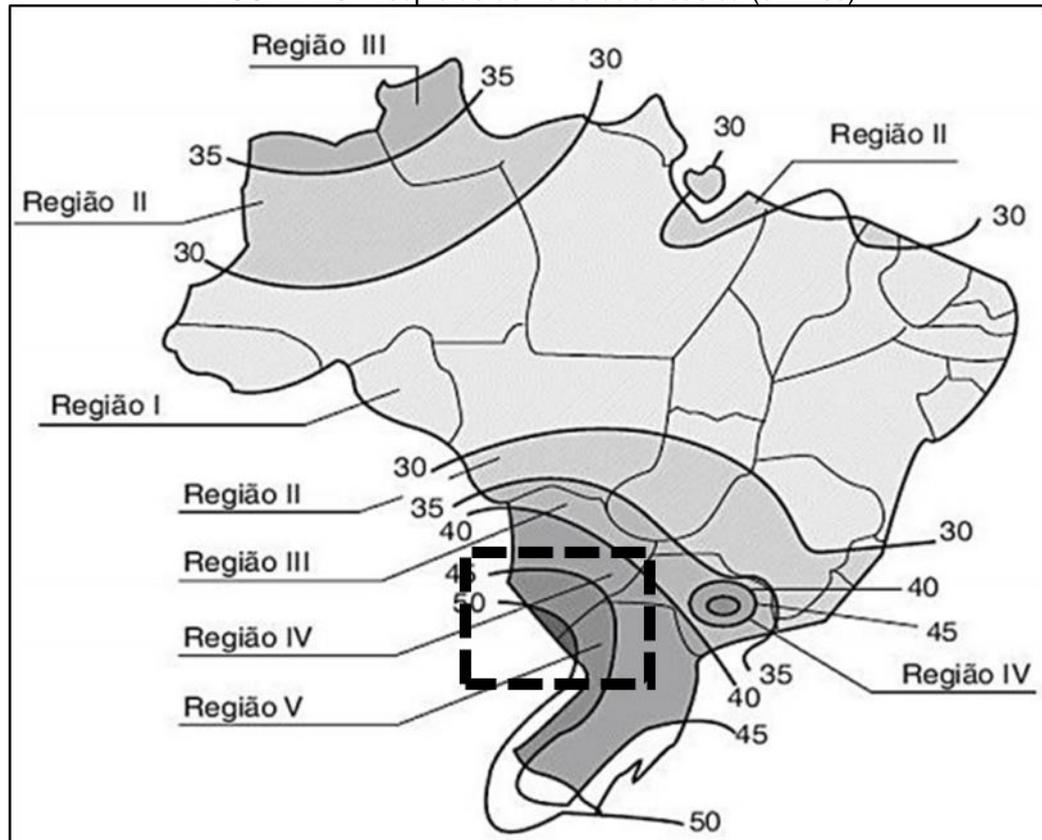
Desde sua criação, observa-se uma constante evolução na fabricação dos parafusos autoatarraxantes, tais como mudanças na ponta broca, na característica do material, no revestimento (para proteção contra oxidação e intemperismos), no anel de vedação e na quantidade de fios por polegada.

O sistema proposto visa aumentar a altura dos filetes de rosca dos parafusos e posicionar na onda alta das telhas. Com a mudança da posição da onda baixa para a alta, os furos nas telhas ficarão expostos a uma menor altura de lâmina de água durante as chuvas, e conseqüentemente, com menor possibilidade de infiltrações de águas pluviais.

O tema dessa dissertação foi escolhido em especial pelo fato de o autor desenvolver projetos de estruturas metálicas em regiões do oeste do Estado do Paraná. Pode-se notar que a região oeste do Paraná está sujeita às maiores

velocidades de vento do Brasil, com valores entre 45 m/s e 50 m/s, conforme destacado pelo retângulo pontilhado da FIGURA 1.6. Esse fato demanda especial atenção no desenvolvimento de projetos de cobertura estrutural realizados nessa região, visto que o vento é o principal responsável pelo esforço de arrancamento da estrutura de cobertura.

FIGURA 1.6 – Isopletas de velocidade básica (em m/s)



FONTE: ABNT NBR 6123:1998.

1.3 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

A presente dissertação está estruturada da seguinte maneira: o capítulo 2 apresenta uma revisão bibliográfica sobre o tema desenvolvido, mostra detalhes referentes aos tipos de parafusos e suas características além de trazer uma breve revisão dos tipos de chapas de aço. Em seguida, o capítulo 3 apresenta a metodologia aplicada no presente trabalho, bem como os porquês de cada passo. No capítulo 4 mostra-se os principais resultados e discussões que podem ser retiradas a partir de comparações entre os ensaios realizados no presente trabalho e valores obtidos em literatura e catálogos comerciais. No capítulo 5 apresentam-se as principais conclusões do presente trabalho e no capítulo 6 as sugestões de trabalhos futuros.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Desde sua invenção, o parafuso tem sido utilizado em diversos equipamentos, tais como prensas para a extração de óleo, dispositivos para a elevação de água na irrigação, instrumentos cirúrgicos, armas de fogo etc.

De forma moderna, a literatura apresenta trabalhos relacionados com desenvolvimento de equacionamentos para o esforço máximo que o parafuso resiste a determinado carregamento. A norma brasileira, ABNT NBR 14762:2001, por exemplo, omite algumas informações importantes sobre o dimensionamento deste tipo de ligação.

Nesse contexto, os trabalhos com maior destaque são aqueles realizados pelo professor Mahen Mahendran, da Escola de Engenharia Civil da Universidade de Queensland de Tecnologia, em Brisbane, na Austrália, que publicou dezenas de trabalhos relacionados a ligações com parafusos autoatarraxantes em chapas finas de coberturas metálicas.

Mahendran (1994) publicou um trabalho que detectou que as equações das normas da Austrália e países vizinhos e também a dos Estados Unidos estavam superestimando os valores das capacidades de cargas de arrancamentos dos parafusos autoatarraxante. Mahendran (1994) sugeriu adotar um fator de redução de 50 % para uso daquelas equações.

Em Mahendran e Tang (1998) desenvolveram um trabalho com ensaios simulando ventos em coberturas de telhas de aço. O foco deste trabalho foi a análise das possíveis falhas entre o parafuso e as terças metálicas somente com os resultados de ensaios em laboratório. Foram 592 ensaios realizados com equipamentos e aparatos mais sofisticados comparativamente com as imagens do trabalho de 1994.

Eles concluíram que as fórmulas utilizadas na Europa e Estados Unidos não estavam coerentes com os resultados dos ensaios. A partir deste trabalho, os pesquisadores começaram a pesquisar as falhas de arrancamento dos parafusos das terças ou vigas. Eles observaram que os edifícios estavam sendo construídos com peças cada vez mais finas, e que as falhas importantes passam a ser na fixação do parafuso na terça - *pull-out*.

Durante os testes, Mahendran e Tang (1998) observaram dois modos diferentes de falhas de arrancamento do parafuso nas chapas. Para as chapas mais

finas, onde a espessura é menor do que o passo dos filetes de rosca do parafuso, a chapa curvou-se, conformando-se conforme a helicóide da rosca. Nas chapas de aço de espessura maior do que o passo entre os filetes de rosca, observou-se que no entorno do furo há um corte com rebarba. Neste modo de falha, o parafuso cortou a chapa durante o processo de arrancamento. Analisando os resultados, concluíram que as dimensões dos fios de roscas dos parafusos têm um papel importante na determinação da carga de arrancamento em uma chapa fina, sendo que eles utilizaram parafusos de uso comercial e não fizeram comentários sobre a possibilidade ou não de parafusos com maior altura dos filetes.

Mahendran e Mahaarachchi (2000) apresentaram um trabalho de investigação experimental de um grande número de testes com carregamento cíclicos em telhas de aço com secção trapezoidal fixadas na onda alta. Ensaíram com carga cíclica com diferentes tipos de aço, espessura de chapa e diâmetros de parafusos. Os resultados foram utilizados para quantificar os efeitos das forças de ventos com carregamento na sucção da cobertura e desenvolver equações para a estimativa da carga de projeto. Como principal resultado, concluíram que para chapas com maiores espessuras, os diferentes tipos de parafusos apresentaram capacidades de arrancamentos com pequenas diferenças.

Nessa mesma linha, Maiola (2004) desenvolveu um trabalho que avaliou o comportamento estrutural de ligações parafusadas em chapas e perfis formados a frio de pequena espessura, utilizando para isso análise experimental e teórica. Com os resultados obtidos, Maiola (2004) sugeriu modificações na formulação da ABNT NBR 14762:2001, mas não fez conclusões sobre o uso de parafusos não comerciais.

Freitas (2004) desenvolveu um estudo sobre as ligações metálicas telha-terça com parafusos autoatarraxantes, apresentando procedimentos e recomendações das principais normas internacionais, bem como os ensaios padronizados para caracterização dos parafusos e para avaliação do comportamento estrutural e resistência de ligações. Como resultado, mostrou que seguindo as padronizações dos ensaios, há elevada variabilidade na resistência observada no conjunto terça-telha, indicando a necessidade da adoção de ensaios mais representativos e confiáveis. Entretanto, em seu estudo, somente parafusos comerciais foram usados.

Mahaarachchi e Mahendran (2005) desenvolveram um estudo com foco no parafuso em si, e não nos equacionamentos para prever a resistência do conjunto terça-telha. Eles utilizaram variações nas dimensões das cabeças e dos tipos dos

parafusos, posições dos parafusos, espessuras dos apoios das terças, especificações dos aços e detalhes de bordas.

De acordo com os resultados, Mahaarachchi e Mahendran (2005) concluíram que os efeitos dos parâmetros do aperto dos parafusos, da altura da terça, da largura do flange da terça, da localização do parafuso e do ângulo do perfil da terça, foram insignificantes. Os testes mostram que os parâmetros críticos foram: espessura da chapa e dimensões do parafuso.

Com base nos resultados obtidos por Mahaarachchi e Mahendran (2005), a proposta é o desenvolvimento de um novo parafuso, objetivando aumentar a resistência ao arrancamento terça-telha. O caráter inovador desse trabalho consiste em não utilizar parafusos comerciais e observar como isso pode afetar a resistência.

Como o objetivo desse trabalho é o desenvolvimento de um parafuso para fixação em onda alta em telhas convencionais, um estudo detalhado sobre os tipos de parafusos autoatarraxantes e terças de chapas metálicas finas são apresentados nas seções 2.1 e 2.2. A base teórica estatística para o desenvolvimento dos ensaios e o tratamento dos dados é também apresentada na seção 2.3.

2.1 PARAFUSOS AUTOATARRAXANTES

Parafuso autoatarraxante é o termo genérico utilizado para qualquer tipo de parafuso que forma sua própria rosca no material que irá fixar. A vantagem desse tipo de parafuso é a eliminação de porcas e de operações para produzir rosca, podendo assim reduzir custo e tempo de execução de projeto (GOSS, 1999). Outra característica interessante desses fixadores é a boa capacidade de resistirem às vibrações, possibilitando uma união estável, conforme afirma Troughton (2008).

Particularmente na construção civil, os parafusos autoatarraxantes são uma escolha popular para união telha-terça e terça-viga, devido à sua excelente força de retenção. Entretanto, a desvantagem dos parafusos autoatarraxantes é que sua instalação de forma incorreta pode levar a danos permanentes no material e à uma menor resistência aos esforços de arrancamento, conforme afirma Freitas (2004) e Yu e LaBoube (2010).

Dentre os diversos tipos de parafusos autoatarraxantes, podem ser classificados em dois tipos distintos, em função da necessidade ou não de pré-furo. Além disso, podem também ser separados levando em consideração os tipos de rosca

e da ponta que são fabricados. A TABELA 2.1 apresenta mais detalhes sobre essas classificações.

TABELA 2.1 – Classificação dos parafusos autoatarraxantes

Pré-furo	Rosca	Ponta
Sim	Cortador de rosca	Broca / Sem Ponta / Pontiaguda
	Conformador de rosca	Broca / Sem Ponta / Pontiaguda
Não	Cortador de rosca	Broca / Pontiaguda
	Conformador de rosca	Broca / Pontiaguda

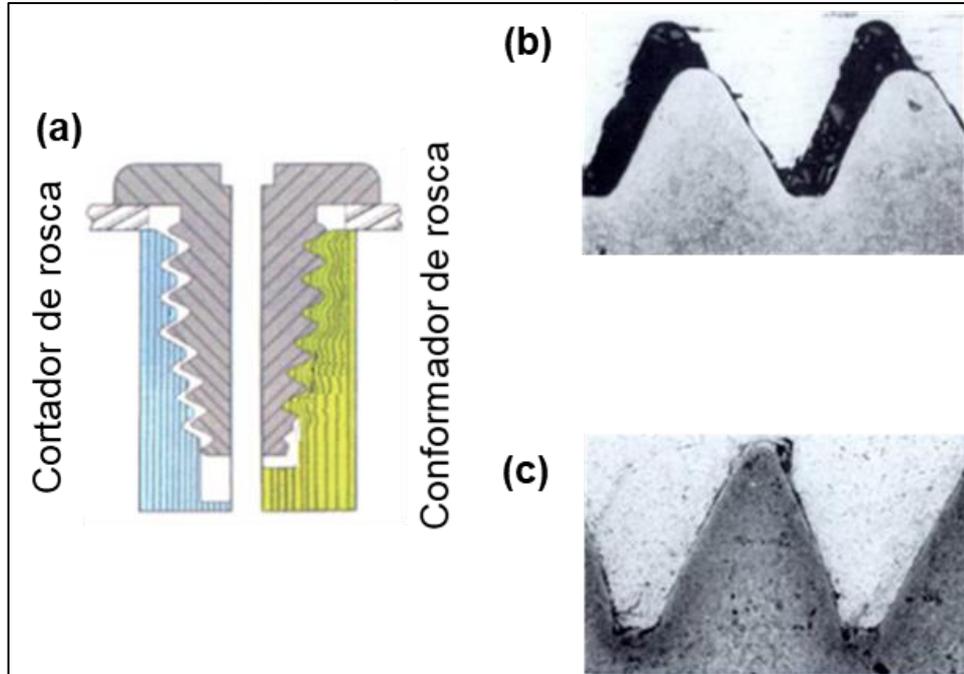
FONTE: Modificado de Freitas (2004).

Os parafusos cortadores de rosca (termo derivado do inglês *thread-cutting*) formam a rosca onde o parafuso ficará fixado através dos próprios filetes, durante o processo de fixação. Os parafusos conformadores de rosca (termo derivado do inglês *thread-forming*) são fixados através da conformação do material onde o parafuso ficará alocado, assim, não há retirada de material. Por não haver retirada do material, usualmente os formadores de rosca garantem maior resistência de fixação, evitando folga entre a rosca e o parafuso.

A FIGURA 2.1a ilustra a diferença entre a fixação do cortador de rosca e do conformador de rosca. Observa-se que uma maior profundidade final na ponta do cortador de rosca é requerida, para servir de depósito para o material cortado. Esse sistema de fixação também gera uma menor área de contato entre a rosca e o parafuso, já que durante o processo de fixação, material é continuamente retirado.

Para o parafuso conformador de rosca, maior área de contato é obtida, garantindo uma fixação mais estável. A FIGURA 2.1b mostra um ajuste final do sistema para um cortador de rosca enquanto a FIGURA 2.1c mostra o ajuste final para um conformador de rosca. Parafusos convencionais e porcas normalmente utilizam roscas-padrão. Conforme explica Norton (2013), variações nas formas padrão de roscas e pontas ocorrem em certas variedades de parafusos, especialmente quando se trata de parafusos autoatarraxantes. A FIGURA 2.2 apresenta um conjunto dos diferentes tipos de ponta que os parafusos autoatarraxantes podem possuir. Observa-se que todas as pontas apresentadas na FIGURA 2.2 são ou pontiagudas ou “sem ponta”. Fazendo um paralelo com a TABELA 2.1, nota-se que não estão apresentadas as pontas tipo broca.

FIGURA 2.1 – Tipos de parafusos autoatarraxantes: (a) Representação esquemática da diferença entre cortador e conformador de rosca, (b) Exemplo de fixação de um cortador de rosca e (c) Exemplo de fixação de um conformador de rosca



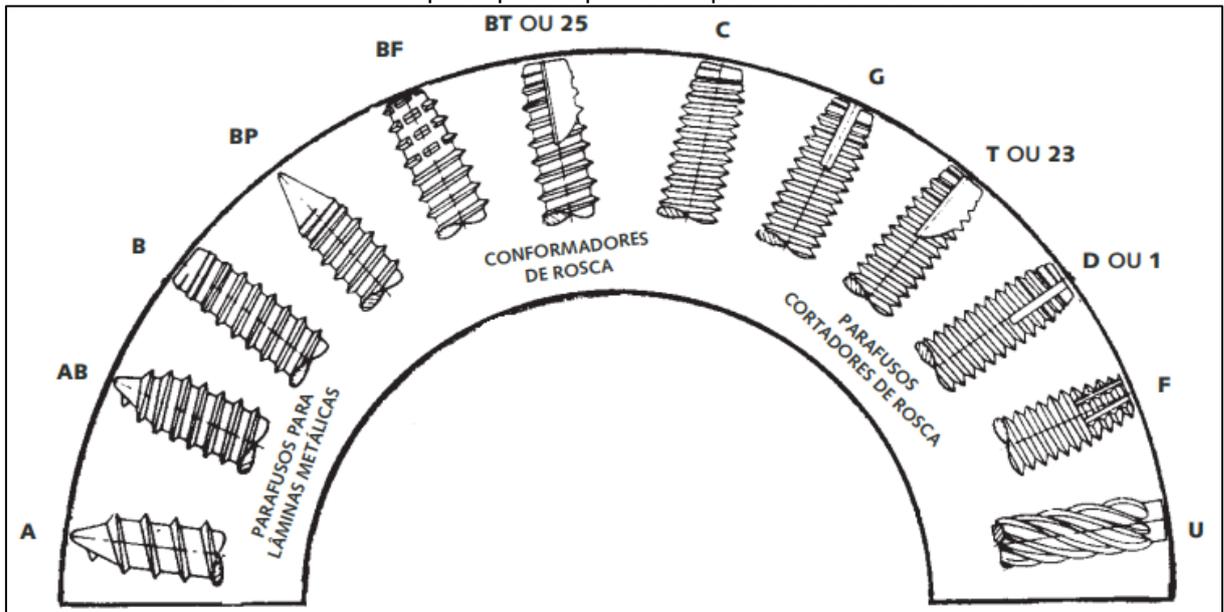
FONTE: Disponível em <<https://provenproductivity.com/3-advantages-of-using-thread-forming-screws>>, acesso 25/09/2019, adaptado.

Os parafusos com pontas brocantes (autobrocantes ou autofurantes, como também são conhecidos) possuem uma forma de broca de furação na sua ponta para fazer o furo piloto. Eles também formam roscas à medida que avançam. Conforme explica Freitas (2004), entre os parafusos autoatarraxantes de ponta brocante, há dois tipos básicos: (1) broca possui diâmetro menor que o corpo — utilizado para uniões de chapas finas, com por exemplo, telha-telha e (2) broca possui diâmetro igual ao do corpo — utilizado para uniões entre um chapa fina e uma chapa espessa, como por exemplo, telha-terça.

Além das três características apresentadas na TABELA 2.1, os parafusos autoatarraxantes (assim como os demais parafusos) podem também ser classificados quanto ao estilo da cabeça. Dentre os diversos tipos possíveis, os mais comuns são do tipo fenda, fenda em cruz (Phillips) e hexagonal. As possíveis formas de cabeça incluem redondas, planas, cilíndricas, etc. A definição do formato da cabeça está relacionada usualmente à forma de aplicação do parafuso e ao torque que será submetido, variando consideravelmente o tipo em função do fabricante. As próximas seções apresentam em mais detalhes as principais dimensões que são usadas em projetos de parafusos. Inicialmente uma abordagem geral sobre os tipos de rosca é

realizada e ao final, mais detalhes sobre roscas triangulares métricas são apresentados, visto que parafusos com essa rosca são o foco de estudo do presente trabalho.

FIGURA 2.2 – Principais tipos de pontas de parafusos autoatarraxantes



FONTE: Norton (2013, p. 878).

Além das características aqui apresentadas, as seguintes normas também apresentam informações relevantes com foco em parafusos autoatarraxantes: (1) ABNT NBR 9583:2010; (2) ABNT NBR 9586:2010; (3) ABNT NBR 9595:2010; (4) ABNT NBR 10041:2010; (5) ABNT NBR 10042:2010

2.1.1 GEOMETRIA DAS ROSCAS

A característica mais importante de um parafuso é a rosca. Em termos gerais, conforme apresenta Nogueira (2013), as roscas são sulcos em alto ou baixo relevo, de seção uniforme que se desenvolve com uma inclinação constante em torno de uma superfície cilíndrica ou cônica descrevendo um perfil helicoidal. Budynas e Nisbett (2016) apresentam as terminologias mais comuns no dimensionamento das roscas:

- Passo: distância entre dois filetes consecutivos;
- Diâmetro maior: maior diâmetro de uma rosca de parafuso;
- Diâmetro menor (ou de raiz): é o menor diâmetro de uma rosca de parafuso;

- Diâmetro de passo: diâmetro teórico entre os diâmetros maior e menor;
- Avanço: é a distância que o parafuso percorre em relação a seu eixo, quando se completa uma rotação. Para parafusos com rosca única, o avanço é o mesmo que o passo.

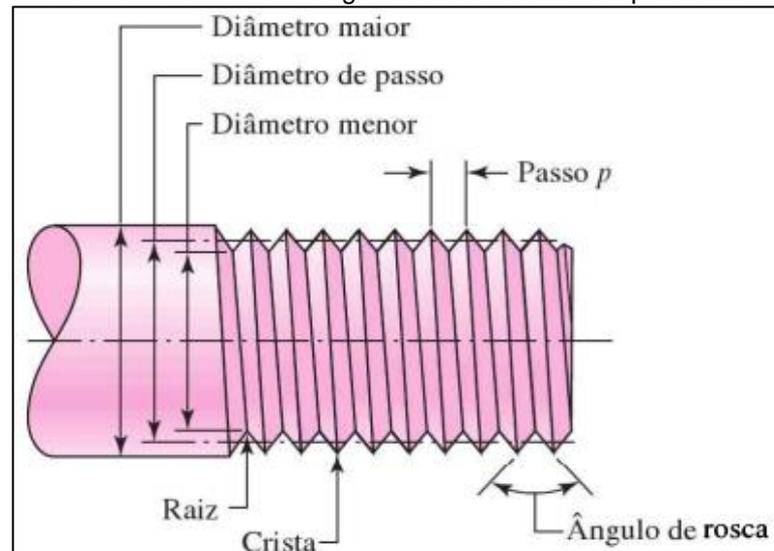
A FIGURA 2.3 ilustra tais terminologias. Além disso, é importante ressaltar que existem diversos tipos de roscas, classificadas conforme seu perfil, sentido e sistema normativo.

Com relação ao perfil dos filetes, as roscas podem ser classificadas em triangulares, quadradas, redondas, trapezoidais e dente de serra. A FIGURA 2.4a ilustra cada um desses perfis. A utilização de cada um desses tipos de filete irá depender da aplicação. De forma geral, para fixação, é usual a aplicação de roscas triangulares enquanto que os demais perfis de roscas são utilizados em parafusos de movimento. Abaixo há mais detalhes sobre cada perfil:

- Roscas triangulares: são usualmente aplicadas na união de peças. Bretas (2009) afirma que são as roscas que possuem maior atrito no contato entre parafuso e elemento a ser fixado, e por esse motivo, é ideal para parafusos e porcas de fixação;
- Roscas quadradas: são usadas em parafusos solicitados por grandes esforços ou choques. São teoricamente a rosca ideal para transmissão de potência, pois suas faces são em ângulos retos em relação ao eixo do parafuso;
- Roscas redondas: são aplicadas em parafusos de grandes diâmetros de passo, sujeitos a grandes esforços;
- Roscas trapezoidais: são utilizados quando a transmissão de movimento suave e uniforme é requerida.

