



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
Universidade Federal de Ouro Preto
Escola de Minas – Departamento de Engenharia Civil
Curso de Graduação em Engenharia Civil



Augusto César dos Santos Nascimento

**Estudo de caso sobre estrutura de madeira utilizando Eucalipto Citriodora para
telhado em duas águas**

Ouro Preto - MG
2024

Augusto César dos Santos Nascimento
augustocesarsn@gmail.com

Estudo de caso sobre estrutura de madeira utilizando Eucalipto Citriodora para telhado em duas águas

Monografia apresentada ao Curso de Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Ouro Preto como parte dos requisitos para a obtenção do grau de Engenheiro Civil.

Área de concentração: Estruturas

Orientador: Doutor Geraldo Donizetti de Paula
Coorientador: Doutor Henrique Nogueira Soares

Ouro Preto - MG
2024



FOLHA DE APROVAÇÃO

Augusto César dos Santos Nascimento

Estudo de caso sobre estrutura de madeira utilizando eucalipto citriodora para telhado em duas águas

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Civil

Aprovada em 29 de outubro de 2024

Membros da banca

DSc. - Geraldo Donizetti de Paula - Orientador - Universidade Federal de Ouro Preto
DSc. - Henrique Nogueira Soares, Engenheiro - Neoinfra Engenharia
MSc. - Marcela Paula Grobério - Universidade Federal de Ouro Preto

Geraldo Donizetti de Paula, orientador do trabalho, aprovou a versão final e autorizou seu depósito na Biblioteca Digital de Trabalhos de Conclusão de Curso da UFOP em 29/10/2024



Documento assinado eletronicamente por **Geraldo Donizetti de Paula, PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 29/10/2024, às 11:39, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.ufop.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **0802099** e o código CRC **C2BCA6AF**.

Dedico este trabalho ao meu avô
José Benedito dos Santos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos os envolvidos, em especial, ao Professor orientador Doutor Geraldo Donizetti de Paula, ao meu coorientador Doutor Henrique Nogueira Soares. Meu pai por todo suporte financeiro até a entrada na vida adulta. E minha mãe, por todo carinho e paciência. Além de sempre acreditarem em meu potencial, são meus exemplos de como lidar com as situações da vida.

“Seja feita a Vossa vontade”.

Jesus Cristo

RESUMO

A madeira, amplamente utilizada como material estrutural, oferece vantagens significativas devido às suas propriedades mecânicas e características naturais. Possui uma excelente relação resistência-peso, o que a torna adequada para suportar cargas substanciais sem acrescentar peso excessivo à estrutura. Esta qualidade a diferencia de outros materiais, como o aço e o concreto, proporcionando economia de material e facilidade de manuseio durante a construção. Além disso, a madeira apresenta boa resistência à compressão e à tração ao longo de suas fibras, permitindo seu uso em diferentes tipos de elementos estruturais, como vigas, pilares, caibros e terças. As coberturas de madeira sempre foram populares na construção de residências. Isto é devido a sua eficiência, durabilidade e versatilidade. Uma obra a base de madeira é construída muito rapidamente. Seu material é de fácil manejo, o que possibilita ser produzida em peças de dimensões e tamanhos diferentes. Essa condição é essencial para acelerar um projeto que necessite de mudanças rápidas. Sem contar sobre a propriedade de receber ligações e emendas de forma simples. Seu uso está se tornando cada vez mais comum na construção residencial devido aos seus inúmeros benefícios. O projeto de um telhado em madeira é fundamental para assegurar a durabilidade, a segurança e a eficiência estrutural da cobertura. Um dimensionamento adequado considera fatores como as cargas permanentes e variáveis a que o telhado será submetido, incluindo o peso próprio, cargas de vento, neve (onde aplicável), e cargas de manutenção. A análise estrutural deve garantir que cada componente, desde as tesouras, terças, caibros, até as ripas, tenha a resistência necessária para suportar as tensões aplicadas. A escolha dos tipos de madeira e suas seções transversais deve seguir normas técnicas, que estabelece os parâmetros para o uso da madeira na construção civil. Um telhado bem projetado promove também o isolamento térmico e a proteção contra infiltrações, além de integrar-se esteticamente ao conjunto da edificação, garantindo um acabamento de qualidade e a valorização do imóvel. Este trabalho apresenta um estudo detalhado sobre a utilização de estruturas de madeira na construção de telhados em duas águas. O estudo concentra-se em um caso específico de um telhado em duas águas, com ênfase na análise da estrutura de madeira que suporta o telhado.