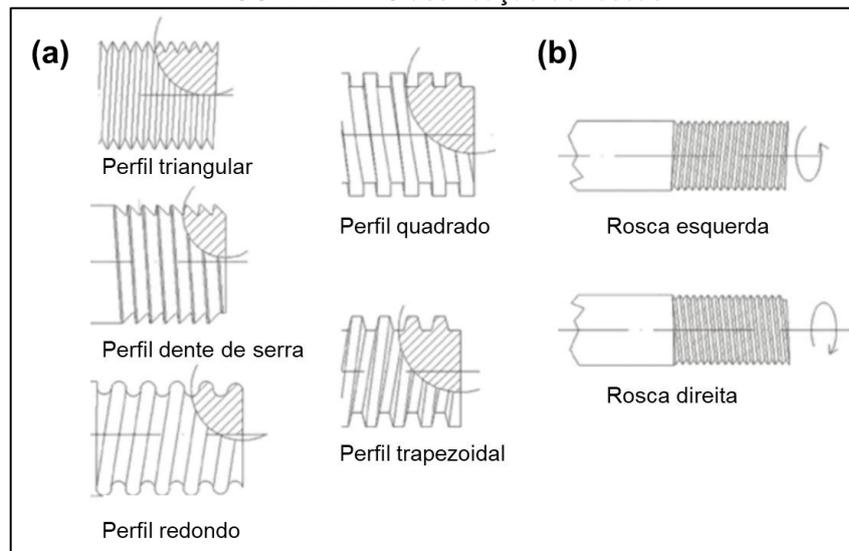
As roscas podem também ser classificadas pelo sentido de giro no atarraxamento: (1) rosca esquerda e (2) rosca direita. Um parafuso de rosca direita, quando girado no sentido horário está sendo atarraxado, ou seja, o avanço é obtido no sentido horário. Já o parafuso de rosca esquerda, é atarraxado quando é girado no sentido anti-horário. Em projetos de engenharia, raramente é utilizado um parafuso de rosca esquerda, a não ser para fins específicos que justifique tal aplicação, como por exemplo, evitar afrouxamento, devido ao sentido de rotação de determinado elemento. A FIGURA 2.4b ilustra uma rosca esquerda e uma rosca direita.

FIGURA 2.3 – Terminologia básica de roscas de parafusos



FONTE: Budynas e Nisbett (2016), adaptado.

FIGURA 2.4 – Classificação de roscas



FONTE: Nogueira (2013), adaptado.

2.1.1.1 PADRÕES NORMATIVOS DE ROSCAS TRIANGULARES MÉTRICAS

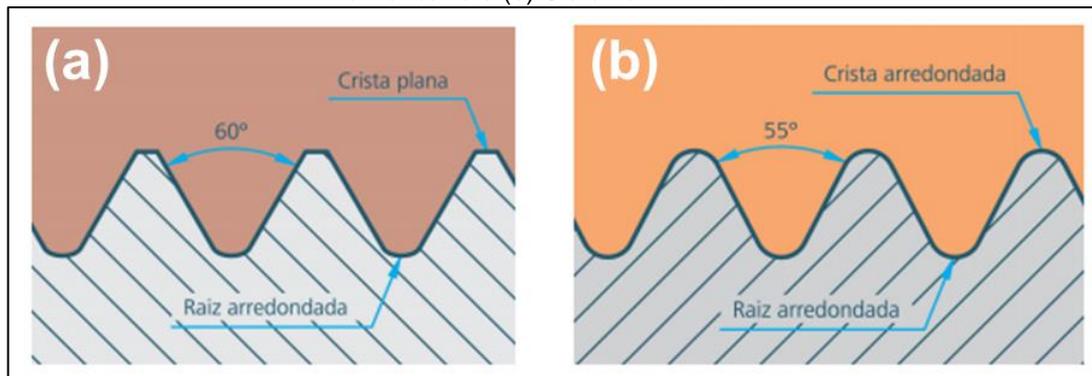
As roscas de perfil triangular, que são aplicadas para fixação e, portanto, o foco desse trabalho, são fabricadas segundo três sistemas normativos: (1) o sistema métrico ou internacional (ABNT NBR ISO 724:2004); (2) o sistema inglês ou *whitworth* (BS 84:2007) e (3) o sistema americano (ASME B1.1-2003).

No sistema métrico as roscas são determinadas em milímetros, a crista é plana e a raiz é arredondada, sendo o ângulo entre os filetes de 60° entre os filetes. No sistema *whitworth* as dimensões são dadas em polegadas, o ângulo entre os filetes

é 55° , sendo a crista e raiz arredondadas. No sistema americano, as dimensões são expressas em polegadas, o ângulo entre os filetes é 60° e, assim como no sistema métrico, a crista é plana e a raiz é arredondada. A FIGURA 2.5a ilustra as características das do sistema métrico e americano e a FIGURA 2.5b do sistema *whitworth*.

Além dos três sistemas, as roscas são fabricadas em dois padrões: normal e fina. A rosca normal tem menor número de filetes por polegada que a rosca fina. No sistema *whitworth*, a rosca normal é caracterizada pela sigla BSW (sigla derivada do inglês *British Standard Whitworth*). Nesse mesmo sistema, a rosca fina é caracterizada pela sigla BSF (sigla derivada do inglês *British Standard*). No sistema americano, a rosca normal é caracterizada pela sigla NC (sigla derivada do inglês *National Coarse*) e a rosca fina pela sigla NF (sigla derivada do inglês *National Fine*).

FIGURA 2.5 – Ilustração dos padrões normativos de roscas triangulares: (a) Sistema métrico e americano e (b) Sistema *whitworth*



FONTE: Franceschi e Antonello (2014).

Para representação da rosca métrica (aplicada comumente no Brasil), uma letra M seguida do valor do diâmetro nominal do eixo é usada, separada por um “x” e depois o valor em milímetros do passo da rosca, por exemplo: M10 x 1,25. As dimensões básicas para as roscas métricas normais são calculadas conforme estabelece a norma ABNT NBR ISO 724:2004. A FIGURA 2.6 ilustra as dimensões essenciais para o dimensionamento desse tipo de rosca. A equação (2.1) apresenta o cálculo que deve ser considerado para se determinar o diâmetro menor da rosca externa do parafuso (d_1), enquanto a equação (2.2) se refere ao cálculo necessário para o diâmetro externo de flanco — ou diâmetro de passo (d_2), sendo ambas apresentadas na norma ABNT NBR ISO 724:2004.

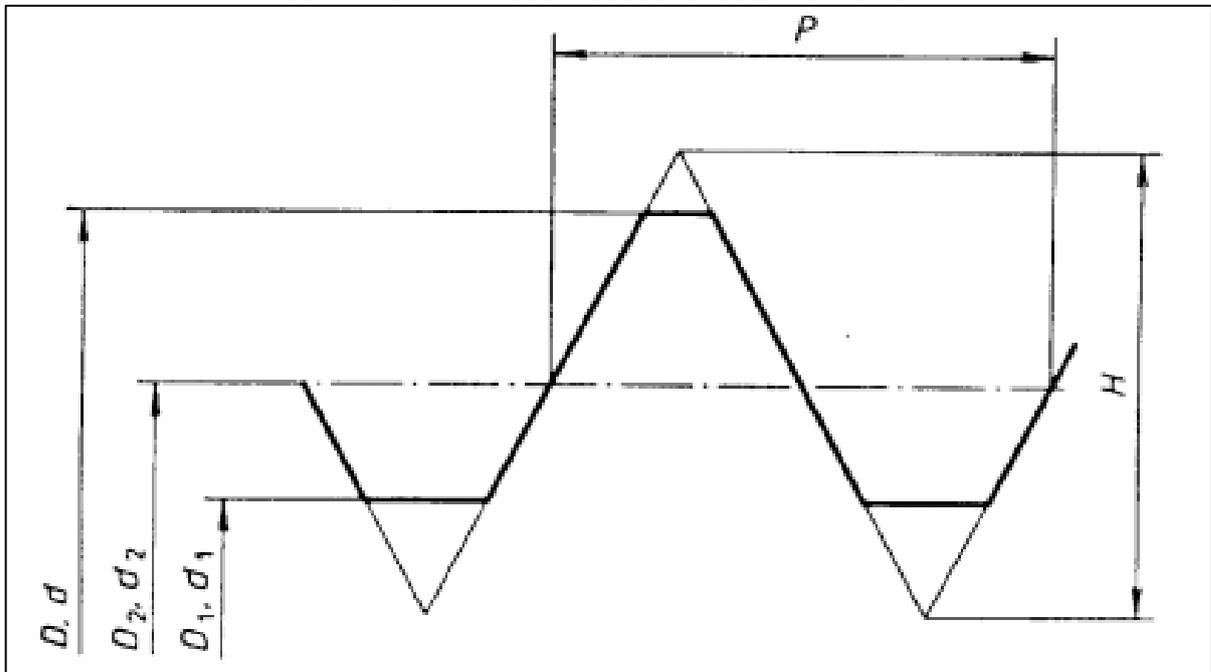
$$d_1 = d - 1,0825P \quad (2.1)$$

$$d_2 = d - 0,6495P \quad (2.2)$$

onde d é o diâmetro maior de rosca externa (ou diâmetro nominal) e P é o passo. Para rosca interna, deve-se considerar as nomenclaturas: D , D_1 e D_2 , conforme ilustra a FIGURA 2.6.

Os valores normativos para essas dimensões são apresentados na TABELA 1 ABNT NBR ISO 724:2004. A FIGURA 2.7 ilustra parte da TABELA 1 apresentada na norma.

FIGURA 2.6 – Dimensões básicas da rosca métrica normal



Fonte: ISO 724:2004.

Conforme explica Franceschi e Antonello (2014), para o cálculo de roscas triangulares métricas finas, são usadas as mesmas fórmulas das roscas triangulares métricas normais, sendo que o único elemento que muda é o cálculo do passo: um determinado comprimento de uma rosca fina possui maior número de filetes do que a rosca normal.

FIGURA 2.7 – Relação entre dimensões básicas da rosca métrica normal

Diâmetro nominal = Diâmetro maior <i>D</i> ou <i>d</i>	Passo <i>P</i>	Diâmetro de flanco <i>D</i> ₂ , <i>d</i> ₂	Diâmetro menor <i>D</i> ₁ , <i>d</i> ₁	Diâmetro nominal = Diâmetro maior <i>D</i> ou <i>d</i>	Passo <i>P</i>	Diâmetro de flanco <i>D</i> ₂ , <i>d</i> ₂	Diâmetro menor <i>D</i> ₁ , <i>d</i> ₁
1	0,25	0,838	0,729	4	0,7	3,545	3,242
	0,2	0,870	0,783		0,5	3,675	3,459
1,1	0,25	0,938	0,829	4,5	0,75	4,013	3,688
	0,2	0,970	0,883		0,5	4,175	3,959
1,2	0,25	1,038	0,929	5	0,8	4,480	4,134
	0,2	1,070	0,983		0,5	4,675	4,459
1,4	0,3	1,205	1,075	5,5	0,5	5,175	4,959
	0,2	1,270	1,183	6	1	5,350	4,917
1,6	0,35	1,373	1,221		0,75	5,513	5,188
	0,3	1,470	1,383	7	1	6,350	5,917
1,8	0,35	1,573	1,421		0,75	6,513	6,188
	0,2	1,670	1,583	8	1,25	7,188	6,647
2	0,4	1,740	1,567		1	7,350	6,917
	0,25	1,838	1,729	0,75	7,513	7,188	
2,2	0,45	1,908	1,713	9	1,25	8,188	7,647
	0,25	2,038	1,929		1	8,350	7,917
2,5	0,45	2,208	2,013	0,75	8,513	8,188	
	0,35	2,273	2,013	10	1,5	9,026	8,376
3	0,5	2,675	2,459		1,25	9,188	8,647
	0,35	2,773	2,621		1	9,350	8,917
3,5	0,6	3,110	2,850		0,75	9,513	9,188
	0,35	3,273	3,121				

FONTE: ISO 724:2004.

2.2 TERÇAS EM CHAPA FINA DE AÇO

Nos trabalhos de Mahendran (1994), Mahendran e Tang (1998) e Mahendran e Mahaarachchi (2000) as falhas observadas durante os ensaios de arrancamento parafuso-terça ocorreram na chapa da terça. Portanto, nesta seção são apresentadas algumas normas nacionais e internacionais desse material, bem como os principais critérios de falha em chapas que podem representar tanto a terça quanto a telha.

2.2.1 NORMAS INTERNACIONAIS

Apesar de poucas informações técnicas, na segunda metade do século XIX, a utilização de chapas finas nos Estados Unidos e Inglaterra começou a desenvolver aplicações em estruturas de construções civis. Com a necessidade de especificações

e requisitos para uso desse material, o Comitê Pesquisa e Tecnologia em Construção do AISI (sigla derivada do inglês *American Iron and Steel Institute*) patrocinou diversas pesquisas para estudar o comportamento estrutural dos perfis formados a frio. Esses estudos forneceram informações necessárias para a elaboração de uma norma específica. A primeira edição, em 1946 publicada pela AISI da *Specification for the Design of Light Gage Steel Structural Member* fez com que os perfis formados a frio se tornassem competitivos e largamente utilizados na construção civil.

Após a primeira edição de 1946, *Specification for the Design of Light Gage Steel Structural Member* foi revisada ao longo das décadas subsequente, até a edição vigente com o nome *Cold-Formed Steel Design Manual 2002 edition* (AISI, 2003). Ela é referência para projetos de pesquisas e para outras normas técnicas. A Austrália e Canadá são países que também se destacam em pesquisas em perfis formados a frio com as normas: (1) AS/NZS 4600:2018 da Austrália e (2) CAN/CSA S136:1994 do Canadá.

2.2.2 NORMAS E UTILIZAÇÃO NO BRASIL

No final da década de 1960 algumas indústrias iniciaram a fabricação de perfis formados a frio no Brasil utilizando a norma NB-143:1967. A NBR 14762:2001 substituiu a NB 143:1967, porém continua omitindo o assunto que se refere as ligações com parafusos autoatarraxantes.

Há no mercado brasileiro, o uso em quantidade significativa de perfis formados a frio com aços sem qualificação estrutural, de qualidade comum como os aços SAE 1010 e 1020, que são fabricados para uso na indústria mecânica. A consequência disso é que as propriedades mecânicas fiquem com uma grande variabilidade, conforme apresenta Maiola, Malite e Munaiar Neto (2002).

Chapas finas são utilizadas em grande escala na construção civil, automotiva e de eletrodomésticos. Especificamente as chapas finas revestidas com zinco (galvanizadas) são utilizadas neste trabalho para representarem terças finas. O processo de galvanização reduz a possibilidade de oxidação do aço em contato com o ambiente, sendo uma solução de menor custo, entretanto, menos eficiente que aços inoxidáveis.

Associações de fabricantes como fornecem informações baseadas em estatísticas. Informam em seus dados que o consumo de aços revestidos com zinco

(Zn) e liga de alumínio e zinco Al-Zn na construção civil e de aços pré-pintados atingiu cerca de um milhão de toneladas por ano de 2013 a 2017, o que representou 4% do consumo aparente. Cerca de 50% destinados à produção de telhas.

Conforme a Norma Brasileira ABNT NBR 14762:2001, é permitida a utilização de aços sem qualificação estrutural desde que as propriedades mecânicas sejam adequadas para o trabalho a frio. Os limites a serem adotados no projeto, neste caso, devem ter valores superiores a 180 MPa para o limite de escoamento, e de 300 MPa para a resistência à ruptura.

2.2.3 MÉTODOS DE FALHAS EM TERÇAS

A FIGURA 2.8 ilustra os quatro principais modos de falhas nas conexões parafuso-chapa metálica de coberturas de edificações. Estes quatro modos de falha são explicados em detalhes abaixo:

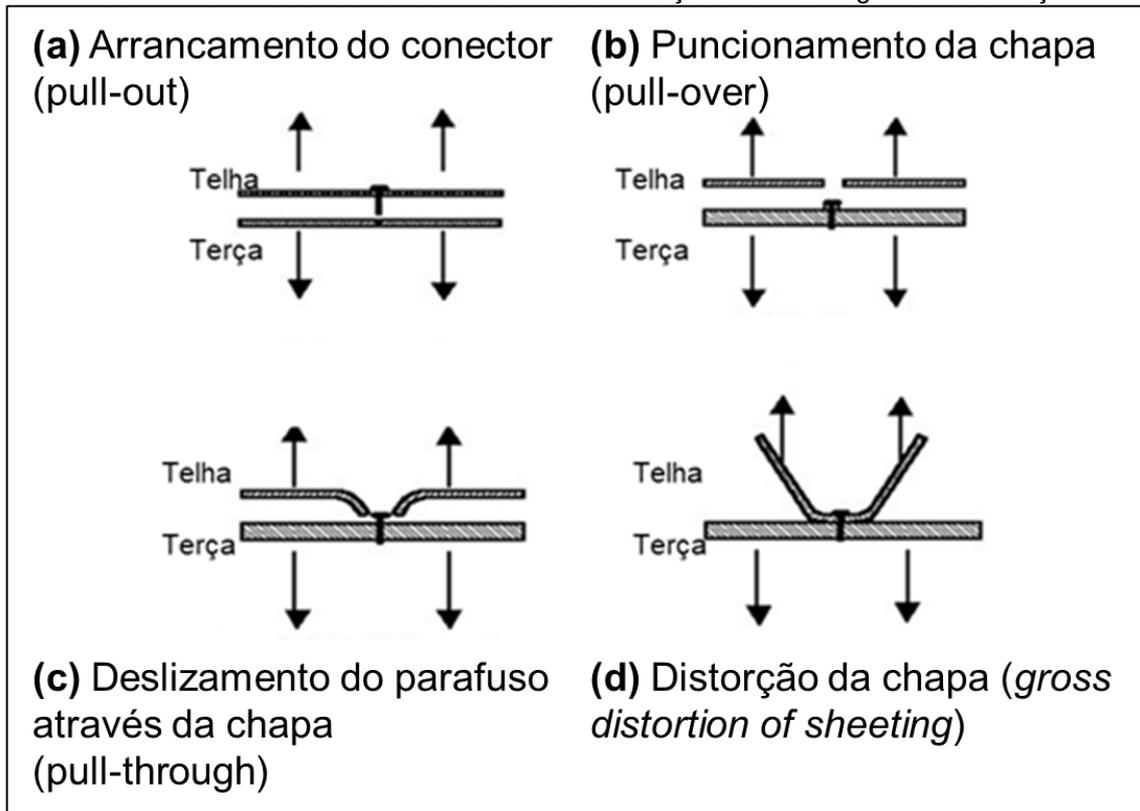
(a) Arrancamento do conector (*pull-out*): Pode ocorrer quando a chapa de suporte é pouco espessa em relação ao diâmetro do fixador ou quando a ancoragem do fixador é insuficiente, ou seja, quando não há suficiente engrenamento de rosca. É o teste usualmente empregado para determinar a resistência de uma fixação, não somente sendo aplicado no sistema parafuso-chapa metálica, como para demais fixações através de parafusos em paredes de edificações (parafuso-alvenaria), em aeroportos (parafuso-concreto) e linhas de trem (parafuso-madeira). Devido suas aplicabilidades internacionais, se optou por utilizar aqui no termo em inglês *pull-out*, para facilitar buscas futuras nesse trabalho ou em trabalhos similares que utiliza essa temática;

(b) Puncionamento da chapa (*pull-over*): a telha é desprendida da cabeça do parafuso sem haver a deformação por curvatura no entorno. Forma rebarbas no entorno do furo. Pode ocorrer quando a cabeça do fixador é muito pequena em relação ao furo. Conforme explica Freitas (2004), a baixa tensão de ruptura do aço da telha e uso inadequado da cabeça ou arruela são possíveis causas de tal colapso.

(c) Deslizamento do parafuso através da chapa (*pull-through*): a telha é desprendida da cabeça do parafuso curvando a chapa no entorno do furo e através da cabeça do parafuso. Conforme explica Freitas (2004) este modo de falha é sempre acompanhado por uma significativa distorção da telha e, possivelmente, também por empenamento da arruela.

(d) Distorção da chapa (*gross distortion of sheeting*): a distorção do perfil ou da chapa é grande e permanente. Esse modo de falha é relativo, portanto, apenas à influência da geometria do perfil da telha e não do parafuso.

FIGURA 2.8 – Modos de falhas mecânicas em fixações com carregamento de tração



FONTE: Modificado de Mydin et al. (2014).

2.3 TRATAMENTO ESTATÍSTICO DOS RESULTADOS

Para obtenção dos resultados de resistência ao arrancamento *pull-out* algumas práticas comuns na estatística para tratamento dos dados foram consideradas, como forma de garantir acuracidade das medições e das comparações realizadas. Os trabalhos de Gonçalves e Castro (1998), Laponi (2005), Wasserman (2006), Razali e Wah (2011), Fitrianto e Chin (2016), Zimek e Filzmoser (2018) e Miot (2019) foram considerados como base teórica para a análise dos dados apresentados neste trabalho.

Afim de facilitar o acompanhamento da metodologia e dos resultados apresentados respectivamente nos capítulos 3 e 4, a definição dos principais termos usados para na análise estatística são apresentadas nas subseções seguintes.

2.3.1 OUTLIER

No processo de obtenção de dados, seja através de meios experimentais ou numéricos (simulação), pode-se obter alguns dados que diferem significativamente da média das observações. Esse dado díspare pode ser devido à variabilidade da medição ou pode indicar um erro experimental ou numérico. Caso seja devido à variabilidade, esse dado interferirá diretamente no erro da medição, aumentando-o. Entretanto, caso esse dado díspare observado seja devido à algum erro no processo de obtenção dos dados ou “sem causa aparente associada à população” (LAPPONI, 2005) ele pode ser tratado como um *outlier* e descartado da análise, para evitar o comprometimento da acuracidade do conjunto de dados analisados.

Conforme afirma Zimek e Filzmoser (2018), não existe uma definição matemática rígida do que constitui um *outlier*. Apesar de haver vários métodos quantitativos para detectar esse dado, em última análise, a determinação de *outlier* é um exercício subjetivo e depende bastante da experiência do agente com o tipo de dado e ensaio (ou coleta) realizado.

É importante ressaltar que Gonçalves e Castro (1998) apresenta esta definição como “valor aberrante”, Lapponi (2005) como “dados suspeitos”, enquanto Miot (2019) como “valor anômalo”. Há diversos outros termos em português que traduzem o sentido de *outlier*, entretanto, o mais comum é que se utilize o termo inglês, padrão seguido também neste trabalho.

No presente trabalho para se considerar que um dado é *outlier* o teste de *boxplot* conforme apresentada Lapponi (2005) foi utilizado. Caso determinado dado da série estiver fora do intervalo interquartil de $1,5 (\pm 1,5 * IQR)$, o dado foi considerado *outlier* é descartado da análise. Essa hipótese foi considerada para evitar que possíveis erros não sistêmicos na realização do teste gerassem dados espúrios que interferissem no resultado final na análise.

2.3.2 TESTE DE NORMALIDADE

Para a análise estatística de um conjunto de dados podemos considerar o estudo paramétrico ou não paramétrico. No primeiro caso, pressupõe-se que os dados são originários de um determinado tipo de distribuição de probabilidade, e faz-se inferências sobre a população estudada. Do ponto de vista matemático, a estatística

paramétrica faz mais suposições sobre a população do que a estatística não paramétrica. Havendo acuracidade nessas suposições, a vantagem da análise paramétrica produz estimativas mais precisas dos resultados, ou seja, com menor desvio padrão.

Há diversos testes para se determinar se uma determinada série de dados segue uma distribuição probabilística. No presente trabalho, somente a hipótese dos dados seguirem uma distribuição normal foi considerada. Para determinar se estes dados são normais, deve-se fazer o chamado teste de normalidade.

Conforme apresenta Fitrianto e Chin (2016), há diversas formas de determinar a normalidade de um banco de dados, sendo os métodos mais fáceis através de histogramas, *plots* Q-Q e *box-plot*. Tais métodos são conhecidos com métodos gráficos (ou qualitativos) e embora tenham sido amplamente utilizados no passado, não fornecem tão boa acuracidade, uma vez que dependem da subjetividade do pesquisador que analisa. Há também os chamados testes quantitativos, cujos mais utilizados são (1) Anderson-Darling; (2) Ryan-Joiner e (3) Kolmogorov-Smirnov, conforme apresenta Razali e Wah (2011). Tais testes garantem, através de índices específicos, a normalidade ou não de determinado dado. Maiores detalhes de como cada um destes testes é realizado, pode ser encontrado em Razali e Wah (2011) e Fitrianto e Chin (2016).

Caso sejam normalmente distribuídos, os intervalos de confiança dos ensaios podem ser obtidos com a seguinte equação:

$$X = \mu \pm 1,96 \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad (2.3)$$

Onde X é o valor de interesse, μ é o valor médio dos dados, σ é o desvio padrão e n o tamanho da amostragem.

Caso um dos três testes rejeite a H_0 , a desigualdade de Chebyshev será usada (Navarro, 2016). Nessa situação, para uma confiabilidade de 95%, a seguinte equação deve ser aplicada:

$$X = \mu \pm 4,67 \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad (2.4)$$

Onde X é o valor de interesse, μ é o valor médio dos dados, σ é o desvio padrão e n o tamanho da amostragem.

Observando as equações 2.3 e 2.4 conclui-se que o objetivo do teste de normalidade neste trabalho é determinar com maior precisão o intervalo de confiança dos testes realizados, visto que se comprovada a distribuição normal dos dados, o

intervalo de confiança da medição é multiplicado por 1,96 desvios padrões dividido pela raiz quadrada do tamanho da amostra, enquanto que se essa hipótese não for considerada, o intervalo de confiança é multiplicado por 4,67. Ressalta-se que todos os testes de normalidade utilizados foram feitos com auxílio do programa Minitab®.

2.4 CONCEITOS DE CIÊNCIAS DOS MATERIAIS

No desenvolvimento de projetos de estruturas metálicas, além do correto dimensionamento, é de considerável importância a seleção do material usado, evitando assim falhas, tanto devido à sobrecargas externas, quanto devido à corrosão e conseqüente redução da vida útil do material.

No processo de desenvolvido do presente trabalho, tais variáveis foram consideradas no processo decisório de escolha do material do parafuso, bem como dos materiais para a estrutura utilizada no estudo de caso (seção 4.4.).

Nesta seção são apresentados alguns conceitos e características dos materiais usados nas telhas e parafusos de estruturas metálicas, servindo para mostrar as principais informações relacionadas à ciência dos materiais que foram utilizadas no desenvolvimento deste projeto.

2.4.1 DIFERENÇA ENTRE TELHAS DE AÇO GALVANIZADO E GALVALUME®

Devido às suas excelentes propriedades mecânicas, tais como alta resistência, dureza e ductibilidade, chapas de aço são largamente utilizadas para revestimento de estruturas metálicas. Entretanto, apesar de apresentarem boa conformidade e resistência, uma desvantagem do aço é sua suscetibilidade à corrosão na presença de umidade, o que traz a necessidade de proteções para evitar degradação precoce das estruturas.

Conforme apresenta Coni et al. (2009), as principais formas de proteção contra a corrosão são: (1) adição de elementos de liga; (2) mudança do ambiente, com redução de umidade ou usando inibidores; (3) controle do potencial eletroquímico, aplicado correntes catódicas ou anódicas e (4) aplicando revestimentos orgânicos ou metálicas.

Para a confecção de telhas metálicas de aço, a proteção mais comum contra corrosão é a aplicação de revestimentos metálicos. Metais ou ligas são usualmente

adicionados como camada protetora das chapas de aço. Dentre estes materiais, os metais mais usados para a camada de proteção são: zinco, alumínio e silício.

Quando zinco é usado como camada metálica protetora, o processo é chamado de galvanização. O processo mais comum é a galvanização por imersão à quente, em que as chapas são imersas em um banho de zinco fundido, mas podem também ocorrer através de banho eletrolítico (os íons de zinco são colocados em uma solução com polo positivo enquanto o material que receberá a proteção é conectado ao polo negativo) ou através de cementação. De forma geral, a espessura média da parede de proteção é de 19 μm de zinco, de ambos os lados da chapa, correspondendo a um aumento de massa de 275 g/m^2 (Coni et al., 2009).

A galvanização é a proteção metálica mais usada em aços contra a corrosão. Além da proteção mecânica, devido ao revestimento, a galvanização oferece uma segunda forma de proteção, a de anodo de sacrifício (corrente anódica). Esta segunda proteção acontece caso a superfície de revestimento seja danificada e o ar entre em contato o aço. Neste caso, o aço ainda continua protegido, pois o ambiente corrosivo irá corroer preferencialmente o zinco, conforme apresenta Aguiar (2003).

Outro material amplamente utilizado na confecção de telhas de aço é galvalume®. Esta liga é o nome comercial da mistura de 55% alumínio, 43,5% zinco e 1,5% de silício (comumente apresentada como 55% Al-Zn).

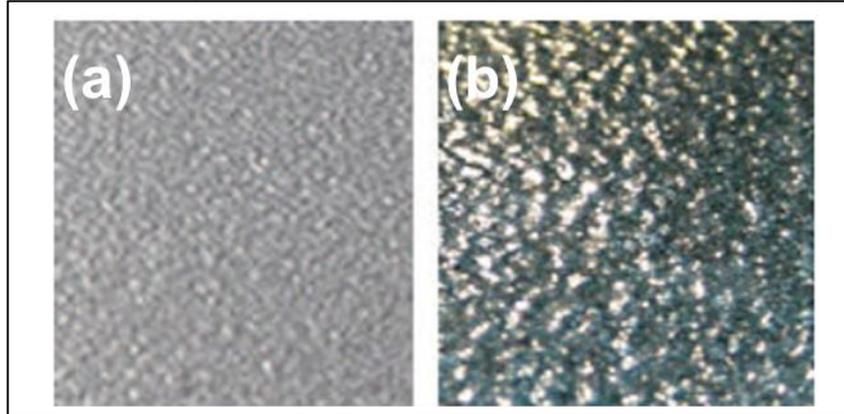
O processo de aplicação desta liga na chapa de aço ocorre de maneira similar ao processo de galvanização, sendo a principal diferença no processo de imersão a temperatura de fusão: enquanto o zinco funde à 465 °C, a liga de alumínio, zinco e silício funde à 600 °C. A vantagem deste processo é aumentar a durabilidade do material (devido à presença do alumínio), enquanto a resistência à corrosão ainda é mantida devido à presença do zinco. Além disso, devido à maior temperatura de fundição da liga, o galvalume® apresenta resistência e ductibilidade maiores que chapas de aços galvanizadas, conforme concluiu Coni et al. (2019).

A Figura 2.9 ilustra a diferença que estes processos geram na textura final da chapa. Observa-se que os cristais visíveis são menores e mais próximos em revestimentos de galvalume®, gerando um acabamento superficial mais suave.

A desvantagem do galvalume® em relação aos galvanizados consiste na baixa resistência à corrosão quando em torno de concreto e argamassa, pois estes materiais geram um ambiente alcalino que promove rápida corrosão do galvalume®. O aço galvanizado oferece maior proteção à corrosão nestes casos. Entretanto, no

presente trabalho, como somente estruturas metálicas são consideradas, telhas de aço com revestimento de galvalume® foram utilizadas por suas melhores propriedades de resistência e ductibilidade.

FIGURA 2.9 – Diferença entre uma chapa de aço com (a) galvalume® e (b) zinco



FONTE: Disponível em < <https://www.uscooler.com/support/buying-guide/> >, acesso 16/03/2020, adaptado.

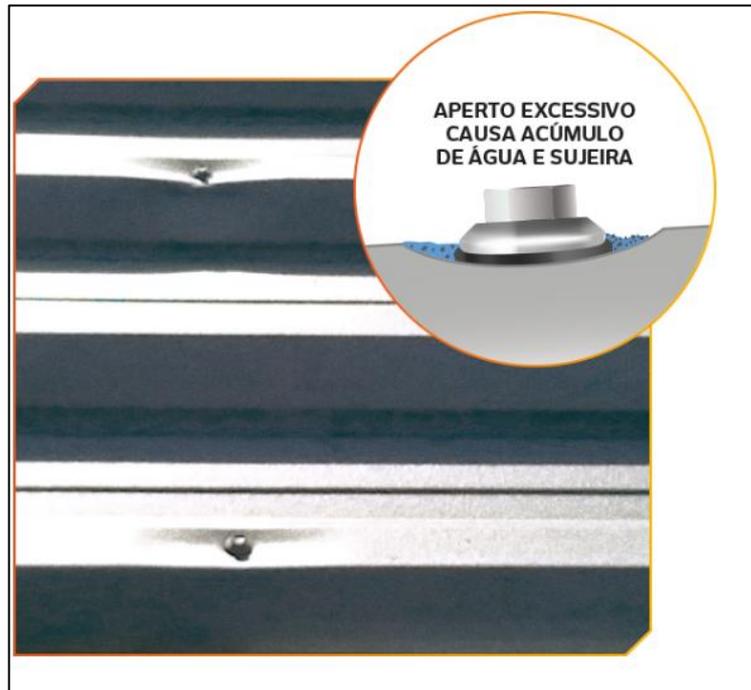
2.4.2 CORROSÃO E SELEÇÃO DO MATERIAL DO PARAFUSO

Conforme define Callister (2007), a corrosão é um ataque eletroquímico destrutivo que ocorre usualmente nas superfícies de materiais metálicos ou não metálicos. Ela provoca a perda de material por dissolução, o que gera problemas estéticos, econômicos e principalmente estruturais, pois pode comprometer as propriedades mecânicas do material atacado.

É comum classificar a corrosão conforme a maneira com que ela se manifesta, sendo os tipos mais comuns apresentados: uniforme; galvânica ou eletrolítica; em frestas; por pites; intragranular; erosão por corrosão; corrosão sob tensão; lixívia seletiva.

Em telhas de aço galvanizadas ou de galvalume®, a corrosão mais comum é a corrosão galvânica. Este tipo de corrosão ocorre quando dois metais são acoplados eletricamente ao mesmo tempo que são expostos à um eletrólito. Em telhas, este fenômeno ocorre devido a ações como: instalações incorretas de objetos na cobertura, amassamento da telha durante a instalação — que permite o acúmulo de água (Figura 2.10), choques devidos à objetos lançados sobre o telhado, etc. Tais ações podem desgastar o revestimento metálico de proteção e provocar a corrosão galvânica.

FIGURA 2.10 – Ilustração de como o torque excessivo pode provocar pontos críticos para ocorrência de corrosão



FONTE: Disponível em < <https://blog.hard.com.br/cobertura-sem-goteiras-diga-adeus-as-infiltracoes-do-telhado/>>, acesso 18/03/2020, adaptado.

Sade et al. (2019) apresentaram um estudo que mostra como a corrosão galvânica altera significativamente as proporções dos elementos químicos da telha e de seu revestimento (camada de proteção metálica), gerando irregularidades e reduzindo o revestimento de proteção. A Figura 2.11 apresenta algumas destas irregularidades, sendo que mesmo uma proteção de pintura não evitou irregularidades na estrutura.

Os mesmos danos estruturais apresentados no trabalho de Sade et al. (2019) são encontrados também em telhas de aço galvanizadas, conforme apresenta Aguiar (2003) e Amaral (2016). Neste caso, observa-se a corrosão branca (do zinco) e a corrosão vermelha (do aço).

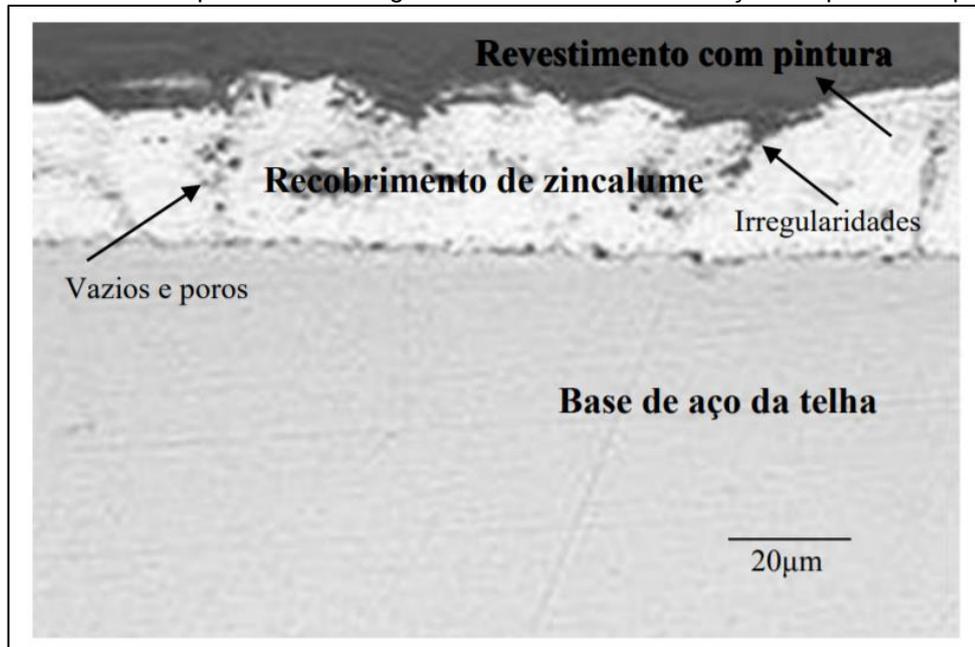
O desenvolvimento do parafuso proposto no presente trabalho levou em consideração o que fato de atarraxamento pode ser um fator agravante para a corrosão, por isso, foi proposto para que ele não seja atarraxado, mas fixado de forma que os filetes da rosca "calcem" a chapa, conforme será apresentado na seção 3.1.

É importante ressaltar que o material escolhido para fabricação do presente parafuso foi o aço 1045, que também pode sofrer corrosão galvânica no contato com

a telha de aço com revestimento metálico de proteção. O principal motivo de sua escolha foi sua alta usinabilidade.

Em termos de prototipagem, o principal parâmetro analisado no presente trabalho foi a influência da altura do filete da rosca. Como o parafuso não foi fabricado em série e não sofreu influência do ambiente externo, pois foi fixado somente para realização do teste de *pull-out*, uma variável importante para a seleção do material foi sua facilidade de fabricação. Em uma possível produção em série, para mitigar os efeitos de corrosão aqui apresentados, um tratamento posterior com revestimento metálico deverá ser realizado, afim de evitar corrosão e redução da vida útil do parafuso.

FIGURA 2.11 – Exemplo de corrosão galvânica em uma telha de aço com pintura de proteção



FONTE: Sade et al. (2019).

Nota: Zinco é um sinônimo de galvalume®.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Nesse capítulo os detalhes referentes ao dimensionamento, fabricação e montagem do novo parafuso para ensaios de pull-out são descritos. Além disso, a metodologia aplicada para análise dos dados coletados nos ensaios é também apresentada, bem como um estudo de caso para observar a viabilidade da aplicação do parafuso proposto em um projeto real.

3.1 DEFINIÇÃO DO FORMATO DO NOVO PARAFUSO

A FIGURA 3.1 apresenta o formato de um parafuso comercial e a FIGURA 3.2 o formato do parafuso proposto. O apêndice A do presente trabalho apresenta os desenhos técnicos do parafuso proposto em maiores detalhes e o apêndice B mostra o registro de patente do parafuso proposto. Note que ambos parafusos apresentam as mesmas características mecânicas: são parafusos de perfil triangular com rosca à direita. A diferença entre eles é o comprimento e o tamanho do filete da rosca.

O comprimento foi alterado de 19 mm para 65 mm, possibilitando assim que a fixação em onda alta ocorra, conforme ilustra a FIGURA 3.3. O parafuso proposto apresenta altura do filete quatro vezes maior que a do parafuso comercial, entretanto, possui o mesmo diâmetro menor. O valor do diâmetro maior utilizado seguiu o padrão para um valor de diâmetro nominal de $D = 8$ mm, com diâmetro menor de $d = 4,60$ mm.

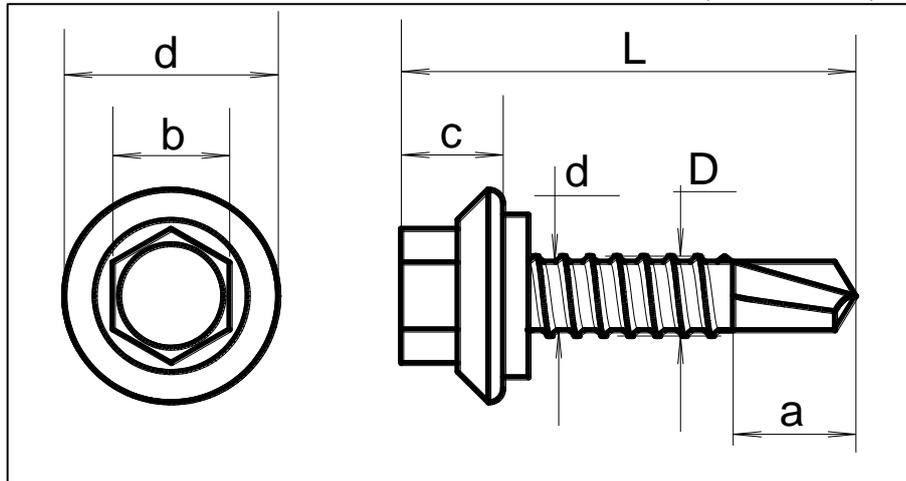
Com essa altura maior, a proposta é que os filetes "calcem" a chapa, visto que essa se conforma com a geometria do helicóide da rosca do parafuso no entorno do furo, alojando-se entre dois filetes, conforme apresenta a FIGURA 3.4. O movimento circular durante a colocação do parafuso resulta em uma interação de estiramento e contração localizados, formando um efeito mola (*springback*) entre o parafuso e a chapa conformada. Esse efeito mola da chapa fina da terça mantém o parafuso estável sem a necessidade de atarraxamento.

Essa proposta foi idealizada após a leitura do trabalho de Mahaarachchi e Mahendran (2005), que mostrou que as dimensões do parafuso podem influenciar na resistência final do conjunto terça-telha.

Ressalta-se que a proposta é que o parafuso seja fixado em onda alta, diferentemente da forma que ele é aplicado hoje, em onda baixa. O principal ganho,

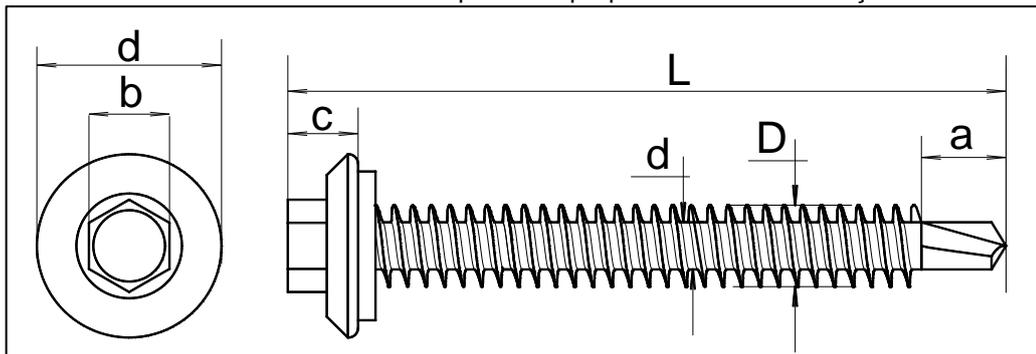
além do aumento de resistência, seria a diminuição da probabilidade de infiltração de águas pluviais.

FIGURA 3.1 – Parafuso utilizado em coberturas atuais (marca Hard®)



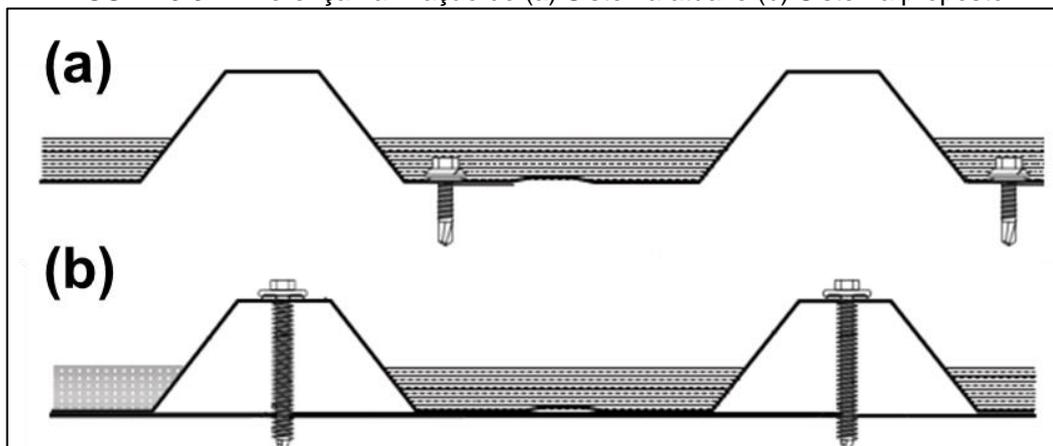
FONTE: Disponível em < <https://blog.hard.com.br/TABELA-de-cargas-para-fixadores-autoperfurantes/>>, acesso 18/09/2019, adaptado.

FIGURA 3.2 – Modelo do parafuso proposto nessa dissertação



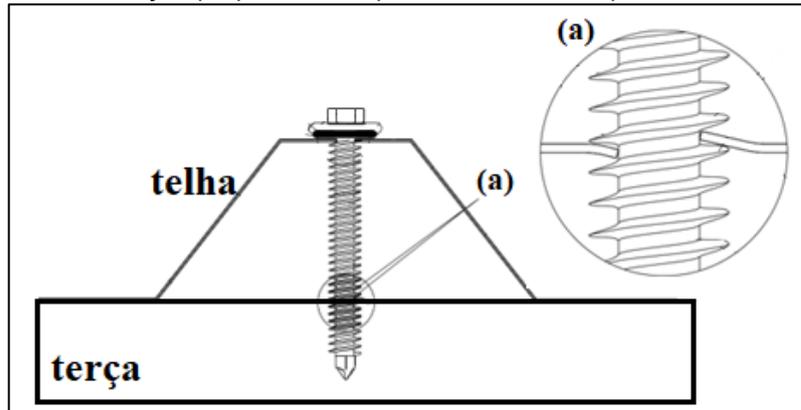
FONTE: O autor (2020).

FIGURA 3.3 – Diferença na fixação do (a) Sistema atual e (b) Sistema proposto



FONTE: O autor (2020).

FIGURA 3.4 – Ilustração do sistema de fixação proposto em onda alta: (a) detalhe do sistema de fixação proporcionado pelo filete maior do parafuso



FONTE: O autor (2020).

3.2 FABRICAÇÃO DO NOVO PARAFUSO

Após definição do formato, três amostras em aço 1045 foram confeccionadas com auxílio de um torno mecânico. A FIGURA 3.5 apresenta as amostras finalizadas e a FIGURA 3.6 apresenta uma comparação entre os filetes do presente parafuso e os filetes do parafuso comercial da marca Hard®.

FIGURA 3.5 – Protótipo do parafuso proposto nessa dissertação



FONTE: O autor (2020).

FIGURA 3.6 – Protótipo da rosca do parafuso proposto e do parafuso comercial utilizados no ensaio de *pull-out*



FONTE: O autor (2020).

3.3 MONTAGEM DAS AMOSTRAS PARA O ENSAIO

Seguindo as padronizações propostas nos trabalhos de Mahendran e Tang (1998) e Mahendran e Mahaarachchi (2000), as fixações foram realizadas conforme FIGURA 3.7. É importante ressaltar que o ensaio proposto representa um modelo para estudo de aderência parafuso-chapa metálica, ou seja, o contato em uma conexão parafuso-terça, conforme foi apresentado na FIGURA 3.3. O objetivo do ensaio é analisar o aumento de resistência dessa conexão ao se usar um filete quatro vezes maior que a altura dos filetes dos parafusos atualmente utilizados.

A FIGURA 3.7 mostra o protótipo do corpo do parafuso modelo aparafusado em uma telha, a qual representa uma terça de chapa fina. Este aparato foi

desenvolvido para utilizar telha trapezoidal para fazer o papel de terça. O motivo desta escolha foi pela dificuldade em adquirir uma amostra de terça em chapa fina com espessura menor do que 1,90 mm. Telhas trapezoidais são facilmente encontradas em empresas distribuidoras de aço. As telhas são conformadas com chapas do mesmo tipo de material utilizadas para a conformação de terças de chapas finas. Por essa razão foram utilizadas amostras de telhas ao invés de terças para os ensaios.

Adota-se como chapas finas, neste trabalho, as chapas com espessuras com até 1,90 mm.

FIGURA 3.7 – Exemplo de elemento montado para ensaio



FONTE: O autor (2020).

Ao todo, 22 amostras similares as montagens apresentadas na FIGURA 3.7 foram testadas. Desse total:

- 6 amostras foram feitas com telhas de aço revestido com galvalume, com espessura total de 0,43 mm e resistência ao escoamento de 550 MPa (G550);
- 10 amostras foram feitas com telhas de aço revestido com galvalume, com espessura total de 0,50 mm e resistência ao escoamento de 250 MPa (G250);
- 6 amostras foram feitas com telhas de aço revestido com galvalume, com espessura total de 0,65 mm e resistência ao escoamento de 250 MPa (G250);

É importante salientar que para obtenção de resultados mais representativos estatisticamente, Lapponi (2005) recomenda ao menos 30 ensaios para cada chapa, ou seja, ao todo, seria necessários 90 ensaios. Entretanto, o número total de ensaios foi de 22 (aproximadamente 25% do total). Para compensar esse número menor de ensaios, não somente um teste de normalidade na análise dos dados foi considerada, mas três, a fim de suprir — dentro das limitações — esse menor número de amostras.

Salienta-se que embora estatisticamente um número mínimo de 30 ensaios seja recomendado, a norma ABNT NBR 14762:2010, nos itens 9.4 e 9.5, recomenda um número mínimo de 3 ensaios, condição essa que foi atendida no presente trabalho.

Para cada espessura de chapa, um parafuso foi testado, por esse motivo, três parafusos de dimensões idênticas foram fabricados. Dessa forma, dois parafusos foram ensaiados 6 vezes e o terceiro parafuso foi ensaiado 10 vezes.

A FIGURA 3.8 apresenta as chapas usadas no ensaio. Os elementos de apoio usados para simular o contato terça-telha é apresentado na FIGURA 3.9. A FIGURA 3.10 apresenta todos os elementos usados na montagem dos ensaios experimentais.

FIGURA 3.8 – Chapas usadas no ensaio



FONTE: O autor (2020).