Palavras Chaves: Estrutura de madeira; Telhado; Eucalipto Citriodora.

ABSTRACT

Wood, widely utilized as a structural material, offers significant advantages due to its mechanical properties and natural characteristics. It possesses an excellent strength-to-weight ratio, making it suitable for bearing substantial loads without adding excessive weight to the structure. This quality distinguishes it from other materials, such as steel and concrete, providing material savings and ease of handling during construction. Additionally, wood exhibits good resistance to compression and tension along its fibers, allowing its use in various types of structural elements, such as beams, columns, rafters, and purlins. Wooden roofs have always been popular in residential construction due to their efficiency, durability, and versatility. A wooden structure can be constructed very quickly. Its material is easy to handle, enabling it to be produced in pieces of different dimensions and sizes. This condition is essential for expediting a project that requires rapid changes. Moreover, it allows for simple connections and joints. Its use is becoming increasingly common in residential construction due to its numerous benefits. The design of a wooden roof is fundamental to ensuring the durability, safety, and structural efficiency of the covering. Proper sizing takes into account factors such as the permanent and variable loads to which the roof will be subjected, including its own weight, wind loads, snow loads (where applicable), and maintenance loads. Structural analysis must ensure that each component—from the trusses, purlins, rafters, to the battens—has the necessary strength to withstand the applied stresses. The selection of wood types and their cross-sections should adhere to technical standards, which establishes parameters for the use of wood in civil construction. A well-designed roof also promotes thermal insulation and protection against water infiltration, while aesthetically integrating into the overall building, ensuring a quality finish and enhancing property value. This study presents a detailed examination of the use of wooden structures in the construction of gable roofs. The study focuses on a specific case of a gable roof, emphasizing the analysis of the wooden structure that supports the roof.

Keywords: Wooden structure; Roof; Eucalyptus Citriodora.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Exemplo de telhado em duas águas.....	16
Figura 2: Eucalipto Citriodora.	17
Figura 3: Tesoura em Eucalipto.	18
Figura 4: Treliza de contorno triangular.	20
Figura 5: Exemplo de caibros.	21
Figura 6: Exemplo de terça.	22
Figura 7: Exemplo de Ripas.....	23
Figura 8: Fachada da edificação.....	26
Figura 9: Planta baixa da edificação.....	27
Figura 10: Vista transversal da tesoura.....	28
Figura 11: Vista longitudinal do telhado.....	29
Figura 12: Valor de α	31
Figura 13: Esquema estrutural do telhado.....	33
Figura 14: Cargas inclinadas.	35
Figura 15: Tela inicial de configuração.....	36
Figura 16: Configuração da velocidade do vento.	37
Figura 17: Configuração fator S1.	37
Figura 18: Configuração fator S2.	38
Figura 19: Configuração fator S3.	38
Figura 20: Configuração coeficiente de pressão externa - paredes.....	39
Figura 21: Configuração coeficiente de pressão externa - telhado.....	39
Figura 22: Configuração coeficiente de pressão interna.....	40
Figura 23: Sucção.....	40
Figura 24: Sobrepressão.	41
Figura 25: Carga distribuída.....	42
Figura 26: Esquema estrutural ripas.....	43
Figura 27: Ação das cargas.	46
Figura 28: Distribuição de cargas sobre caibros.	47
Figura 29: Concentração nos nós devida à carga permanente	56
Figura 30: Concentração nos nós devida à sobrecarga	56
Figura 31: Distribuição das cargas sobre a tesoura.....	57
Figura 32: Resumo da concentração das cargas	58
Figura 33: Resumo da concentração devida à carga acidental	59
Figura 34: Configuração dos nós	60

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Valores das propriedades de rigidez e de resistência característica do Eucalipto Citriodora.	30
Tabela 2: Valores de αn	32
Tabela 3: Contribuição da cobertura e composição.	34
Tabela 4: Contribuição de forro e composição.	35
Tabela 5: Resumo das cargas.	55
Tabela 6: Resumo dos esforços.	60
Tabela 7: Resumo das peças em madeira.	66