FIGURA 3.9 – Elementos de apoio da chapa



FONTE: O autor (2020).

FIGURA 3.10 – Chapas e elementos usados



FONTE: O autor (2020).

3.4 ENSAIO DE TRAÇÃO

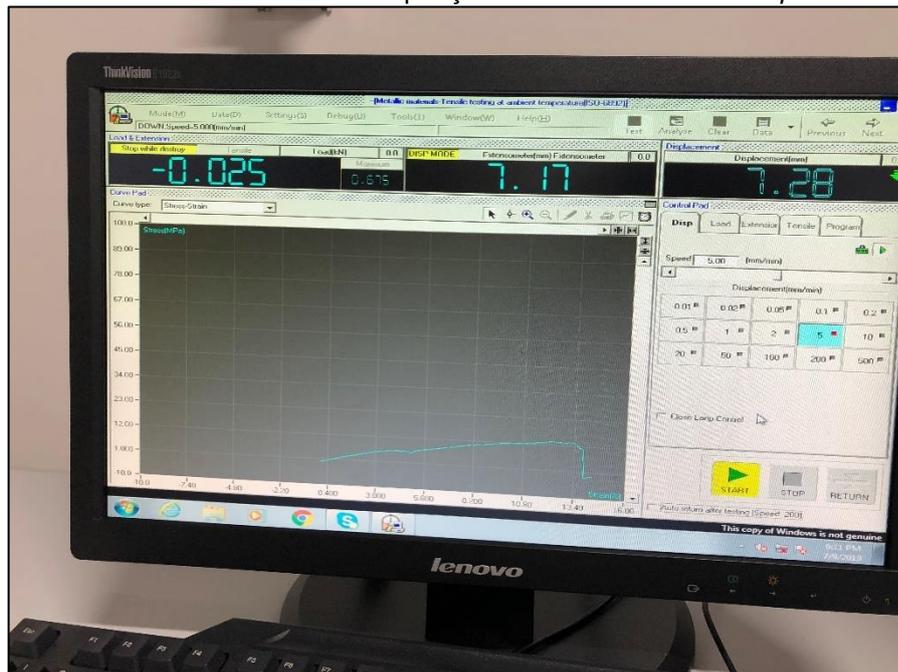
A proposta do presente trabalho é o desenvolvimento de um parafuso que resista ao esforço *pull-out*—explicado na seção 2.2.3 do presente trabalho e ilustrado na FIGURA 2.7a. Essa solicitação por tração é o principal esforço sofrido na conexão terça-telha e por esse motivo foi ensaiado nesse estudo. Demais ensaios não foram realizados, pois a confecção desse novo parafuso (com rosca quatro vezes maior) não vislumbra melhoramento em outros tipos de esforços. Mahaarachchi e Mahendran (2005) mostrou que a mudança da cabeça do parafuso pode aumentar a resistência ao: (1) Puncionamento da chapa (*pull-over*); (2) Deslizamento do parafuso através da chapa (*pull-through*) e (3) Distorção da chapa (*gross distortion of sheeting*). Entretanto, esse trabalho não objetivou essa análise, pois a mudança proposta não foi na cabeça do parafuso, mas sim na sua rosca.

A FIGURA 3.11 apresenta o elemento montado na máquina universal de ensaios modelo é WAW-100 (NP-CDY1513), com faixa nominal de medição de 0 a 100 kN (compressão e tração). Essa máquina se encontra no Laboratório de Metrologia e Ensaio dos Materiais do Centro Tecnológico do Centro Universitário UNIVEL, localizado em Cascavel (PR). O certificado de calibração do equipamento é apresentado no apêndice C. Os dados foram coletados com auxílio do programa WIN-WAW apresentado na FIGURA 3.12 e posteriormente analisados seguindo a metodologia explicada na seção 3.5.

FIGURA 3.11 – Elemento montado para ensaio de *pull-out*



FONTE: O autor (2020).

FIGURA 3.12 – Sistema de aquisição de dados do ensaio de *pull-out*

FONTE: O autor (2020).

3.5 TRATAMENTO ESTATÍSTICO DOS RESULTADOS COLETADOS

Para se determinar a resistência *pull-out* final do parafuso com um intervalo de confiança, alguns testes estatísticos foram realizados. Analisou-se primeiramente se nos resultados de resistência ao *pull-out* obtidos havia *outlier*, devido à algum erro de execução do ensaio. Para isso, se utilizou o teste *boxplot*, com intervalor interquartil de $1,5 (\pm 1,5 * IQR)$. Assim, valores que se encontrassem fora desse intervalo, foram descartados da análise.

A partir dos resultados de resistência ao arrancamento (*pull-out*), três testes de normalidade foram realizados: (1) Anderson-Darling; (2) Ryan-Joiner e (3) Kolmogorov-Smirnov.

A metodologia proposta foi que se algum dos três testes apresentasse que os dados não estavam normalmente distribuídos, a hipótese de normalidade dos dados seria descartada.

Em todos os três testes, as seguintes hipóteses são consideradas:

- H_0 : a amostra segue uma distribuição normal
- H_1 : a amostra não segue uma distribuição normal

Para que as amostras sejam aceitas com uma confiabilidade de 95%, é necessário que o *p-value* seja maior que 0,05, caso contrário a hipótese H_0 é rejeitada,

o que quer dizer que H_1 é aceita, ou seja, os dados não seguem uma distribuição normal.

3.5.1 COMPARAÇÃO ENTRE OS VALORES DE *PULL-OUT*

Os dados de resistência ao *pull-out* obtidos foram então comparados com os dados de resistência ao *pull-out* fornecidos pelo fabricante Hard® e com dados encontrados na literatura.

Como os dados do fabricante Hard® e dos trabalhos de Mahendran (1994), Mahendran e Tang (1998) e Mahendran e Mahaarachchi (2000) forneciam valores de resistência ao *pull-out* com chapas de espessuras diferentes das usadas no presente trabalho, regressões lineares com os dados fornecidos pelo fabricante foi realizada, afim de obter um equação que aproximasse de forma acurada os valores de resistência para as espessuras utilizadas no presente trabalho, que foram: 0,43 mm, 0,50 mm e 0,65 mm.

As regressões lineares foram realizadas com auxílio do programa Excel®. Como forma de comprovar a acuracidade da regressão realizada, os testes de R, R^2 e ANOVA foram também apresentados nos resultados.

3.6 METODOLOGIA PARA ACESSAR A VIABILIDADE DE APLICAÇÃO DO PARAFUSO PROPOSTO

Além da análise estatística com relação à resistência do parafuso, um estudo de caso para levantar a viabilidade econômica da aplicação do parafuso proposto foi também realizado. A edificação considerada é apresentada no Apêndice D da presente dissertação. Está localizada no município de Cascavel (PR), sendo a área de projeção da estrutura metálica 2.526,32 m² e a área de fechamento vertical: 900,00 m².

Para o dimensionamento da estrutura, as seguintes normas foram consideradas: (1) ABNT NBR 8800:2008 — Projeto de estrutura de aço e de estrutura mista de aço e concreto de edifícios; (2) ABNT NBR 6123:1988 — Forças devidas ao vento em edificações; (3) ABNT NBR 6120:2019 (Versão Corrigida:2019) — Cargas para o cálculo de estruturas de edificações e (4) ABNT NBR 14762:2001 — Dimensionamento de estruturas de aço constituídas por perfis formados a frio.

As tolerâncias de deslocamento máximos consideradas atendem às recomendações descritas na TABELA C.1 do anexo C da ABNT NBR 8800:2006 (FIGURA 3.13), que preconiza:

- Vigas Vigadas: flecha vertical $L/250$
- Terças de cobertura: flecha vertical $L/180$ e Terças de fechamento: flecha horizontal $L/120$

As cargas consideradas para o cálculo da estrutura são apresentadas na TABELA 3.1 e os materiais usados no projeto são apresentados na TABELA 3.2.

FIGURA 3.13 – Deslocamentos máximos apresentados na Tabela C.1 da ABNT NBR 8800:2006

Descrição	δ ¹⁾
- Travessas de fechamento	$L/180$ ²⁾
	$L/120$ ³⁾⁴⁾
- Terças de cobertura ⁷⁾	$L/180$ ⁵⁾
	$L/120$ ⁶⁾
- Vigas de cobertura ⁷⁾	$L/250$
- Vigas de piso	$L/350$ ⁸⁾
- Vigas que suportam pilares	$L/500$
Vigas de rolamento: ¹⁰⁾	
- Deslocamento vertical para pontes rolantes com capacidade nominal inferior a 200 kN	$L/600$ ⁹⁾
- Deslocamento vertical para pontes rolantes com capacidade nominal igual ou superior a 200 kN, exceto pontes siderúrgicas	$L/800$ ⁹⁾
- Deslocamento vertical para pontes rolantes siderúrgicas com capacidade nominal igual ou superior a 200 kN	$L/1000$ ⁹⁾
- Deslocamento horizontal	$L/400$
Galpões em geral e edifícios de um pavimento:	
- Deslocamento horizontal do topo em relação à base ¹¹⁾	$H/300$
- Deslocamento horizontal do nível da viga de rolamento em relação à base	$H/400$ ¹²⁾
Edifícios de dois ou mais pavimentos:	
- Deslocamento horizontal do topo em relação à base	$H/400$
- Deslocamento horizontal relativo entre dois pisos consecutivos	$h/500$ ¹³⁾
NOTAS:	
¹⁾ L é o vão teórico entre apoios (para vigas biapoiadas) ou o dobro do comprimento teórico do balanço, H é a altura total do pilar (distância do topo à base) ou a distância do nível da viga de rolamento à base, h é a altura do andar (distância entre centros das vigas de dois pisos consecutivos).	
²⁾ Deslocamento entre linhas de tirantes, paralelo ao plano do fechamento.	
³⁾ Deslocamento perpendicular ao plano do fechamento.	
⁴⁾ Considerar apenas as ações variáveis perpendiculares ao plano de fechamento (vento no fechamento) com seu valor raro.	
⁵⁾ Considerar combinações raras de serviço, utilizando-se ações variáveis de mesmo sentido que o da ação permanente.	
⁶⁾ Considerar apenas as ações variáveis de sentido oposto ao da ação permanente (vento de sucção) com seu valor raro.	
⁷⁾ Em telhados com pequena declividade, deve-se também evitar a ocorrência de empoçamento.	
⁸⁾ Caso haja paredes de alvenaria sobre ou sob a viga, o deslocamento vertical também não deve exceder 15 mm.	
⁹⁾ Valor não majorado pelo coeficiente de impacto.	
¹⁰⁾ Considerar combinações raras de serviço.	
¹¹⁾ No caso de paredes de alvenaria, limitar também o deslocamento horizontal (perpendicular à parede) de maneira que a abertura da fissura que possa ocorrer na base da parede não seja superior a 1,5 mm, entendida a parede como painel rígido (figura C.2).	
¹²⁾ No caso de pontes rolantes siderúrgicas, o deslocamento também não pode ser superior a 50 mm.	
¹³⁾ Considerar apenas o deslocamento provocado pelas forças cortantes no andar considerado, desprezando-se os deslocamentos provocados pelas deformações axiais dos pilares e vigas.	

FONTE: ABNT NBR 8800:2006.

Com base nessas informações, a estrutura da cobertura utilizada apresentou as seguintes dimensões:

- Dimensão entre eixos de pilares extremos: 40,70 x 60,70 m;
- Distância entre tesouras: 8,62 m
- Distância entre apoios das tesouras: 40,70 m
- Altura entre o piso e o banzo inferior da tesoura: 7,10 m
- Pilares metálicos em perfil W.
- Peso estimado da estrutura metálica, incluso fechamentos e apoio do forro: 73,20 toneladas.

TABELA 3.1 – Descrição das cargas consideradas no desenvolvimento do projeto

Tipo	Especificação
Quanto ao vento	Velocidade básica do vento V_0 : 48 m/s (NBR 6123); Fator S1 – Topográfico: terreno plano ou fracamente acidentado Fator S2 – Rugosidade: categoria III Fator S3 – Estatístico: Grupo 2 (comércio e indústria com alto fator de ocupação) Coeficientes de pressão interna CP_i Consideração de duas hipóteses a fim de identificar a situação mais desfavorável com edificação fechada, sem abertura dominante: Hipótese 1 - $CP_i = + 0,2$ Hipótese 2 - $CP_i = - 0,3$
Quanto a sobrecarga (SC)	Sobrecarga Acidental de Norma (SC): 25 Kgf/m ² Sobrecarga de forro: painel frigorífico com espessura de 100 mm composto de duas chapas de aço de 0,50 mm cada e núcleo de material isolante - PIR (polisocianurato). Peso próprio do forro: 17,00 Kg/m ² , sem considerar as longarinas para sustentação dos painéis.
Quanto a Carga Permanente (CP)	a) Peso próprio da estrutura (tesouras, terças e estrutura do forro). b) Telhas da cobertura: telhas singelas de aço galvanizado seção trapezoidal 40 mm, com espessura de 0,50 mm: 5,5 Kgf/m ² (inclusos acessórios de fixação e vedação)
Quanto aos carregamentos de equipamentos sobre o forro	Carga de equipamentos: 100,00 Kgf/m ² . Cargas inclusas: dutos para o sistema de refrigeração, redes de tubulações de água para combate a incêndios, tubulações de amônia, cabos elétricos, iluminação e equipamentos diversos apoiados no nível do forro até o limite máximo de 100 Kgf/m ² .

FONTE: O autor (2020).

Para preparação e acabamento, considerou-se: (1) limpeza com jateamento abrasivo com granalha de aço conforme norma PETROBRAS N-9:2003, tipo metal quase branco - grau SA 2½ e (2) proteção anticorrosiva: pintura em epóxi com espessura total de 120 micrometros de película seca;

TABELA 3.2 – Descrição dos materiais considerados no desenvolvimento do projeto

Tipo	Especificação
Aço estrutural para vigas principais	USI-Civil-350. Resistência ao escoamento f_y : 350 MPa. Resistência à ruptura f_u : 450 MPa.
Aço estrutural para vigas secundárias (terças e fechamentos verticais):	CF – 30 da NBR 6650: Tensão de Escoamento = 300MPa;
Perfis laminados	ASTM A-572: Tensão de Escoamento = 345MPa;
Perfis W	ASTM A-572 GR 50: $f_y=345$ MPa e $f_u=450$ MPa.
Chumbadores, barras de seção circular e barras chatas	ASTM A-36. Tensão de Escoamento: 250MPa. Resistência à ruptura f_u : 400 MPa.
Soldas	Eletrodo E-70SX – Resistência à tração da solda – f_w 485 MPa
Parafusos e porcas para ligações principais	ASTM A325
Parafusos e porcas para ligações secundárias	ASTM A307. Galvanizados à fogo.

FONTE: O autor (2020).

Como o objetivo do estudo de caso é apresentar a viabilidade econômica do parafuso proposto, dois tipos de fixadores e de costuras para a cobertura e fechamento vertical foram usados:

- (a) Opção com fixadores em onda baixa (comercialmente utilizados): parafusos fixadores (11.323 unidades) e parafusos de costura (6.836 unidades);
- (b) Opção com fixadores em onda alta (proposto neste trabalho): parafusos fixadores (8.322 unidades) e parafusos de costura (5.064 unidades);

Os resultados encontrados sobre a viabilidade da aplicação do parafuso proposto no presente projeto são apresentados na seção 5.4. É importante salientar que esse projeto simula um projeto usualmente aplicado na construção civil, levando em consideração todos os detalhes construtivos que permeiam a realização de uma cobertura metálica.

4 RESULTADOS

Nesse capítulo são apresentados primeiramente os resultados obtidos com o teste de *pull-out* para o novo parafuso. Em seguida, são apresentados os resultados da comparação dessa resistência com valores de resistência ao *pull-out* dos parafusos do fabricante Hard® e com valores encontrados nos trabalhos de Mahendran (1994), Mahendran e Tang (1998) e Mahendran e Mahaarachchi (2000).

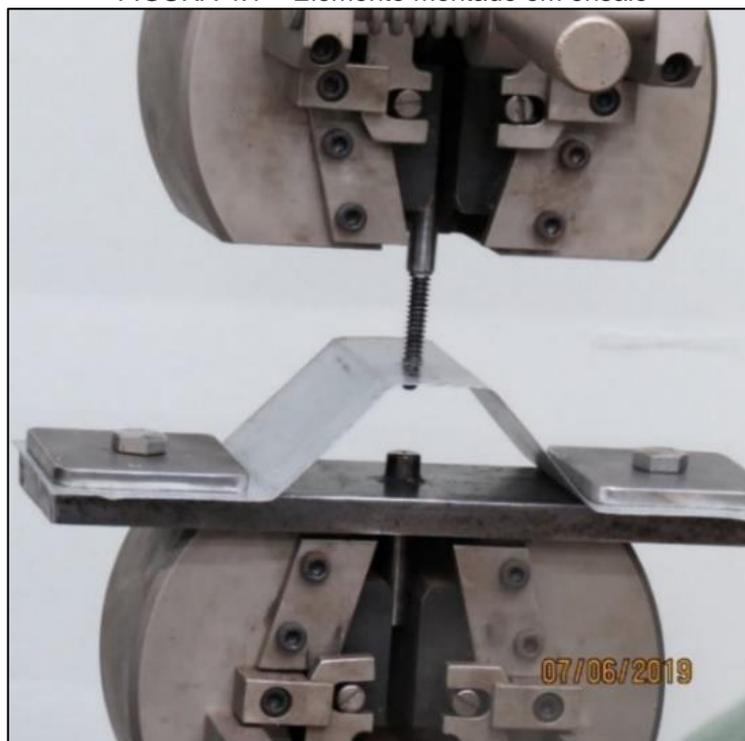
4.1 DETERMINAÇÃO DOS VALORES DE RESISTÊNCIA AO *PULL-OUT*

Após realizar os ensaios descritos no item 3.4 e aplicar a análise estatística conforme item 3.5 para as terças de chapas de 0,43 mm, 0,50 mm e 0,65 mm, os seguintes resultados foram encontrados.

4.1.1 TERÇA DE 0,43 mm

Foram realizados ensaios com 6 amostras de terças de 0,43 mm. A carga máxima suportada antes do início do deslizamento do fixador corresponde à coluna 2 da TABELA 4.1. As FIGURAS 4.1 e 4.2 ilustram o processo de ensaio, através de uma máquina universal de ensaios WAW-100, apresentada na seção 3.4.

FIGURA 4.1 – Elemento montado em ensaio



FONTE: O autor (2020).

FIGURA 4.2 – Processo de falha da terço durante o ensaio de *pull-out*

FONTE: O autor (2020).

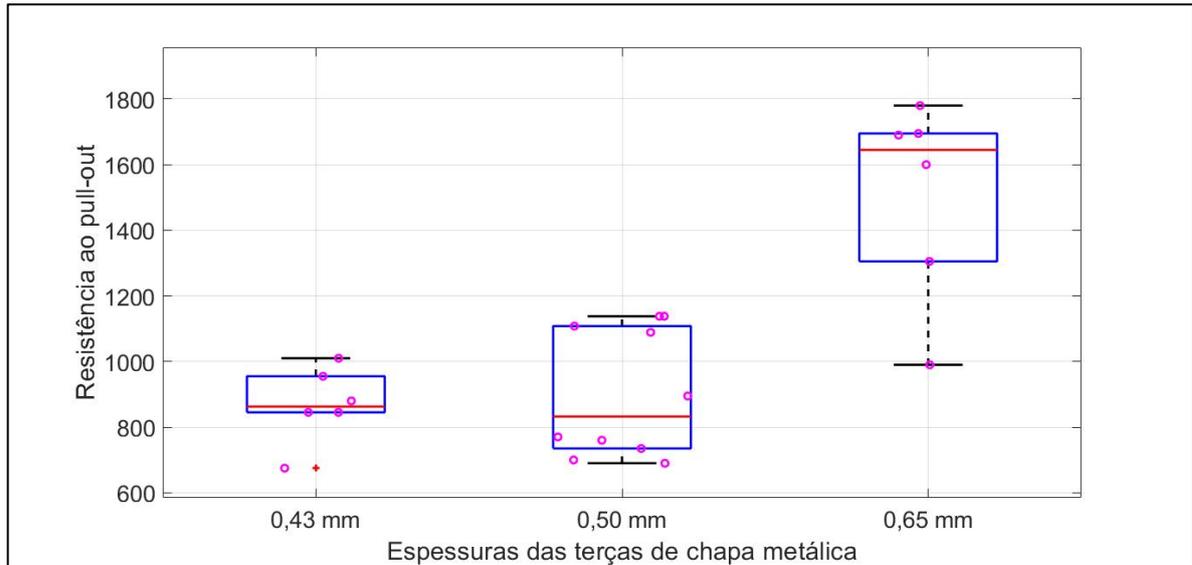
Antes da análise do valor médio de resistência ao *pull-out* com respectivo intervalo de confiança, o teste de identificação de *outlier* foi realizado conforme descrito no item 3.5. A terceira coluna da TABELA 4.1 mostra esse resultado. Pode-se observar que a amostra 6, pelo método do *box-plot*, foi identificada como *outlier*, assim, ela deve ser descartada da análise. A FIGURA 4.3 apresenta o *box-plot* para cada uma das chapas (0,43 mm, 0,50 mm e 0,65 mm). Note que o dado 675 N se encontra fora do intervalo do *box-plot* — a cruz vermelha observada na FIGURA 4.3 identifica o dado descartado para essa situação.

TABELA 4.1 – Carga (N) antes do escoamento do contato terço-telha usando chapa de 0,43 mm

Amostra	Carga <i>pull-out</i>	Teste de <i>outlier</i>
1	1010 N	FALSO
2	880 N	FALSO
3	845 N	FALSO
4	845 N	FALSO
5	955 N	FALSO
6	675 N	VERDADEIRO

FONTE: O autor (2020).

FIGURA 4.3 – *Box-plot* para os dados de resistência ao *pull-out* das chapas de 0,43 mm, 0,50 mm e 0,65 mm



FONTE: O autor (2020).

Utilizando como base a amostra 1 até 5 da TABELA 4.1, foi então realizado três testes de normalidade, para verificar se os dados podem ser considerados ou não normalmente distribuídos. A TABELA 4.2 apresenta o resultado dos três testes realizados.

TABELA 4.2 – Teste de normalidade para os dados da chapa de 0,43 mm

Teste	Conclusão	P-valor *
Anderson-Darling	Aceita H_0	0,277
Ryan-Joiner	Aceita H_0	0,100
Kolmogorov-Smirnov	Aceita H_0	0,150

FONTE: O autor (2020).

Nota:

* Para rejeitar H_0 , p-valor deve ser menor que 0,05 para confiabilidade de 95%.

O resultado do teste de normalidade da TABELA 4.2 mostra que pode ser considerar os dados como uma distribuição normal. Dessa forma o valor do erro da média dos valores da TABELA 4.1 podem ser calculados com a equação 3.1. O valor final obtido foi de $(9,0 \pm 0,6) \cdot 10^2$ N.

4.1.2 TERÇA DE 0,50 mm

Foram realizados ensaios com 10 amostras de chapa de 0,50 mm. A carga máxima suportada antes do início do deslizamento do fixador corresponde à coluna 2 da TABELA 4.3.

A terceira coluna da TABELA 4.3 apresenta o resultado do teste de *outlier* realizado. Como todas as amostras passaram no teste, todos os 10 pontos coletados foram considerados na análise da amostra. A FIGURA 4.3 ilustra esse resultado através do *box-plot* — pode-se observar que nenhum dado foi identificado como fora do intervalo.

TABELA 4.3 – Carga (N) antes do escoamento do contato terça-telha usando chapa de 0,50 mm

Amostra	Carga <i>pull-out</i>	Teste de <i>outlier</i>
1	1138 N	FALSO
2	1108 N	FALSO
3	1089 N	FALSO
4	700 N	FALSO
5	760 N	FALSO
6	735 N	FALSO
7	690 N	FALSO
8	770 N	FALSO
9	895 N	FALSO
10	1138 N	FALSO

FONTE: O autor (2020).

Os três testes de normalidade, para verificar se os dados de resistência ao *pull-out* da TABELA 4.3 podem ser considerados ou não normalmente distribuídos, são apresentados na TABELA 4.4. Pode-se observar que nessa situação, o teste de Anderson-Darling rejeitou a hipótese nula de normalidade dos dados, visto que o p-valor apresentou um valor menor que a significância permitida de $\alpha = 0,05$, para uma confiabilidade de 95 %.

Desta forma, para o cálculo do intervalo de confiança, a desigualdade de Chebyshev (Fitrianto e Chin, 2016) foi considerada, com nível de confiança de 95%. Portanto, o valor médio com sua respectiva incerteza foi de $(0,9 \pm 0,3) \cdot 10^3$ N.

TABELA 4.4 – Teste de normalidade para os dados da chapa de 0,50 mm

Teste	Conclusão	P-valor
Anderson-Darling	Rejeita H_0	0,037
Ryan-Joiner	Aceita H_0	0,080
Kolmogorov-Smirnov	Aceita H_0	0,076

FONTE: O autor (2020).

Nota:

* Para rejeitar H_0 , p-valor deve ser menor que 0,05 para confiabilidade de 95%.

4.1.3 TERÇA DE 0,65 mm

Foram realizados ensaios com 6 amostras de chapa de 0,65 mm. A carga máxima suportada antes do início do deslizamento do fixador corresponde à coluna 2 da TABELA 4.5.

Antes da análise da média com respectivo intervalo de confiança, o teste de identificação de *outlier* foi realizado. A terceira coluna da TABELA 4.5 mostra esse resultado, que também é ilustrado na FIGURA 4.3. Como todas as amostras passaram no teste, todos os 6 pontos coletados foram considerados na análise.

TABELA 4.5 – Carga (N) antes do escoamento do contato terça-telha usando chapa de 0,65 mm

Amostra	Carga <i>pull-out</i>	Teste de outlier
1	1600 N	FALSO
2	1695 N	FALSO
3	1780 N	FALSO
4	1690 N	FALSO
5	1305 N	FALSO
6	990 N	FALSO

FONTE: O autor (2020).

Os três testes de normalidade, para verificar se os dados podem ser considerados ou não normalmente distribuídos, são apresentados na TABELA 4.6. Todos os testes aceitaram a hipótese nula (H_0) de normalidade dos dados, desta forma, considerou-se para o cálculo do intervalo de confiança que a amostra é normalmente distribuída. Assim, o valor médio com sua respectiva incerteza foi de: $(1,5 \pm 0,3) \cdot 10^3$ N.

TABELA 4.6 – Teste de normalidade para os dados da chapa de 0,65 mm

Teste	Conclusão	P-valor
Anderson-Darling	Aceita H_0	0,135
Ryan-Joiner	Aceita H_0	0,100
Kolmogorov-Smirnov	Aceita H_0	0,138

FONTE: O autor (2020).

Nota:

* Para rejeitar H_0 , p-valor deve ser menor que 0,05 para confiabilidade de 95%.

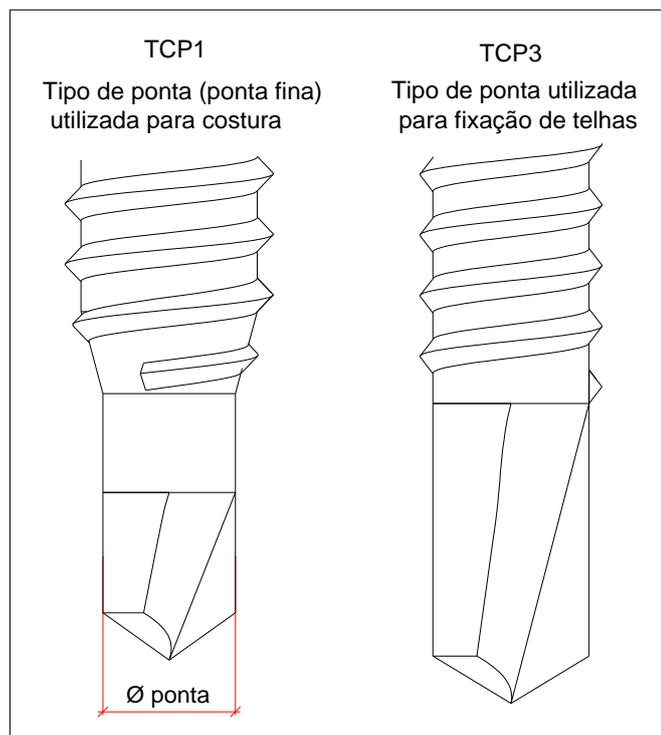
4.2 COMPARAÇÃO ENTRE OS VALORES DE *PULL-OUT* COM PARAFUSO PROPOSTO E COM PARAFUSO DO FABRICANTE HARD®

O objetivo dessa seção é comparar a resistência ao *pull-out* do parafuso proposto com a resistência ao *pull-out* da forma comercialmente utilizada, em onda baixa. Para isso, utilizou-se parafusos autoatarraxantes da marca Hard®.

As cargas de resistência ao *pull-out* para um parafuso de bitola 10, ponta TCP1 — conforme dados do fabricante, corresponde a um valor de diâmetro menor de 4,6 mm — considerando diferentes bitolas de chapa em aço estrutural ASTM A36 são apresentadas na TABELA 4.7.

Os valores fornecidos pelo fabricante estão em kgf, e, para efeitos de comparação, foram convertidos para N (Newton). Observe na TABELA 4.7 que para cada tipo de ponta, há um respectivo valor de resistência. Conforme fabricante Hard®, cada tipo de ponta é recomendado para aplicações específicas: as pontas TCP1 são utilizadas em parafusos de costura no recobrimento lateral de telhas metálicas enquanto as pontas TCP3 são recomendadas para parafusos fixadores de telhas. A FIGURA 4.4 ilustra esses dois tipos de ponta.

FIGURA 4.4 – Tipos de ponta encontrada em parafusos fixadores de telhas da marca Hard®



FONTE: Disponível em <https://hard.com.br/produto/parafuso-durs-ecoseal>, acesso 06/01/2020, adaptado.

Como a ponta TCP1 (parafuso bitola 10, com diâmetro maior =4,83mm) é a que possui maior capacidade de arrancamento em relação ao de ponta TCP3 (parafuso bitola 12 com diâmetro maior=5,33mm) para as diferentes espessuras de chapa, TCP1 foi a considerada para a comparação. Desta forma, o parafuso proposto é comparado com o “melhor parafuso” disponível pelo fornecedor em termos de resistência ao *pull-out*.

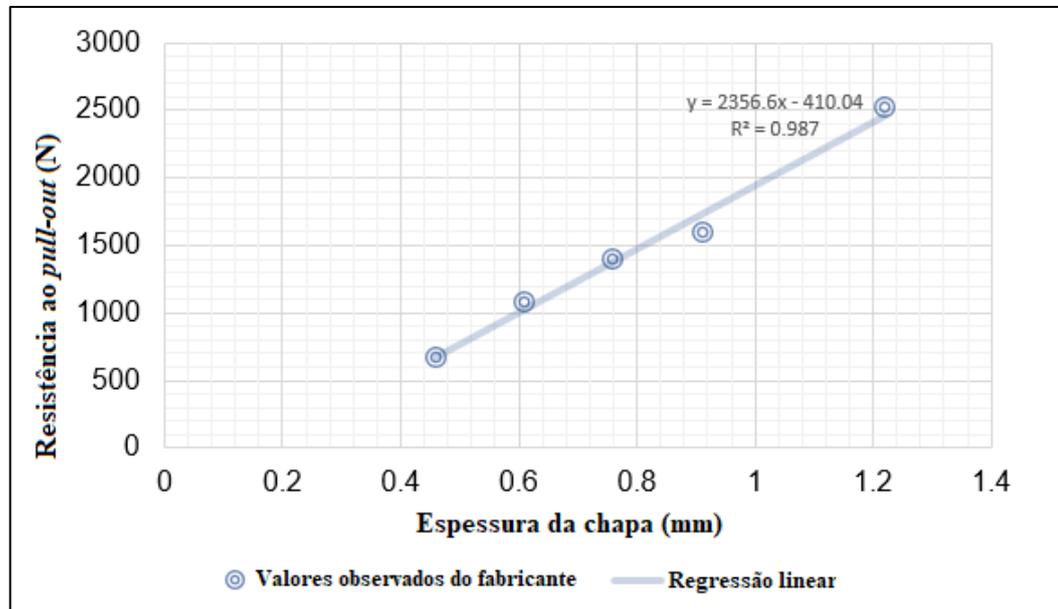
TABELA 4.7 – Resistência ao *pull-out* para diferentes espessuras de terça-telha

Ponta	Espessura da chapa (mm)				
	0,46 mm	0,61 mm	0,76 mm	0,91 mm	1,22 mm
TCP1	672 N	1086 N	1396 N	1602 N	2526 N
TCP3	565 N	938 N	1196 N	1344 N	2227 N

FONTE: Disponível em <https://blog.hard.com.br/TABELA-de-cargas-para-fixadores-autoperfurantes/>

Com base na TABELA 4.7, é possível perceber que nenhuma das chapas consideradas nos ensaios — 0,43 mm; 0,50 mm; 0,65 mm — possuem valor correspondente com as chapas fornecidas pelo fabricante. Esses valores foram, portanto, obtidos através de uma análise de regressão linear com os valores de resistência de *pull-out* para TCP1.

O diagrama de dispersão dos valores de resistência vs. espessura da chapa é apresentado na FIGURA 4.5. Observe que os 5 pontos apresentados nesse diagrama correspondem aos 5 pontos de TCP1 da TABELA 4.7. A linha representa a reta de regressão linear a partir desses valores.

FIGURA 4.5 – Regressão linear entre os 5 pontos de resistência *pull-out* para TCP1 apresentados na TABELA 4.7

FONTE: O autor (2020).

A partir da regressão linear mostrada na FIGURA 4.5, a seguinte equação foi obtida:

$$Resistência (N) = 2357,4 * Espessura (mm) - 410,58 \quad (4.1)$$

Como forma de provar estatisticamente a equação obtida através dos dados do fabricante, os testes de correlação, determinação, ANOVA e análise de resíduos foram realizados.

O valor de correlação obtido foi de $R = 0,9900$, o que mostra que há elevada correlação entre a resistência de *pull-out* e a espessura da chapa, visto que valores maiores que 0,70 já comprovam que há uma correlação.

O valor de determinação obtido foi de $R^2 = 0,9800$, mostrando que 98% da variação da resistência ao *pull-out* para determinado parafuso é explicado pela variação de espessura da chapa.

A ANOVA realizada é apresentada na TABELA 4.8. O valor de F de significância menor que 0,01 mostra que o modelo está bem ajustado, com grau de confiabilidade maior que 99%. O parâmetro gl representa os graus de liberdade para a distribuição F , SQ é a soma dos quadrados dos desvios (da regressão e dos resíduos), MQ é a média dos quadrados dos desvios da regressão e dos resíduos, F é calculado dividindo o MQ da regressão pelo MQ dos resíduos e F de significação é o p -value da estatística F .

TABELA 4.8 – ANOVA para a regressão linear proposta na Equação 5.1

	gl	SQ	MQ	F	F de significação
Regressão	1	6185490	6185490,15	196,5845	0,00015013
Resíduo	4	125859,2	31464,79592		
Total	5	6311349			

FONTE: O autor (2020).

Por último, a análise de normalidade dos resíduos é necessária para validar a regressão linear realizada. Os valores dos resíduos padronizados obtidos para cada um dos 5 pontos utilizados na análise de regressão são apresentados na TABELA 4.9.

Os três testes de normalidade foram aplicados nesses resíduos padronizados e apresentados na TABELA 4.10. Observa-se que todos os testes aceitaram a condição de normalidade, dessa forma, com esse último teste, pode-se validar a regressão linear proposta.

A partir desses dados propostos, pode-se obter os valores de resistência *pull-out* estimados do fabricante, para as espessuras de chapas utilizadas no presente trabalho. Esses valores são apresentados na TABELA 4.11.

TABELA 4.9 – ANOVA para a regressão linear proposta na Equação 5.1

Pontos	Espessura da chapa	Resistência prevista	Resíduos padrão
1	0,46 mm	673,8255 N	-0,02629
2	0,61 mm	1027,436 N	0,738569
3	0,76 mm	1381,047 N	0,19582
4	0,91 mm	1734,657 N	-1,67944
5	1,22 mm	2465,453 N	0,771338

FONTE: O autor (2020).

TABELA 4.10 – Teste de normalidade para os resíduos padrão da TABELA 4.9

Teste	Conclusão	P-valor
Anderson-Darling	Aceita H_0	0,122
Ryan-Joiner	Aceita H_0	0,100
Kolmogorov-Smirnov	Aceita H_0	0,150

FONTE: O autor (2020).

TABELA 4.11 – Resistência estimada de *pull-out* para o parafuso do fabricante

Espessura de chapa (mm)	Material da chapa	Carga <i>pull-out</i> estimada
0,43 mm	G550 (ASTM A792)	603 N
0,50 mm	G250 (ASTM A36)	768 N
0,65 mm	G250 (ASTM A36)	1122 N

FONTE: O autor (2020).

A TABELA 4.12 mostra uma comparação entre os valores médios estimados do fabricante com os valores obtidos no ensaio com o parafuso proposto. Nota-se que em todas as situações, houve um aumento percentual da resistência por *pull-out*, o que mostra a eficácia do parafuso proposto no presente projeto.

TABELA 4.12 – Comparação entre o parafuso do fabricante e o parafuso proposto no presente trabalho

Espessura da chapa (mm)	Carga <i>pull-out</i> Fabricante (Material)	Carga <i>pull-out</i> ensaios	Ganho Percentual
0,43 mm	603 N (G250)	907 N (G550)	50,4 %
0,50 mm	768 N (G250)	896 N (G250)	16,6 %
0,65 mm	1122 N (G250)	1510 N (G250)	34,6 %

FONTE: O autor (2020).

É interessante notar que embora haja um ganho significativo para todas as espessuras, há claramente um desvio de tendência entre as resistências das chapas de 0,43 mm e 0,50 mm para os valores ensaiados.

Conforme observado na regressão linear proposta na Equação 4.1, à medida que a espessura da chapa aumenta, o que se espera é que ocorra aumento da resistência. Entretanto, conforme apresenta a coluna 3 da TABELA 4.12, para os dados dos ensaios, observou-se uma resistência maior (em termos médios) na chapa

de 0,43 mm (907 N) quando comparamos com a chapa de 0,50 mm (896 N). Essa diferença ocorreu devido ao fato de os materiais utilizados nas chapas serem distintos, devido às condições de fornecimento. Para a chapa de 0,43 mm, o material utilizado foi o G-550 (ASTM A792), enquanto que para as chapas de 0,50 mm e 0,65 mm o material foi o G-250 (ASTM A36). Já na análise do fabricante, o mesmo material foi utilizado, o ASTM A36. Assim, embora o ensaio não tenha sido feito, o que esperamos é que se o ensaio com o parafuso proposto fosse realizado com uma chapa de 0,43 mm com G-250, o valor de resistência seria menor que 896 N, entretanto, esse teste não foi realizado, pois não havia chapa disponível com esse material.

Desta forma, como principais conclusões da TABELA 4.12, pode-se considerar que para as chapas de 0,50 mm e 0,65 mm, o sistema de fixação com o parafuso proposto apresentou maior resistência *pull-out* que o do fabricante.

Assim, para testar essa informação e para obter mais meios de comparação da eficácia do parafuso proposto, comparações foram feitas com valores obtidos de ensaios da literatura, conforme apresenta a seção 4.3.

4.3 COMPARAÇÃO ENTRE OS VALORES DE *PULL-OUT* COM PARAFUSO PROPOSTO E ENSAIOS DA LITERATURA

Na seção anterior mostrou-se o ganho percentual do parafuso proposto em relação à dados disponíveis pelo fabricante Hard®. Essa seção objetiva expandir a análise realizada, ao se comparar a resistência ao *pull-out* com dados encontrados dessa resistência em parafusos ensaiados por Mahendran (1994), Mahendran e Tang (1998) e Mahendran e Mahaarachchi (2000).

4.3.1 MAHENDRAN (1994)

Mahendran (1994) produziu um trabalho sobre análise esforços de resistência *pull-out* em parafusos com diâmetro nominal de 4,67 mm em chapas G250 e G550. Os valores obtidos por ele são apresentados na TABELA 4.13.

De forma similar ao que foi feito com os dados coletados do parafuso Hard®, como não há correspondência exata entre os valores ensaiados por Mahendran (1994) e os valores ensaiados no presente trabalho, análises de regressão foram necessárias.

TABELA 4.13 – Resistência estimada de *pull-out* para o parafuso testado por Mahendran (1994)

Espessura da chapa (mm)	Material da chapa (mm)	Carga <i>pull-out</i> Mahendran (1994)
0,38	G250 (ASTM A36)	417 N
0,54	G250 (ASTM A36)	593 N
0,95	G250 (ASTM A36)	1.343 N
0,43	G550 (ASTM A792)	746 N
0,61	G550 (ASTM A792)	952 N
0,95	G550 (ASTM A792)	417 N

FONTE: Mahendran (1994).

As equações 4.2 e 4.3 apresentam as análises de regressão para as chapas G250 e G550, respectivamente:

$$\text{Resistência (N)} = 1665,0 * \text{Espessura (mm)} - 253,5 \quad (4.2)$$

$$\text{Resistência (N)} = 2626,2 * \text{Espessura (mm)} - 488,7 \quad (4.3)$$

A TABELA 4.14 apresenta de forma resumida os dados da regressão, englobando correlação, determinação e ANOVA. Com pode-se observar, tanto a correlação quanto a determinação para as duas equações propostas apresentam valores satisfatórios. O teste F na ANOVA apresentou valores superiores ao permitido para uma confiabilidade de 95%, entretanto, o resultado obtido garante uma confiabilidade de 85%, que foi considerado também satisfatório para fins de comparação.

TABELA 4.14 – Dados da regressão linear realizadas para obtenção das equações 4.2 e 4.3

Material	Equação	Correlação (R)	Determinação (R ²)	Teste F
G250	5.2	0,9954	0,9908	0,06
G550	5.3	0,9797	0,9598	0,12

FONTE: O autor (2020).

Os valores de resíduo padrão obtidos são apresentados na TABELA 4.15 para ambas as equações. Como os valores se encontram dentro de uma faixa de [- 1,96, + 1,96], já poderiam ser considerados normalmente distribuídos. Como forma de obter maior acuracidade dessa resposta, os testes de Anderson-Darling, Ryan-Joiner e Kolmogorov-Smirnov também foram aplicados, e todos aceitaram a hipótese nula de normalidade dos dados.

Assim, com uma confiabilidade de 85%, os valores obtidos para a carga máxima de resistência antes do *pull-out* nos parafusos comerciais ensaiados por Mahendran (1994) são apresentados na TABELA 4.16.

TABELA 4.15 – Dados do resíduo padrão da regressão linear realizadas para obtenção das equações 5.2 e 5.3

Material	Equação	Resíduo Padrão		
G250	5.2	0,8	-1,1	0,3
G550	5.3	0,7	-1,1	0,4

FONTE: O autor (2020).

TABELA 4.16 – Resistência estimada de *pull-out* para o parafuso testado por Mahendran (1994)

Espessura de chapa (mm)	Material da chapa	Carga <i>pull-out</i> estimada
0,43 mm	G550 (ASTM A792)	693 N
0,50 mm	G250 (ASTM A36)	579 N
0,65 mm	G250 (ASTM A36)	829 N

FONTE: O autor (2020).

A TABELA 4.17 apresenta a comparação entre os valores obtidos por Mahendran (1994) para parafusos comerciais e os valores obtidos com o parafuso proposto no presente trabalho. Observa-se que comparando os valores de carga *pull-out* para chapas de mesmo material, o parafuso proposto no presente trabalho apresentou valores significativamente melhores que os valores obtidos nos ensaios de Mahendran (1994). Para a chapa de 0,43 mm, o ganho percentual em relação à análise feita na TABELA 4.12 foi menor, conforme esperado, visto que a chapa G550 possui maior resistência que as chapas G250, entretanto, mesmo sendo um valor menor, a resistência aumentada ainda assim foi significativa, da ordem de 30%.

Para as chapas de G250, os valores obtidos em termos de ganhos percentuais foram mais significativos que os observados nas seções 4.2, mostrando que o parafuso proposto no presente trabalho apresenta maior resistência ao *pull-out* que o parafuso testado por Mahendran (1994).

TABELA 4.17 – Comparação entre o parafuso testado por Mahendran (1994) e o parafuso proposto no presente trabalho

Espessura da chapa (mm)	Carga <i>pull-out</i> Mahendran (1994) (Material)	Carga <i>pull-out</i> ensaios (Material)	Ganho Percentual
0,43 mm	693 N (G550)	907 N (G550)	30,8 %
0,50 mm	579 N (G250)	896 N (G250)	54,7 %
0,65 mm	829 N (G250)	1510 N (G250)	82,2 %

FONTE: O autor (2020).

4.3.2 MAHENDRAN E TANG (1998)

Mahendran e Tang (1998) apresentam os resultados de diversos ensaios de resistência *pull-out* em parafusos com diâmetro nominal de 4,67 mm e 6,39 mm em chapas G250 e G550. Como o parafuso proposto no presente estudo possui diâmetro

nominal de 4,67 mm, somente esses valores foram considerados na comparação com nesse trabalho. A TABELA 4.18 apresenta os valores obtidos por Mahendran e Tang (1998).

TABELA 4.18 – Resistência estimada de *pull-out* para o parafuso testado por Mahendran e Tang (1998)

Espessura da chapa (mm)	Material da chapa (mm)	Carga <i>pull-out</i> Mahendran (1994)
0,40	G250 (ASTM A36)	554 N
1,00	G250 (ASTM A36)	1696 N
0,42	G550 (ASTM A792)	913 N
0,95	G550 (ASTM A792)	2524 N

FONTE: Mahendran e Tang (1998).

Como os dados obtidos possui densidade de pontos baixa, nessa análise foi feito regressão linear através de uma simples interpolação. A análise estatística não foi realizada, pois a quantidade demasiadamente baixa de pontos (somente 2 pontos para cada material) não geraria significância. O resultado obtido aqui é apenas uma aproximação para parâmetro de comparação com os dados do ensaio do parafuso.

Assim, através da interpolação dos valores apresentados na TABELA 4.18, os valores estimados para 0,43 mm, 0,50 mm e 0,65 mm foram apresentados na coluna 2 da TABELA 4.19. Quando comparados com os valores dos ensaios com o parafuso proposto, observa-se que para a chapa de 0,43 mm houve uma diminuição da resistência, enquanto que, para as demais chapas, houve um aumento significativo.

TABELA 4.19 – Comparação entre o parafuso testado por Mahendran e Tang (1998) e o parafuso proposto no presente trabalho

Espessura da chapa (mm)	Carga <i>pull-out</i> Mahendran (1994) (Material)	Carga <i>pull-out</i> ensaios (Material)	Ganho Percentual
0,43 mm	943 N (G550)	907 N (G550)	-3,8 %
0,50 mm	744 N (G250)	896 N (G250)	20,4 %
0,65 mm	1030 N (G250)	1510 N (G250)	46,6 %

FONTE: O autor (2020).

4.3.3 MAHENDRAN E MAHAARACHCHI (2000)

Mahendran e Mahaarachchi (2000) produziu um trabalho sobre análise esforços de resistência *pull-out* em parafusos com diâmetro nominal de 4,67 mm, 5,40 mm e 6,38 mm em chapas G450, G500 e G550. Os valores obtidos para o parafuso

com diâmetro nominal de 4,67 mm e material de chapa G550 são apresentados na TABELA 4.20.

TABELA 4.20 – Resistência estimada de *pull-out* para o parafuso testado por Mahendran e Mahaarachchi (2000)

Espessura da chapa (mm)	Material da chapa (mm)	Carga <i>pull-out</i> Mahendran e Mahaarachchi (2000)
0,55	G550 (ASTM A792)	923 N
0,75	G550 (ASTM A792)	1478 N
1,03	G550 (ASTM A792)	2415 N
1,21	G550 (ASTM A792)	2510 N
1,52	G550 (ASTM A792)	3417 N

FONTE: O autor (2020).

De forma similar ao que foi feito com os dados coletados do parafuso Hard® e com os dados analisados por Mahendran (1994), foi realizada a regressão linear. A equações 4.4 apresenta o resultado dessa regressão para os dados da TABELA 4.20.

$$\text{Resistência (N)} = 2570,3 * \text{Espessura (mm)} - 441,3 \quad (4.4)$$

A TABELA 4.21 apresenta de forma resumida os dados da regressão, englobando correlação, determinação e ANOVA. Como pode-se observar, tanto a correlação quanto a determinação para as duas equações propostas apresentam valores satisfatórios. O teste F na ANOVA apresentou baixo valor (menor que 0,05), possibilitando um nível de confiabilidade de 95% (ou maior, mas por padrão, vamos manter 95%).

TABELA 4.21 – Dados da regressão linear realizadas para obtenção da equação 5.4

Material	Equação	Correlação (R)	Determinação (R ²)	Teste F
G550	4.4	0,9908	0,9817	0,001

FONTE: Mahendran e Mahaarachchi (2000).

Os valores de resíduo padrão obtidos são apresentados na TABELA 4.22 para ambas as equações. Como os valores se encontram dentro de uma faixa de [-1,96,+1,96], já poderiam ser considerados normalmente distribuídos. Como forma de obter maior acuracidade dessa resposta, os testes de Anderson-Darling, Ryan-Joiner e Kolmogorov-Smirnov também foram aplicados, e todos aceitaram a hipótese nula de normalidade dos dados.

TABELA 4.22 – Dados do resíduo padrão da regressão linear realizadas para obtenção das equações 5.4

Material	Equação	Resíduo Padrão				
		G250	5.4	-0,4	-0,06	1,7

FONTE: Mahendran e Mahaarachchi (2000).

Assim, com uma confiabilidade de 95%, os valores obtidos para a carga máxima de resistência antes do *pull-out* nos parafusos comerciais ensaiados por Mahendran e Mahaarachchi (2000) podem ser estimados pela equação 4.4. Considerando uma chapa com espessura de 0,43 mm, obtém-se um valor estimado de carga de *pull-out* de 663 N.

Comparando esse valor com o obtido pelo parafuso proposto no presente trabalho, observa-se que o parafuso proposto gera um ganho percentual de 36,8%, valor considerado satisfatoriamente positivo.

4.4 RESULTADOS DA VIABILIDADE DA APLICAÇÃO DO PARAFUSO PROPOSTO EM UM CASO REAL

Considerando a edificação proposta para estudo de caso neste trabalho (Apêndice D) e descrito em detalhes na seção 3.6, o orçamento completo da execução da obra foi elaborado, conforme apresenta a TABELA 4.23. Observa-se que valores são apresentados em reais (R\$) e em dólar (USD) — com cotação do dia 25 de novembro de 2019.

Para realização desse orçamento, considerou-se 30% de benefícios e despesas indiretas (BDI), sendo que estão inclusos também os custos de seguros, tributos e custos não previstos (incertezas). Nos custos dos demais materiais, estão inclusos todos os insumos como energia elétrica, eletrodos, discos de cortes, o aço utilizado e perdas por sobra de materiais.

O principal motivo para elaboração desse orçamento foi prever a influência da aplicação do parafuso comercial (atualmente utilizado) ou do parafuso proposto nesse trabalho no custo final da obra, e desta forma, analisar a viabilidade econômica da aplicação do novo parafuso.

O total de parafusos utilizando o sistema atual (comercial) seria 11.323 unidades para fixação na onda baixa, mais 6.836 unidades para costura (fixados nas sobreposições laterais das telhas), conforme apresentou a seção 3.6. Considerando um valor médio unitário de R\$ 0,16 para os parafusos de fixação e R\$ 0,10 para os

parafusos de costura, o custo com parafuso (sem incluir mão de obra) seria R\$ 2.495,28. De forma adicional, o item 4.1 da TABELA 4.23 apresenta também o orçamento final (considerando mão de obra e BDI) para a quantidade de parafusos requeridos: R\$ 10.173,19.

Considerando o mesmo projeto, mas aplicando o novo parafuso, com 03 parafusos por terça por telha com largura útil de 98 cm, a quantidade de parafusos seria reduzida para 8.322 unidades para fixação na onda alta, mais 5.064 unidades para costura. O valor estimado do novo parafuso foi 20% acima do preço de mercado do parafuso autoatarraxante usado em telha sanduíche, que resultou em um valor médio unitário de R\$ 0,50 para parafusos de fixação — esse valor adicionado foi considerado pelo fato de mais material para a rosca ser requerido. Os parafusos para costura foram os comercialmente utilizados, com preço unitário de R\$ 0,10. Dessa forma, usando o valor estimado, o custo do novo parafuso (sem incluir mão de obra) é de R\$ 4.667,40, ou seja, 87,04 % acima do custo do parafuso comercial (atualmente utilizado). Considerando um BDI de 30 % e os custos envolvidos com mão de obra, o custo final para a utilização do novo parafuso seria R\$ 12.793,56.

Salienta-se que o custo da mão de obra do novo parafuso foi considerado maior, conforme apresenta coluna “Mão de obra” da TABELA 4.23, entretanto, menor quantidade deste parafuso é requerido. Portanto, o fator mão de obra reduz a diferença de custo entre o novo parafuso o parafuso comercial em 25,75 %.

Considerando o impacto no custo final da obra, aumentou em 0,17 %; já que o custo total com o novo parafuso seria R\$ 1.557.211,39, contra R\$ 1.554.591,02 do custo com o parafuso comercial. Portanto, o uso do novo parafuso não acarretaria em aumento de preço significativo na execução do projeto, já que possíveis descontos usualmente requerido por clientes no processo de negociação usualmente supera o valor de 0,17 %.

Soma-se a isso, a expectativa de redução de goteiras e infiltrações devido à aplicação do novo parafuso ser em onda alta. Considerando as garantias de pós obra por falha na vedação ou fixação das telhas, haveria despesas após a obra concluída de: (a) Despesas com viagens, estadias e alimentação de funcionários de manutenção; (b) atendimento às normas de segurança do trabalho quanto aos EPIs; (c) materiais adicionais de vedação e fixação das telhas. Entretanto, como tais custos são subjetivos, já que é extremamente difícil prever a quantidade de manutenções requeridas pós obra, tal variável não é considerada nesta análise. Estas manutenções,

pós execução de obra, devem ser consideradas no orçamento, visto que faz um impacto significativo também nos custos, reduzindo ainda mais a diferença de 0,17 % quantificada.

TABELA 4.23 – Planilha orçamentária de custos do estudo de caso desenvolvido no presente trabalho

Obra: Cobertura Metálica - área de projeção= 2.526,32 m²		Local: Cascavel - Paraná - BR				Data: 25/11/2019		Cotação Dólar = R\$ 4,20		
Item	Descrição do Item	Unidade	Quantidade	Custo Unitário R\$		Custo Total R\$		Total R\$	Total com BDI de 30%	
				Mão de Obra	Material	Mão Obra	Material	em Reais	R\$	U\$
									em Reais	em Dólar
1.	Projeto Estrutural da Cobertura					19.073,72	-	19.073,72	24.795,83	5.903,77
1.1	Projeto estrutural de dimensionamento	vg	2.526,32	1,85	-	4.673,69	-	4.673,69	6.075,80	1.446,62
1.2	Projeto estrutural de fabricação	vg	2.526,32	4,50	-	11.368,44	-	11.368,44	14.778,97	3.518,80
1.3	Projeto estrutural de montagem	vg	2.526,32	1,00	-	2.526,32	-	2.526,32	3.284,22	781,96
1.4	Documentação, plotagem, ART	vg	2.526,32	0,20	-	505,26	-	505,26	656,84	156,39
2	Administração, Canteiro de Obras e Funcionários					107.040,00	1.200,00	108.240,00	140.712,00	33.502,86
2.1	Despesas administrativas	vg	3,00	1.530,00	-	4.590,00	-	4.590,00	5.967,00	1.420,71
2.2	Mobilização dos funcionários	vg	1,00	18.500,00	-	18.500,00	-	18.500,00	24.050,00	5.726,19
2.3	Alojamento e alimentação de funcionários	vg	3,00	23.200,00	-	69.600,00	-	69.600,00	90.480,00	21.542,86
2.4	Instalação do canteiro de obras, equipamentos e ferramentas	vg	1,00	7.300,00	1.200,00	7.300,00	1.200,00	8.500,00	11.050,00	2.630,95
2.5	Segurança do trabalho, sinalização e EPIs	vg	3,00	1.500,00	-	4.500,00	-	4.500,00	5.850,00	1.392,86
2.6	Limpeza da obra	vg	3,00	850,00	-	2.550,00	-	2.550,00	3.315,00	789,29
3	Estrutura Metálica					496.840,00	563.860,00	1.060.700,00	1.378.910,00	328.311,90
3.1	Estrutura metálica - fabricação	Kg	73.200,00	3,30	5,00	241.560,00	366.000,00	607.560,00	789.828,00	188.054,29
3.2	Estrutura metálica - jateamento padrão SA2.1/2 e pintura	Kg	73.200,00	1,20	-	87.840,00	-	87.840,00	114.192,00	27.188,57
3.3	Estrutura metálica - transporte	Kg	73.200,00	0,25	-	18.300,00	-	18.300,00	23.790,00	5.664,29
3.4	Estrutura metálica - montagem	Kg	73.200,00	0,85	-	62.220,00	-	62.220,00	80.886,00	19.258,57
3.5	Parafuso estrutural A325	ud	6.500,00	2,00	5,00	13.000,00	32.500,00	45.500,00	59.150,00	14.083,33
3.6	Parafuso estrutural A307 Grau A	ud	1.500,00	1,00	2,00	1.500,00	3.000,00	4.500,00	5.850,00	1.392,86
3.7	Telhas de aço revestida com aluzinc cor natural e=0,50 mm para cobertura	m2	2.800,00	15,00	28,00	42.000,00	78.400,00	120.400,00	156.520,00	37.266,67

(continua)

CONTINUAÇÃO TABELA 4.23 – Planilha orçamentária de custos do estudo de caso desenvolvido no presente trabalho

3.8	Telhas de aço revestida com aluzinc e=0,50 mm pré pintada cor à definir para fechamento vertical	m2	1.043,00	15,00	35,00	15.645,00	36.505,00	52.150,00	67.795,00	16.141,67
3.9	Telhas de aço revestida com aluzinc cor natural e=0,50 mm (revestimento interno das platibandas)	m2	365,00	15,00	28,00	5.475,00	10.220,00	15.695,00	20.403,50	4.857,98
3.10	Calha de aço galvanizado	ml	127,00	20,00	85,00	2.540,00	10.795,00	13.335,00	17.335,50	4.127,50
3.11	Condutor de águas pluviais	ml	320,00	7,00	12,00	2.240,00	3.840,00	6.080,00	7.904,00	1.881,90
3.12	Rufos verticais e horizontais	ml	452,00	10,00	50,00	4.520,00	22.600,00	27.120,00	35.256,00	8.394,29
4	Parafusos autoatarraxantes para telhas									
4.1	Opção parafusos na onda baixa (valores reais)					5.330,25	2.495,28	7.825,53	10.173,19	2.422,19
4.1.1	Parafuso auto atarraxante para onda baixa	ud	11.323,00	0,35	0,16	3.963,05	1.811,68	5.774,73	7.507,15	1.787,42
4.1.2	Parafuso auto atarraxante de costura	ud	6.836,00	0,20	0,10	1.367,20	683,60	2.050,80	2.666,04	634,77
4.1.3	Reparos pós obra em goteiras	ud	-	2.500,00	150,00	-	-	-	-	-
4.2	Opção parafusos na onda alta (proposta deste trabalho com valores estimados)					5.173,80	4.667,40	9.841,20	12.793,56	3.046,09
4.2.1	Parafuso auto atarraxante para onda alta	ud	8.322,00	0,50	0,50	4.161,00	4.161,00	8.322,00	10.818,60	2.575,86
4.2.2	Parafuso auto atarraxante de costura	ud	5.064,00	0,20	0,10	1.012,80	506,40	1.519,20	1.974,96	470,23
4.1.3	Reparos pós obra em goteiras	ud	-	2.500,00	150,00	-	-	-	-	-
	Custo total na opção com parafuso autoatarraxante atual					628.283,97	567.555,28	1.195.839,25	R\$ 1.554.591,02	\$ 370.140,72
	Custo total na opção com parafuso autoatarraxante proposto					628.127,52	569.727,40	1.197.854,92	R\$ 1.557.211,39	\$ 370.764,62

FONTE: O autor (2020).

5 CONCLUSÃO

Para a fixação de telhas metálicas em terças há duas formas possíveis de fixação: na onda alta e na onda baixa. A fixação em onda baixa é comumente empregada em telhas convencionais (singelas), com utilização de parafusos autoatarraxantes ou brocantes. A desvantagem desse tipo de fixação consiste no fato da onda baixa das telhas ser o local de escoamento da água pluvial. Dessa forma, aumenta consideravelmente as incidências de goteiras e infiltrações na estrutura, pois os furos gerados pelos parafusos de fixação podem servir de canais de fuga desses escoamentos.

Uma possível solução para evitar esse problema é a fixação dos parafusos em onda alta, onde há menor escoamento de água pluvial. Esse tipo de fixação já é usualmente aplicado em telhas termoacústicas. Devido à maior espessura dessas telhas, é possível o atarraxamento dos parafusos sem problemas de deformação na telha, o que não é possível em telhas convencionais, que usualmente possuem espessuras pequenas, que variam de 0,37 mm à 0,65 mm.

Essa solução de fixação em onda alta se mostra bastante eficaz para o caso de telhas termoacústicas, reduzindo consideravelmente os índices de goteiras e infiltrações nas estruturas. Nesse contexto, o objetivo do presente trabalho foi desenvolver uma solução de fixação em onda alta para telhas convencionais.

Uma solução comum no mercado para fixação em onda alta das telhas convencionais consiste no uso de calços, que servem de suporte para reduzir a probabilidade de deformação da telha no processo de atarraxamento. Entretanto, tal solução acarreta em aumento considerável do custo da obra, além do tempo de execução da mesa, não sendo, portanto, comumente empregada.

Foi proposto um novo parafuso para essa fixação, que não demandasse o atarraxamento, dessa forma, não haveria deformação da telha na execução do projeto. O novo parafuso proposto apresenta o mesmo diâmetro menor (diâmetro do corpo) que os parafusos comerciais já empregados em fixação em onda alta de telhas termoacústicas, entretanto, possui uma altura de filete quatro vezes maior, o que aumentaria a resistência na fixação telha-terça, mesmo sem o atarraxamento. Para testar essa hipótese, ensaios da resistência ao arrancamento parafuso-terça com o novo parafuso foram realizados e comparados com resistência ao arrancamento de parafusos comerciais já empregados.

Comparando os resultados de resistência ao *pull-out*, o parafuso proposto mostrou ganhos resistência à carga aplicada entre 16,6% e 54,7% para chapas de 0,50 mm, entre 34,6% e 82,2% para chapas de 0,65 mm. Chapas de 0,43 mm também foram testadas, apresentando variações de resistência entre -3,8% e 36,8% quando comparadas com fixadores comerciais. Assim, o parafuso proposto apresenta, com confiabilidade de 95%, melhores resultados de resistência ao *pull-out* para chapas de 0,50 mm e 0,65 mm e grande possibilidade de melhora para chapas de 0,43 mm.

Além do aumento de resistência ao arrancamento, a proposta do presente trabalho foi reduzir o número de goteiras. Embora esse teste não tenha sido realizado no presente trabalho, como os novos parafusos propostos serão fixados em onda alta, a probabilidade de goteiras na parte interna da estrutura é menor, já que a água tende a fluir pela onda baixa da telha.

Para estimar o impacto da utilização do novo parafuso no custo final de um projeto, um estudo de caso foi realizado. A edificação considerada está localizada no município de Cascavel (PR), sendo a área de projeção da estrutura metálica 2.526,32 m² e a área de fechamento vertical: 900,00 m². Observou-se uma redução de 35,6 % no número de parafusos devido ao novo sistema possuir maior resistência, entretanto, como a produção do novo parafuso requer mais material, observou-se que há um aumento de 87,04 % em termos de custo unitário com o novo parafuso em relação ao parafuso comercial (atualmente utilizado).

Em relação ao preço final do projeto, esse o impacto do custo do novo parafuso aumentou em 0,17 %, valor considerado extremamente baixo, visto que descontos maiores usualmente são praticados durante o processo de negociação do projeto com os clientes. Além disso, não foi considerado nesse valor o impacto de manutenção pós obra. A expectativa é que a aplicação do novo parafuso reduza gastos futuros com manutenção, já que se espera que menos goteiras e infiltrações sejam observadas, conforme já é observado em fixação na onda alta de telhas termoacústicas.

Ressalta-se que este novo parafuso foi desenvolvido para fixação de chapas finas com espessuras menores que 1,90 mm, porém, poderá ser aplicado em chapas de outras espessuras.

6 TRABALHOS FUTUROS

Para trabalhos futuros sugere-se a realização de testes de estanqueidade afim de comprovar a hipótese de redução de infiltrações que a fixação em onda alta em telhas convencionais geraria. Além disso, testes de vibrações seriam também requeridos, afim de observar se o fato do não atarraxamento do parafuso acarretaria em dificuldades de fixação durante a influência de cargas dinâmicas.

Além desses, outras sugestões de trabalhos são: (1) realizar os mesmos experimentos propostos no presente trabalho, mas com outras chapas de metais de diferentes espessuras, e comparar com dados experimentais e da literatura; (2) produzir parafusos com mesmo aumento proporcional de rosca, mas com diâmetros nominais diferentes, para comparação com demais parafusos e (3) fazer outros estudos de resistência no sistema de fixação telha-terça, tais como *pull-through* e *pull-over*, para analisar possíveis ganhos de resistência.

REFERÊNCIAS

- AGUIAR, F. E. C. **Estudo eletroquímico da corrosão em chapas de aço galvanizado e fosfatizado por coil-coating**. 2003. 92f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2003.
- AMARAL, T.B.S. **Estudo sobre corrosão em chapas de aço galvanizadas**. 2016. 107 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Departamento de Engenharia Mecânica e Tecnologia do Materiais, Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow Da Fonseca – CEFET, Rio de Janeiro, 2016.
- AMERICAN IRON AND STEEL INSTITUTE. **Specification for the Design of Light Gage Steel Structural Members**. New York: AISI, 1946.
- AMERICAN IRON AND STEEL INSTITUTE. **Cold-Formed Steel Design Manual 2002 EDITION**. Milwaukee: AISI, 2003.
- AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS. **ASME B1.1: Unified inch screw threads — UN and UNR Thread Form**. New York: ASME, 2003.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 6120 Versão Corrigida: Ações para o cálculo de estruturas de edificações**. Rio de Janeiro: ABNT, 2019.
- _____. **ABNT NB 143: Cálculo de estruturas de aço constituídas por perfis leves**. Rio de Janeiro: ABNT, 1967.
- _____. **ABNT NBR 6673: Cargas para o cálculo de estruturas de edificações**. Rio de Janeiro: ABNT, 1986.
- _____. **ABNT NBR 7008: Chapas e bobinas de aço revestidas com zinco**. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.
- _____. **ABNT NBR 06649: Chapas finas a frio de aço carbono para uso estrutural**. Rio de Janeiro: ABNT, 1986.
- _____. **ABNT NBR 14762: Dimensionamento de estruturas de aço constituídas por perfis formados a frio**. Rio de Janeiro: ABNT, 2001.
- _____. **ABNT NBR 6123: Forças devidas ao vento em edificações**. Rio de Janeiro: ABNT, 1990.
- _____. **ABNT NBR 8800: Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios**. Rio de Janeiro: ABNT, 2006.
- _____. **ABNT NBR 145313: Telhas De Aço Revestido De Seção Ondulada - Requisitos**. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

_____. **ABNT NBR 14514: Telhas De Aço Revestido De Seção Trapezoidal - Requisitos.** Rio de Janeiro: ABNT, 2008.

_____. **ABNT NBR ISO 724: Rosca métrica ISO de uso geral – dimensões básicas.** Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

BRETAS, R. A. **Análise da usinagem de roscas por interpolação helicoidal no ferro fundido vermicular.** 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Instituto Superior Tupy, Joinville, 2009.

BRITISH STANDARD INSTITUTION. **BS 84: Parallel screw threads of Whitworth form - Requirements.** London: BSI, 2007.

BUDYNAS, R. G.; NISBETT, J. K. **Elementos de máquinas de Shigley.** 10. ed. Porto Alegre: AMGH, 2016.

CALLISTER, W. D. **Materials Science and Engineering: An Introduction.** 7. ed. New York: John Wiley & Sons, 2007.

CANADIAN STANDARDS ASSOCIATION. **CAN/CSA S136: Cold-Formed Steel Structural Members.** Toronto: CSA, 1994.

COMISSÃO DE NORMALIZAÇÃO TÉCNICA DA PETROBRAS. **PETROBRAS N-9: Tratamento de Superfícies de Aço com Jato Abrasivo e Hidrojateamento.** Rio de Janeiro: PETROBRAS, 2003.

CONI, N.; GIPIELA, M. L.; D'OLIVEIRA, A. S. C. M. and MARCONDES, P. V. P. Study of the mechanical properties of the hot dip galvanized steel and galvalume®. **Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering**, Rio de Janeiro, v. 31, n. 4, p. 319-326, 2009.

DAFYDD, H.; WORSLEY, D. A.; McMURRAY, H. N. The kinetics and mechanism of cathodic oxygen reduction on Zinc and Zinc–Aluminum alloy galvanized coatings. **Corrosion Science**, [s. l.], v. 47, p. 3006-3018, 2005.

FITRIANTO, A.; CHIN, L. Y. Assessing Normality for Data with Different Sample Sizes Using SAS, Minitab and R. **ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences**, [Pakistan], v. 11, n. 18, 2016.

FRANCESCHI, A. de; ANTONELLO, M. G. **Elementos de máquinas.** Santa Maria: Rede e-Tec Brasil, 2014.

FREITAS, M. F. de. **Ligações metálicas constituídas por parafusos autoatarraxantes.** 2004. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2004.

GONÇALVES, E. B.; CASTRO, I. M. Desenho esquemático para programas de qualidade em laboratórios de análises. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 18, n. 1, p. 121-126, 1998.

GOSS, D. C. Thread Forming Fasteners for Tapping and Fastening into Magnesium Alloys. **Journal of Materials & Manufacturing**, [s. l.], v.108, 1999.

HUNT, S. **Making Competition Work in Electricity**. New York: John Wiley & Sons, 2002.

LAPPONI, J. C. **Estatística usando Excel**. 4. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2005.

MAHAARACHCHI, D.; MAHENDRAN, M. Finite element analysis and design of crest-fixed trapezoidal steel claddings with wide pans subject to pull-through failures. **Engineering Structures**, [Amsterdã], v.26, n.11, p.1547-1559, 2004.

MAHAARACHCHI, D.; MAHENDRAN, M. Strength of screwed connections in crest-fixed trapezoidal steel claddings. **Australian Journal of Structural Engineering**, [Australia], v. 6, n.1, p. 11-23, 2005.

MAHAARACHCHI, D.; MAHENDRAN, M. A strain criterion for pull-through failures in crest-fixed steel claddings. **Engineering Structures**, [Amsterdã], v. 31, n. 2, p. 498-506, 2009.

MAHENDRAN, M. Behaviour and design of crest-fixed profiled steel roof claddings under wind uplift. **Engineering Structures**, [Amsterdã], v. 16, n. 5, p. 368-376, 1994.

MAHENDRAN, M.; MAHAARACHCHI, D. Cyclic Pull-out Strength of Steel Roof and Wall Cladding Systems. *In*: INTERNATIONAL SPECIALTY CONFERENCE ON COLD-FORMED STEEL STRUCTURES, 15., 2000, St Louis. **Anais [...]**. St. Louis: Missouri University of Science and Technology, 2000. p. 647-658.

MAHENDRAN, M.; TANG, R. Pull-Out Strength of Steel Roof and Wall Cladding Systems. **Journal of Structural Engineering**, [s. l.], v.124, n. 10, p. 1192-1201, 1998.

MAIOLA, C. H. **Ligações parafusadas em chapas finas e perfis de aço formados a frio**. Tese (Doutorado em Engenharia de Estruturas) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2004.

MAIOLA, C. H.; MALITE, M.; MUNAIAR NETO, J. Análise Experimental do Comportamento Estrutural de Ligações Parafusadas em Chapas Finas e Perfis de Aço Formados a Frio. *In*: JORNADAS SUL-AMERICANAS DE ENGENHARIA ESTRUTURAL, 30., 2002, Brasília. **Anais [...]**. Brasília: ASAAE, 2002. p. 1-17.

MIOT, H. A. Valores anômalos e dados faltantes em estudos clínicos e experimentais. **Journal Vascular Brasileiro**, Porto Alegre, v. 18, 2019.

MYDIN, M.A.; NOORDIN, N.; MATORI, Z.; SANI, N.M.; ZAHARI, N.F. Experimental Investigation into Pull-Out Strength of Foamed Concrete Using Different Types of Screw. *In*: Building Surveying, Facilities Management and Engineering Conference, 2014, Perak. **Anais [...]**. Perak: EDP Sciences, 2014.

MYURAN, K.; MAHENDRAN, M. Unified static-fatigue pull-through capacity equations for cold-formed steel roof battens. **Journal of Constructional Steel Research**, [Amsterdã], v. 139, p.135-148, 2017.

NAVARRO, J. A very simple proof of the multivariate Chebyshev's inequality. **Communications in Statistics - Theory and Methods**, [s. l.], v. 45, n. 12, p. 3458-3463, 2016.

NOGUEIRA, R. S. **Estudo da qualidade de roscas métricas fabricadas por fresamento**. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Mecânica) – Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013.

NORTON, R. L. **Projeto de Máquinas: uma abordagem integrada**. 4 ed. Porto Alegre: Bookman, 2013.

RAZALI, N. M.; WAH, Y. B. Power comparisons of Shapiro-Wilk, Kolmogorov-Smirnov, Lilliefors and Anderson-Darling tests. **Journal of Statistical Modeling and Analytics**, [s. l.], v. 2, n. 1, p. 21-33, 2011.

SADE, W. et al. Investigação da corrosão eletrolítica em telhas de aço recobertas com zinco. **Matéria (Rio de Janeiro)**, Rio de Janeiro, v. 24, n. 1, 2019.

SIVAPATHASUNDARAM, M.; MAHENDRAN, M. Experimental studies of thin-walled steel roof battens subject to pull-through failures. **Engineering Structures**, [Amsterdã], v. 113, p. 388-406, 2016.

SIVAPATHASUNDARAM, M.; MAHENDRAN, M. New pull-out capacity equations for the design of screw fastener connections in steel cladding systems. **Thin-Walled Structures**, [Amsterdã], v. 122, p. 439-451, 2018.

STANDARDS AUSTRALIA / STANDARDS NEW ZEALAND. **AS/NZS 4600: Cold-Formed Steel Structures**. Sydney: SAI Global Limited; Wellington: Standards New Zealand, 2018.

TROUGHTON, M.J. **Handbook of Plastics Joining: A Practical Guide**. 2. ed. Norwich: William Andrew Inc, 2008.

WASSERMAN, L. **All of Nonparametric Statistics**. New York: Springer, 2006.

YU, W.; LaBOUBE, R. A. **Cold-formed Steel Design**. 4. ed. New York: John Wiley & Sons, 2010.

ZIMEK, A.; FILZMOSER, P. There and back again: Outlier detection between statistical reasoning and data mining algorithms. **Wiley Interdisciplinary Reviews: Data Mining and Knowledge Discovery**, [s. l.], v. 8, n. 6, 2018.

ZHANG, W.; MAHDAVIAN, M.; YOUSOF, M.; CHENG, Y. Testing and design of cold-formed steel clip angles in tension: Pull-over and serviceability. **Thin-Walled Structures**, [Amsterdã], v. 124, p. 13-19, 2018.

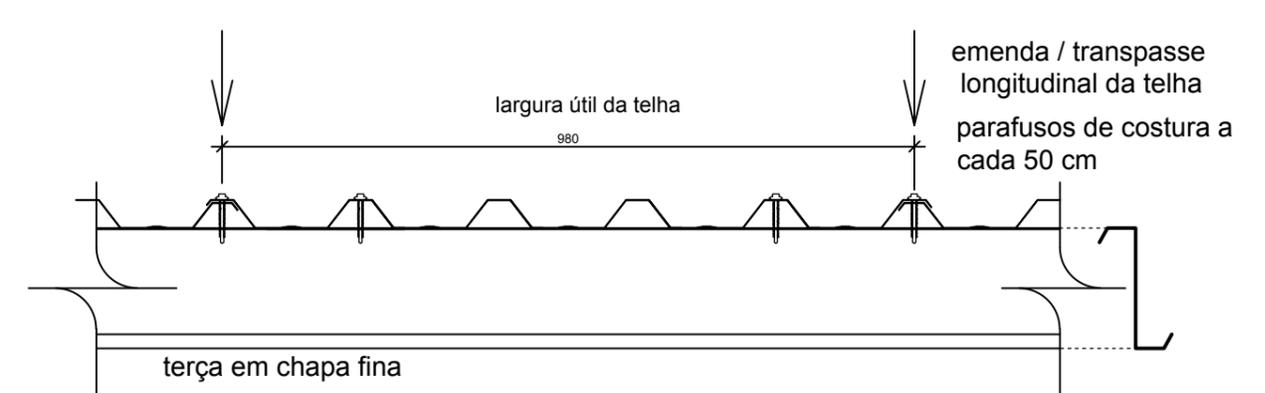
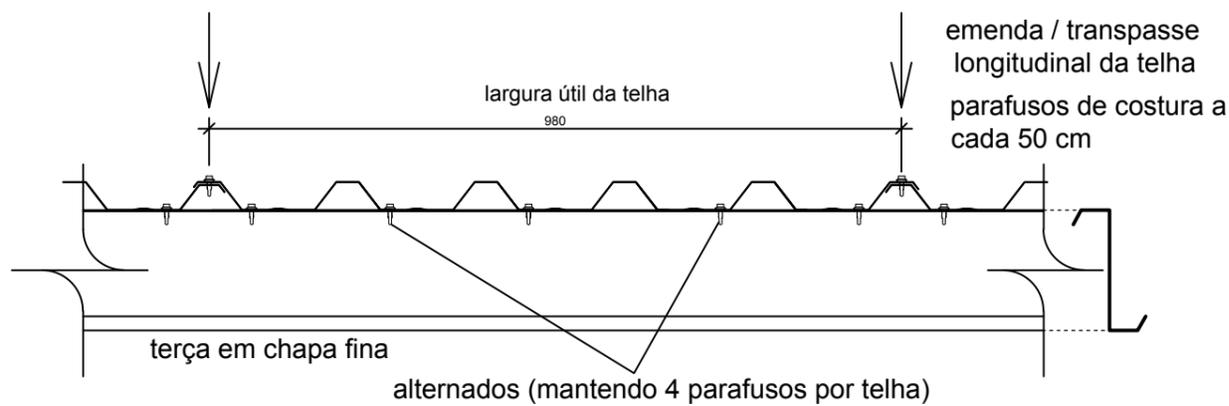
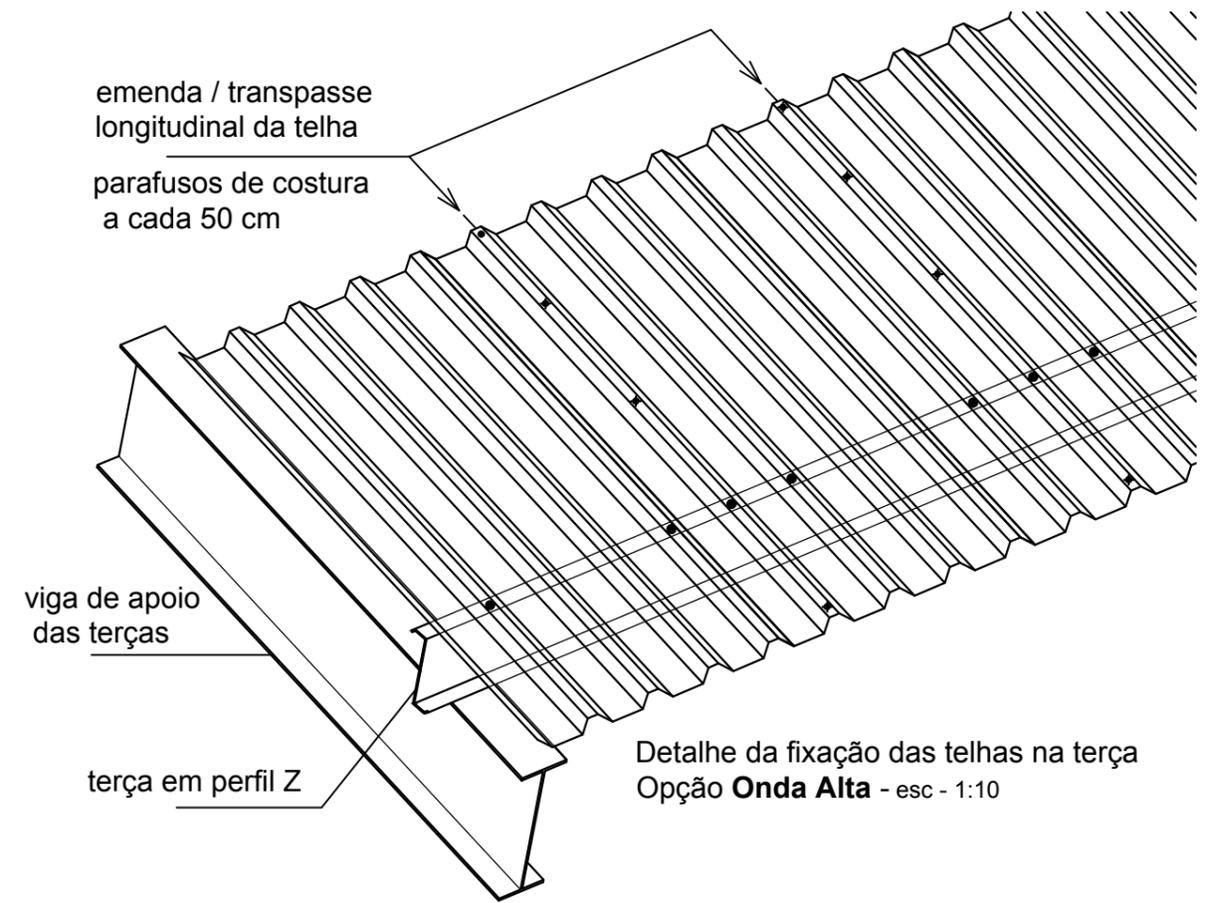
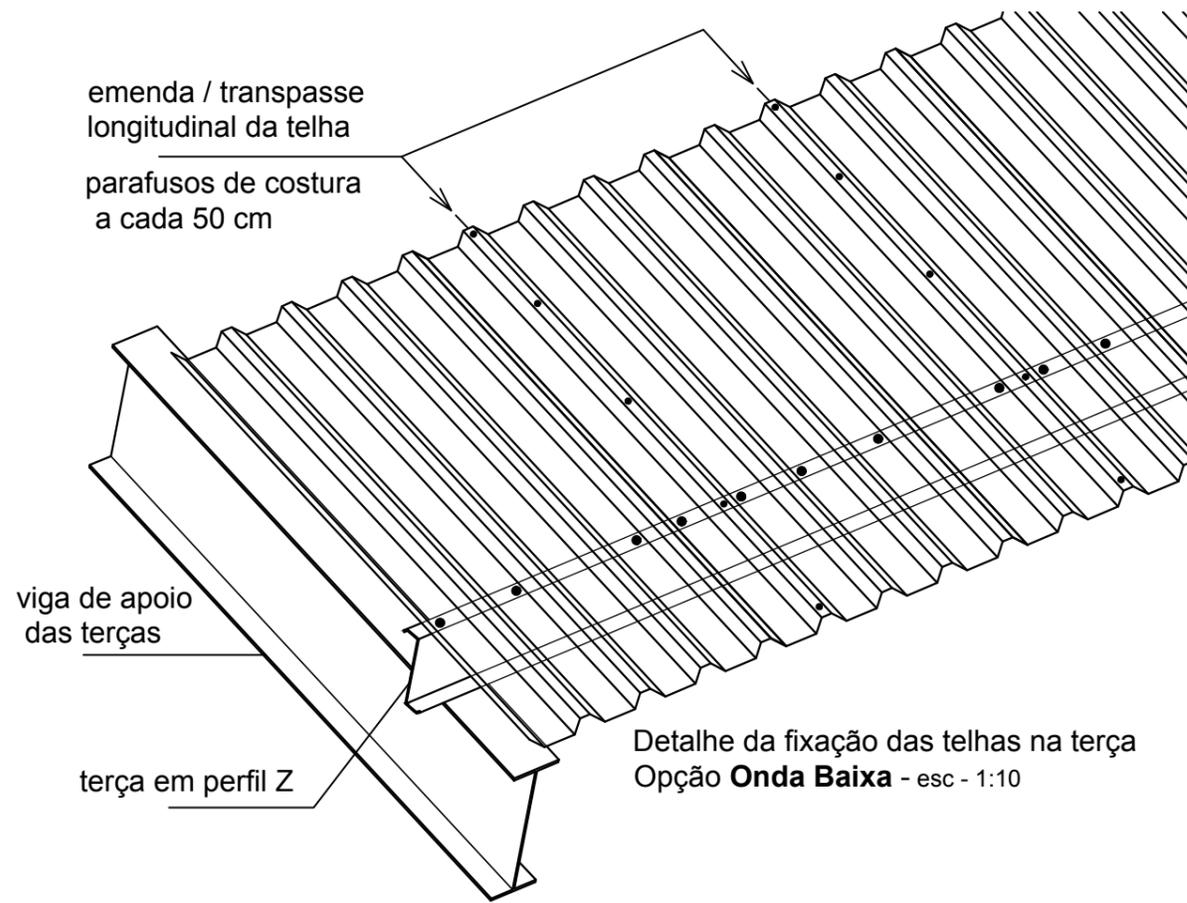
APÊNDICE A

Neste apêndice são apresentados os desenhos técnicos do parafuso proposto.

Opções de Fixação de Telhas em Terças de Chapas Finas

A - Utilizando parafusos na **onda baixa** das telhas trapezoidais (parafuso atualmente utilizados)

B - Utilizando parafusos na **onda alta** das telhas trapezoidais - proposto nesta dissertação



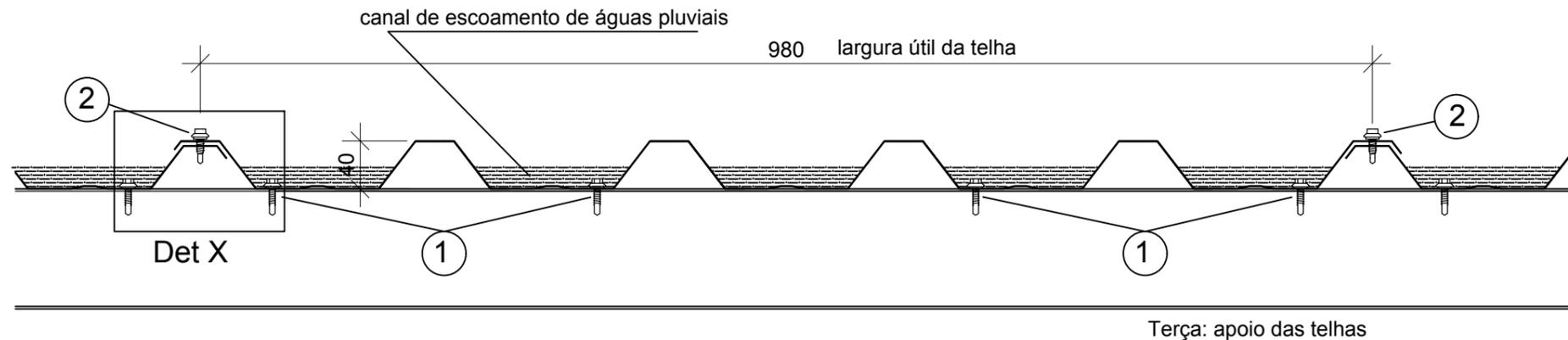
Desenho:
Posição dos Parafusos na Cobertura
com Telhas Trapezoidais

APÊNDICE A
Desenhos do Parafuso

Conteúdo:
Opções analisadas para o estudo de viabilidade
A - Utilizando parafusos na onda baixa das telhas trapezoidais
B - Utilizando parafusos na onda alta das telhas trapezoidais - proposto nesta dissertação

Folha nº A 01	Nº de folhas 03
Escala 1:10 - 1:25	Dimensões mm

I - Opção de Fixação de Telhas em Terças de Chapas Finas - Onda Baixa



Posicionamento dos parafusos no sistema atual
 1- fixadores: 04 ud por terça por telha
 2- parafusos de costura: nas emendas longitudinais das telhas a cada 50 cm

Terça: apoio das telhas

Seção Transversal esc. 1:5

Quantitativo de parafusos para fixação de telhas metálicas trapezoidais singelas:

I - Opção com parafusos convencionais atualmente utilizados (onda baixa das telhas)

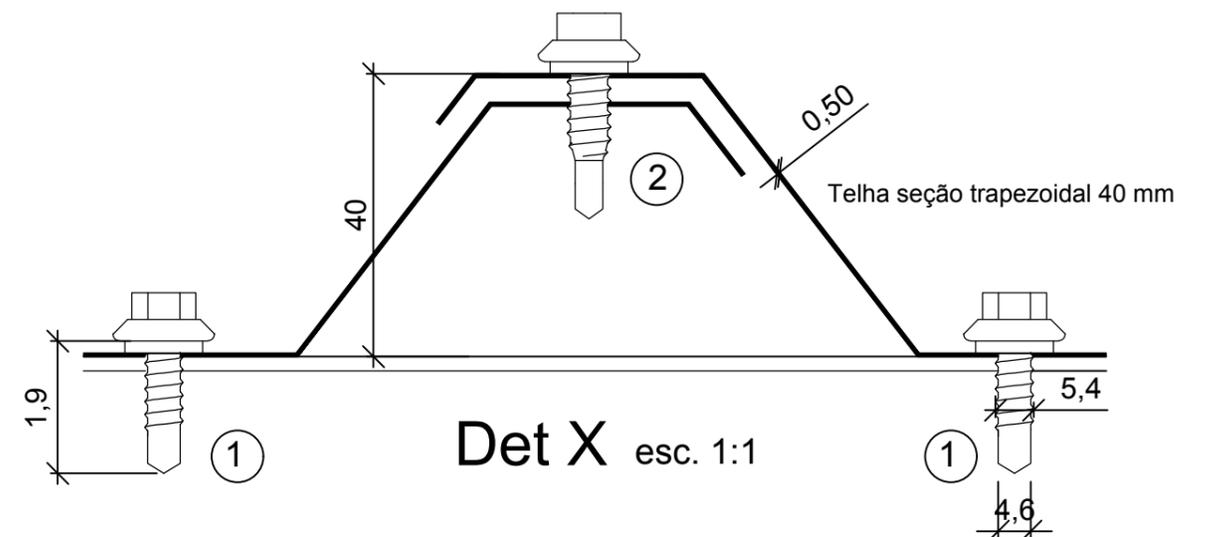
- 1) Fixação em onda baixa: 04 parafusos por terça por telha com largura útil de 98 cm
 $2.774,00 \text{ ml de terças incluindo fechamento vertical} \times 4 / 0,98 = 11.323 \text{ parafusos para onda baixa}$
- 2) Costura: 01 parafuso a cada 50 cm nas emendas longitudinais: $3.418 \text{ ml} / 0,5 \text{ ml} = 6.836 \text{ parafusos de costura}$.

Total de parafusos atualmente utilizados: **18.159** parafusos

II - Quantitativo de parafuso com a nova proposta - fixação na onda alta da telha

- 1) Fixação em onda alta: 03 parafusos por terça por telha com largura útil de 98 cm
 $2.774,00 \text{ ml de terça} \times 3 \text{ ud} / 0,98 \text{ ml} = 8.322 \text{ parafusos de fixação na onda alta}$
- 2) Costura: 02 parafusos entre as terças nas emendas longitudinais, com distância entre parafusos de 43 cm, e considerando que o parafuso fixador também tem a função de costura na posição de emendas longitudinais das telhas (mantendo a distância máxima entre os parafusos de costura de 50 cm): $7.838 - (8.322/3) = 5.064 \text{ parafusos de costura}$

Total de parafusos com a nova proposta: **13.386** parafusos



Det X esc. 1:1

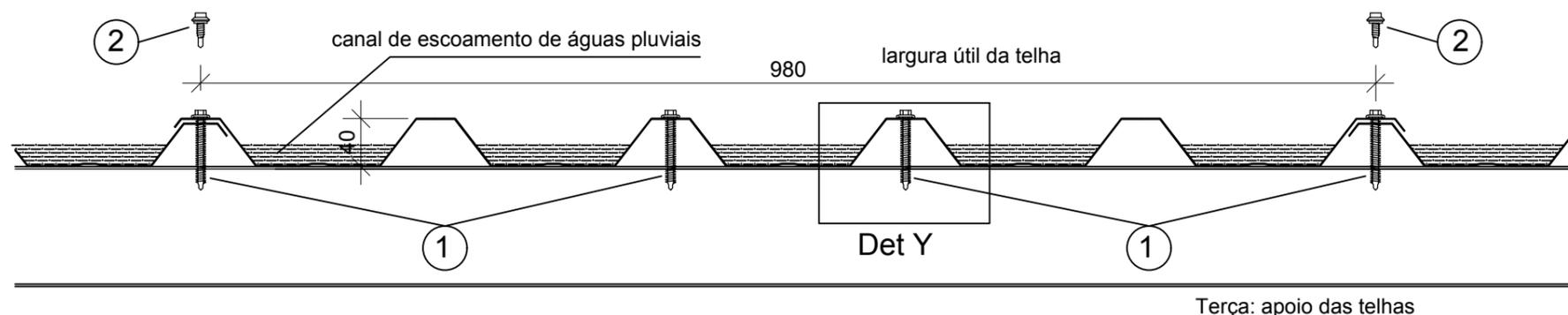
Desenho:
 Parafuso Atualmente Utilizado
 na Onda Baixa

APÊNDICE A
 Desenhos do Parafuso

Conteúdo:
 I - Opção de Fixação de Telhas em Terças
 de Chapas Finas - Onda Baixa

Folha nº A 02	Nº de folhas 03
Escala 1:5 - 1:1	Dimensões mm

II - Opção de Fixação de Telhas em Terças de Chapas Finas - Onda Alta (Parafuso Proposto)

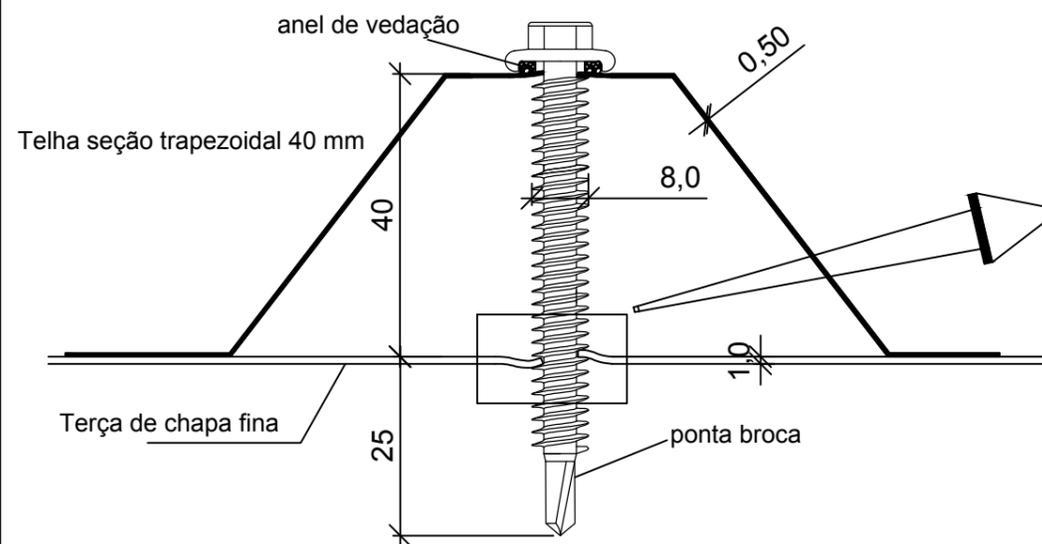


Posicionamento dos parafusos no sistema proposto
 1- fixadores: 03 ud por terça por telha
 2- parafuso de costura: nas emendas longitudinais das telhas a cada intervalo entre terças

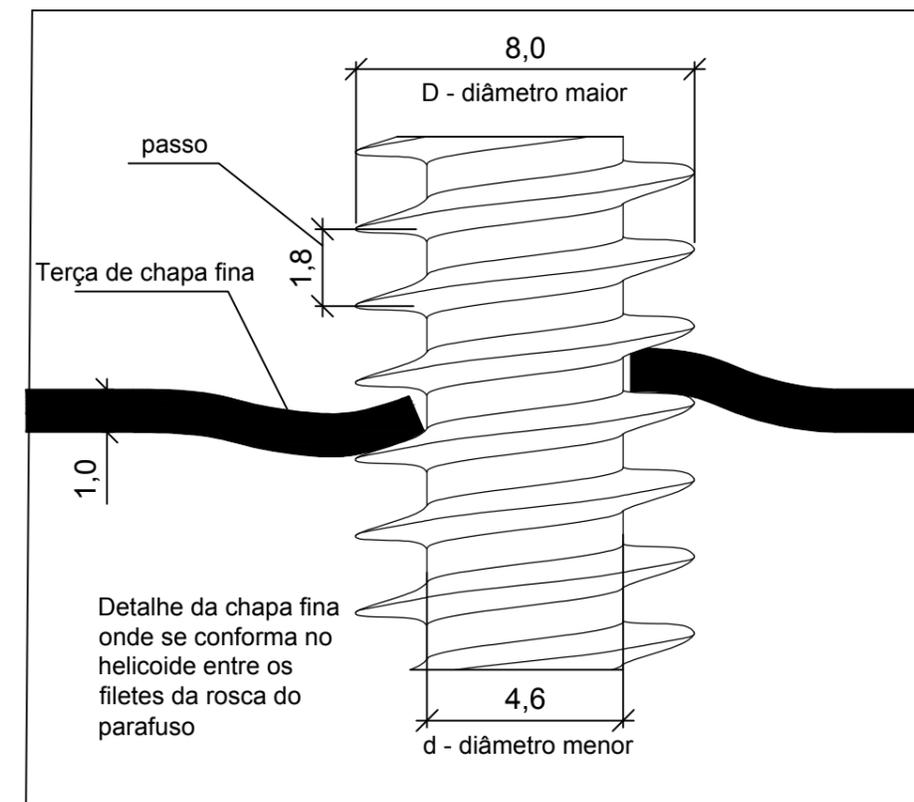
Seção Transversal esc. 1:5

Nota:

O parafuso proposto se diferencia dos usualmente utilizados no comprimento ($L=65\text{ mm}$) e no diâmetro maior ($D=8,0\text{ mm}$). Para isso manteve-se o modelo da cabeça sextavada e da ponta broca dos parafusos atualmente utilizados. Os filetes do parafuso proposto possuem alturas 4 vezes maiores que as alturas dos filetes dos parafusos atualmente utilizados. Com essa altura maior, os filetes "calçam" a chapa fina em somente uma volta de rosca conformando-a no helicóide do parafuso. A chapa fina, no entorno do furo, se conforma com a geometria do helicóide da rosca do parafuso, alojando-se entre dois filetes. O movimento circular durante a colocação do parafuso faz com que a chapa fina se conforme, resultando uma interação de estiramento e contração localizados formando o efeito mola (springback). Esse efeito mola da chapa fina da terça mantém o parafuso estável sem a necessidade de atarrachamento. Os testes de pull out mostram que a capacidade de carga deste novo modelo é superior ao parafuso convencional utilizado atualmente, e com a opção em fixar as telhas na onda alta.



Det Y esc. 1:1
 dimensões em milímetros



Detalhe da chapa fina onde se conforma no helicóide entre os filetes da rosca do parafuso

Desenho:

Parafuso Proposto - Onda Alta

APÊNDICE A

Desenhos do Parafuso

Conteúdo:

II - Opção de Fixação de Telhas em Terças de Chapas Finas - Onda Alta (Parafuso Proposto)

Folha nº
A 03

Nº de folhas
03

Escala
1:5 - 1:1

Dimensões
mm

APÊNDICE B

Neste apêndice é apresentado o pedido de patente do parafuso proposto no presente trabalho.

Dados do Pedido

Natureza Patente: 10 - Patente de Invenção (PI)

Título da Invenção ou Modelo de DISPOSIÇÃO APLICADA EM PARAFUSO PARA FIXAÇÃO NA

Utilidade (54): ONDA ALTA DE TELHAS E CHAPAS METÁLICAS FINAS

Resumo: Refere-se o presente invento ao campo técnico de parafusos para o segmento da construção civil, mais especificamente a uma disposição aplicada em parafuso para fixação na onda alta de telhas e chapas metálicas finas, que apresenta como novidade, um parafuso (1) com rosca autotravante (2) com altura entre filetes, quatro vezes maior em relação as roscas tradicionais, e um canal anelar (3) disposto na face inferior da base circular (B), utilizada para acomodação e expansão da arruela de borracha de vedação (H). A nova disposição dos filetes permitem o travamento direto sobre a chapa metálica da onda alta de telhas trapezoidais ou onduladas e da chapa metálica de base, com espessuras menores de 2,65 mm. Já os parafusos tradicionais fixam as telhas através das ondas baixas onde se formam os canais de descida da água acumulada, neste processo, as roscas são atarraxadas diretamente sobre as vigas de sustentação até o aperto da cabeça do parafuso sobre a telha.

Figura a publicar: 1

(21) BR 10 2019 022717-6

Código 2.10 - Requerimento de Pedido de Patente ou Certificado de Adição de Invenção

(22) 30/10/2019

(71) NILSON THADEU NOVELLO (BR/PR)

Número de Protocolo '870190110463' em 30/10/2019 11:35 (WB)

APÊNDICE C

Neste apêndice é apresentado o certificado de calibração da máquina universal de ensaios WAW-100 utilizada no presente trabalho para realização dos ensaios de pull-out.

Certificado de Calibração

Laboratório de Metrologia Acreditado pela Cgcre de acordo com a ABNT NBR ISO/IEC 17025:2017, sob o nº 0692

número: **190408.01EB**

emissão: **11/04/2019**

cliente: UNIÃO EDUCACIONAL DE CASCAVEL - UNIVEL LTDA

endereço: AV. TITO MUFFATO, 2317 - SANTA CRUZ - CASCAVEL - PR - 85806-080

item calibrado: Máquina Universal de Ensaios

fabricante/modelo: WAW-100

identificação fabricante: NP-CDY1513

identificação cliente: Não Consta

patrimônio: Não Consta

faixa nominal: 100 kN(Compressão)

faixa calibrada: 100 kN(Compressão)

procedimento/norma: PC-01 - rev. 04 / **ABNT NBR ISO/7500-1:2017**

descrição do método: Conforme procedimento de calibração PC-01, o padrão foi montado centrado em relação ao eixo de aplicação de força da máquina de ensaios, simulando a sua condição normal de trabalho, sendo os valores referenciados na máquina e lidos no indicador do padrão.

local da calibração: Laboratório de Metrologia e Ensaio de Materiais

data da calibração: 08/04/2019

temperatura: $26,7 \pm 0,5^{\circ}\text{C}$

RAT nº: 190408.01EB



calibrado por: Emerson Borges
Técnico

Cícero Rogério Ferreira
Signatário Autorizado

NOTAS:

- . Este certificado atende aos requisitos de acreditação pela Cgcre que avaliou a competência do laboratório e comprovou sua rastreabilidade a padrões nacionais de medida.
- . Este certificado é válido exclusivamente para o equipamento calibrado nas condições desta ocasião, não sendo estendido a quaisquer outros lotes, mesmo que similares.
- . A incerteza expandida de medição (U) relatada é declarada como a incerteza padrão de medição multiplicada pelo fator de abrangência (k), o qual para uma distribuição *t* com (*veff*) graus de liberdade efetivos corresponde a uma probabilidade de abrangência de aproximadamente 95,45%. A incerteza padrão de medição foi determinada de acordo com a publicação EA-4/02.
- . A QUANTEQ autoriza a reprodução deste certificado, desde que qualquer cópia sempre apresente seu conteúdo integral.
- . Este documento não dá direito ao uso do nome ou da marca QUANTEQ, para quaisquer fins, sob pena de indenização.
- . A incerteza de medição não é considerada na declaração de conformidade.
- . Não foram realizados ajustes.

Aprovado por senha pelo(a) Signatário (a) Autorizado (a) Cícero Rogério Ferreira e impresso em PDF em 11/04/2019 14:55:10

QUANTEQ - CNPJ 08.009.137/0001-19 - Inscr. Mun. 30117 - Inscr. Est. 90.634.513-79

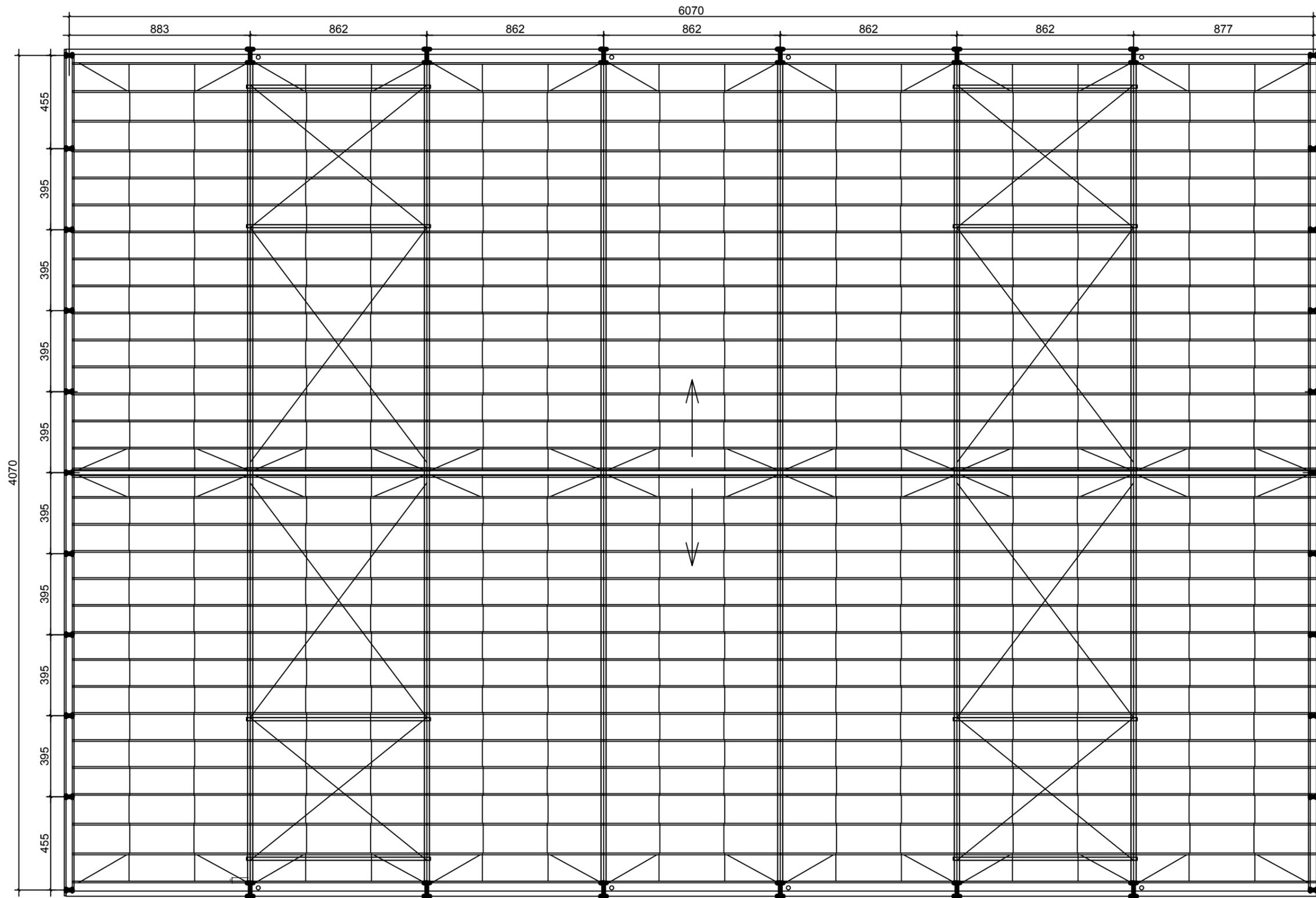
Rua Antonio Olinto, 10
São Pedro - 83020-090
São José dos Pinhais - PR

quanteq@quanteq.com.br
www.quanteq.com.br

+55 (41) 3384-3616
+55 (41) 4111-2084

APÊNDICE D

Neste apêndice é apresentado o projeto do galpão utilizado para análise de viabilidade econômica da aplicação do novo sistema de fixação em onda alta.



Estrutura da Cobertura Vista Superior esc. 1:200

Responsável Técnico:

Nilson Novello

Eng Civil Nilson Thadeu Novello
CREA PR 19.986-D

APÊNDICE D

Estudo de caso de uma edificação industrial
Projeto de Estrutura Metálica

Projeto:

Estrutura Metálica

Obra:

Edificação Industrial

Local:

Cascavel - PR

Folha nº

D 01

Nº de folhas

03

Escala

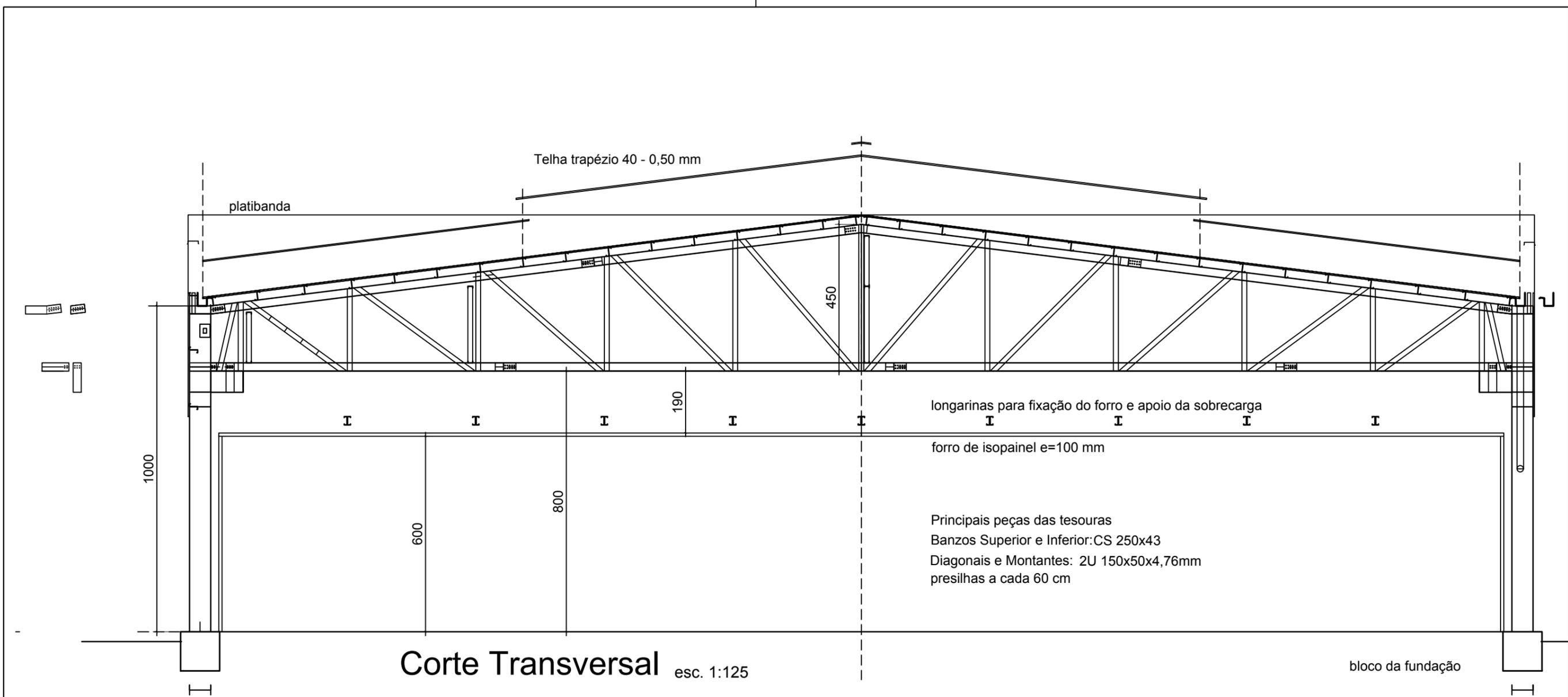
1:125

Dimensões

cm

Data

27/09/2019



Notas:

- Cotas em centímetros (cm).
- A finalidade deste projeto é Conceitual. Do projeto executivo, foram mantidos somente os detalhes e as especificações básicas para a compreensão da análise da viabilidade econômica e da comparação entre as formas de fixação de telhas do modelo do novo parafuso de fixação na onda alta e do parafuso autoatarraxante normalmente utilizado na onda baixa das telhas trapezoidais na data deste projeto.
- A especificação dos tipos de perfis metálicos para os banzos e diagonais são somente os mais solicitados estruturalmente na tesoura.

Responsável Técnico:

Nilson Novello

Eng Civil Nilson Thadeu Novello
CREA PR 19.986-D

APÊNDICE D

Estudo de caso de uma edificação industrial
Projeto de Estrutura Metálica

Projeto:

Estrutura Metálica

Obra:

Edificação Industrial

Local:

Cascavel - PR

Folha nº

D 02

Nº de folhas

03

Escala

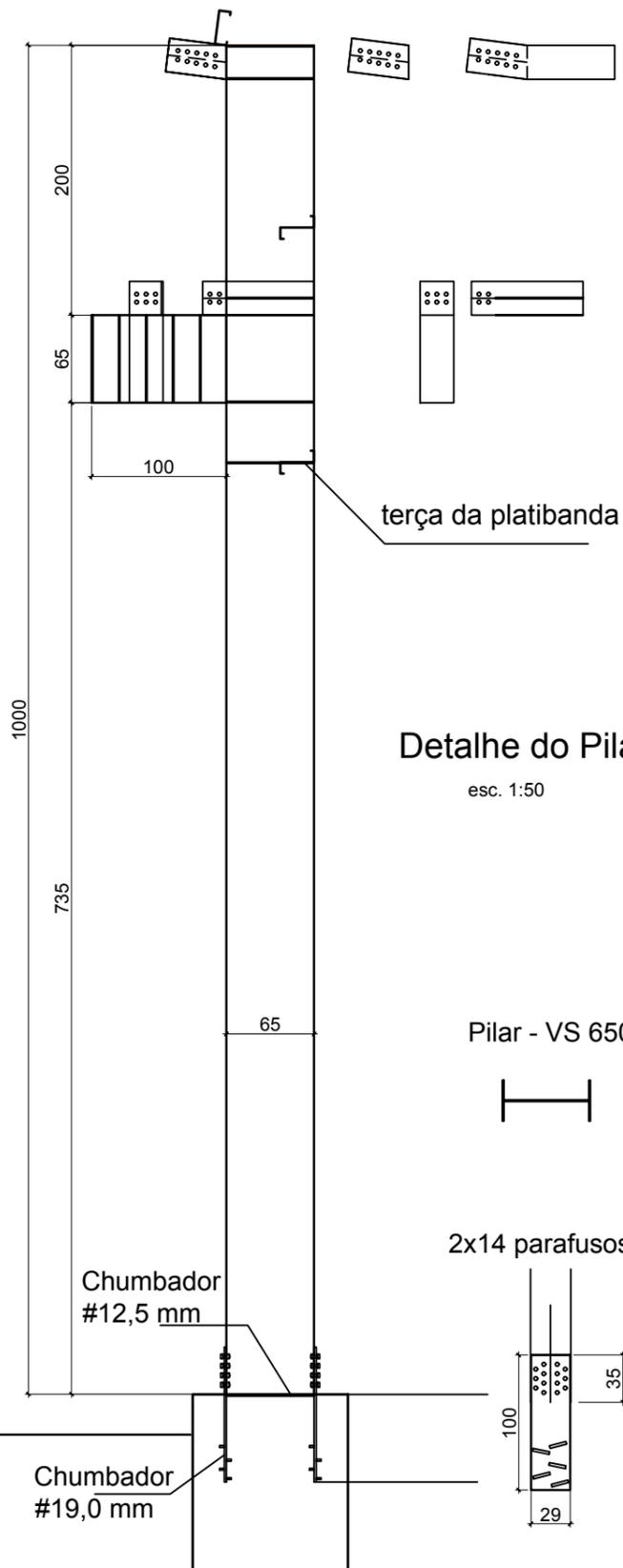
1:125

Dimensões

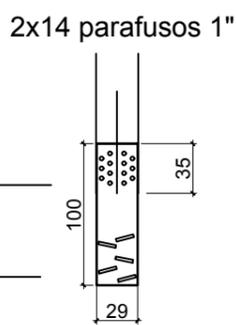
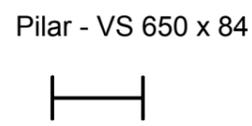
cm

Data

27/09/2019

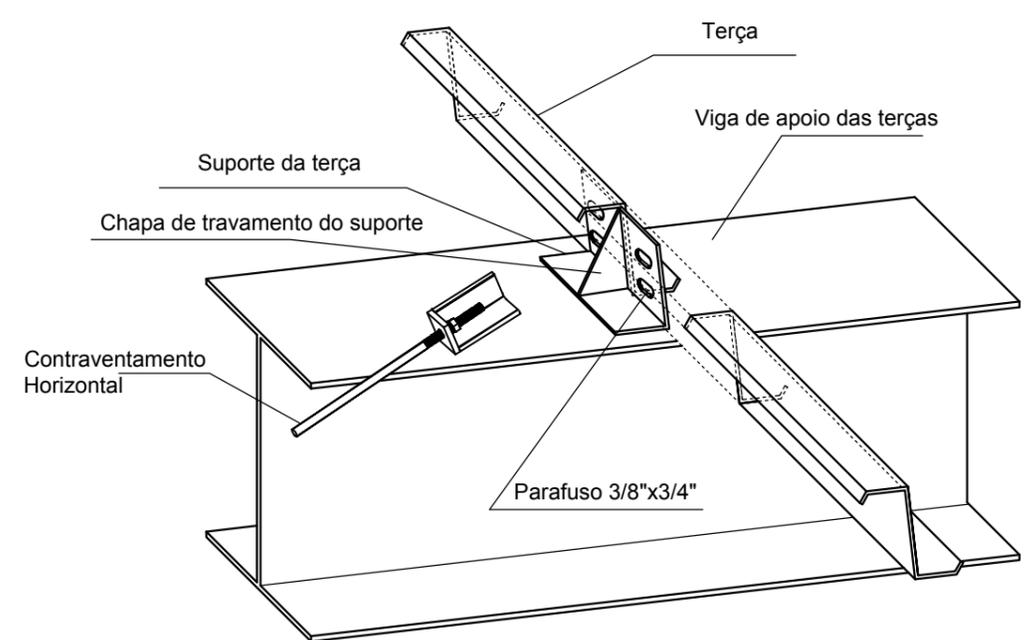


Detalhe do Pilar
esc. 1:50



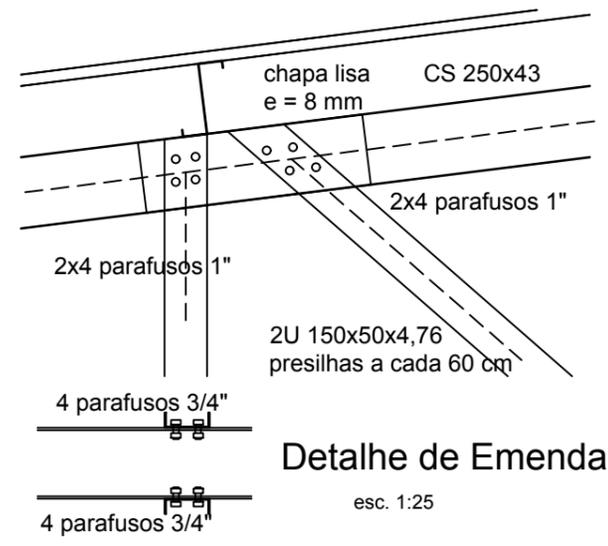
Detalhe do suporte da terça

esc. 1:12,5



Especificações dos Perfis Metálicos

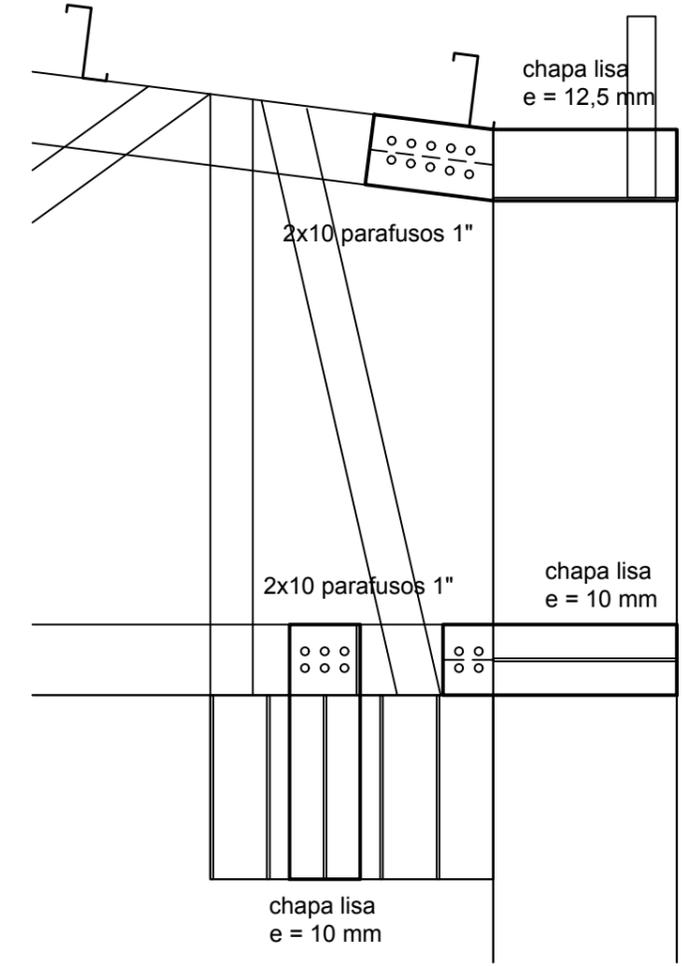
Elemento	Tipo do material	f _y (MPa)	f _u (MPa)
Perfis W	ASTM A-572 GR 50	345	450
Cantoneiras	ASTM A-36	250	400
Perfis "Z" para terças	NBR ZAR 345	345	450
Diagonais e montantes	NBR CF-26	260	400
Barras redondas	ASTM A-36	250	400
Chapas para uniões	ASTM A-36	250	400
Parafusos para fixação de terças	ASTM A-307	—	—
Parafusos para uniões	ASTM A-325	—	—



Detalhe de Emenda
esc. 1:25

Detalhe de Ligação Tesoura / Pilar

esc. 1:25



Responsável Técnico:
Nilson Novello
Eng Civil Nilson Thadeu Novello
CREA PR 19.986-D

APÊNDICE D
Estudo de caso de uma edificação industrial
Projeto de Estrutura Metálica

Projeto: **Estrutura Metálica**
Obra: Edificação Industrial
Local: Cascavel - PR

Folha nº **D 03** Nº de folhas **03**
Escala 1:25 - 1:50 Dimensões cm
Data 27/09/2019