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
1.1	Formulação do Problema	11
1.2	Justificativa.....	13
1.2.1	Aspectos Ambientais	13
1.2.2	Aspectos Econômicos.....	13
1.2.3	Aspectos Sociais.....	14
1.3	Metodologia.....	14
1.4	Estrutura do Trabalho	14
2	OBJETIVOS	15
2.1	Objetivo Geral	15
2.2	Objetivos Específicos.....	15
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
3.1	Madeira como Elemento Estrutural para Telhados.....	16
3.1.1	Tesoura	17
3.1.2	Treliça.....	18
3.1.2.1	Treliça de Contorno Triangular	19
3.1.3	Caibro.....	20
3.1.4	Terças	21
3.1.5	Ripas	22
3.2	Madeira e suas Principais Características	23
3.2.1	Densidade	24
3.2.2	Umidade.....	24
3.2.3	Resistência.....	25
3.2.4	Durabilidade e Tratamento	25
4	ESTUDO DE CASO	26
4.1	Cálculo Estrutural do Telhado em Duas Águas	26
4.1.1	Descrição do Edifício	26
4.1.2	Concepção Estrutural	28
4.1.3	Especificações dos Materiais e Parâmetros Geométricos	30
4.1.4	Cálculo das Cargas Unitárias	34
4.1.4.1	Carga Permanente.....	34
4.1.4.2	Carga Acidental de Vento	36
4.2	Verificações.....	42
4.2.1	Verificação das Ripas	43
4.2.1.1	Carga por Metro Linear de Ripa	44
4.2.1.2	Verificação da Flecha.....	46
4.2.2	Verificação dos Caibros	47

4.2.2.1	Esforços Solicitantes.....	48
4.2.2.2	Verificações.....	49
4.2.3	Verificação das Terças	51
4.2.3.1	Carga por Metro Linear de Terça	52
4.2.3.2	Verificações.....	53
4.3	Cálculo da Tesoura	54
4.3.1	Resumo das Cargas Unitárias.....	55
4.3.2	Cálculo das Concentrações.....	55
4.3.2.1	Esquema das Concentrações nos Nós ou Juntas	55
4.3.3	Concentrações Devida à Carga Permanente no Banzo Superior	57
4.3.4	Concentrações Devida à Carga Acidental	59
4.3.5	Esforços nas Barras da Tesoura	60
4.3.6	Verificação das Barras.....	61
4.3.6.1	Banzo Superior	61
4.3.6.2	Banzo Inferior	62
4.3.6.3	Diagonal mais Solicitada.....	63
4.3.6.4	Pendural Secundário.....	64
4.3.6.5	Pendural Central	65
4.4	Resumo das Peças em Madeira	66
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	67
5.1	Conclusões	67
5.2	Sugestões para Trabalhos Futuros	67

1 INTRODUÇÃO

A construção civil é um dos pilares para o desenvolvimento de uma sociedade, permeando a maioria dos locais que frequentamos diariamente, desempenhando um papel crucial no avanço econômico e social de uma região ou país (VARA, 2015).

Segundo Banco bs2 (2024):

Em 2021, chegou a registrar o maior crescimento da década, que representou um aumento de 7,6%, segundo dados da Câmara Brasileira da Indústria da Construção (CBIC). De acordo com a instituição, este crescimento foi o maior para o setor, em 10 anos.

A indústria da construção civil enfrenta uma fase altamente imprevisível, marcada por significativo aumento nos custos de insumos essenciais, como aço e cimento. Essas transformações impactam diretamente todas as etapas relacionadas ao planejamento, desenvolvimento, execução e venda de empreendimentos imobiliários (FLACH, 2012; VARA, 2015).

A implementação de um projeto estrutural de cobertura implica a realização de várias etapas, incluindo a definição do sistema estrutural, identificação e quantificação de ações, seleção de materiais, análise estrutural, dimensionamento das tipologias, detalhamento e especificações. O resultado final constitui uma síntese das decisões tomadas ao longo do desenvolvimento do projeto (OLIVEIRA, 2023).

1.1 Formulação do Problema

A introdução do concreto armado, desde seu surgimento, promoveu uma transformação significativa nos empreendimentos imobiliários em escala global. Isso possibilitou o crescimento vertical de residências e edifícios, bem como a construção de pontes extensas e outras estruturas amplamente utilizadas no setor da construção. Indubitavelmente, o concreto armado é uma composição altamente versátil e indispensável no atual paradigma construtivo. No entanto, é crucial abordar e considerar uma desvantagem inerente: o concreto armado não é composto por materiais renováveis (LARANJEIRA, 2009).

O concreto armado é um compósito construtivo composto por materiais distintos. Os componentes primários frequentemente empregados são o cimento, o aço, os agregados (areia e brita) e a água. Essa combinação é projetada para aproveitar as características específicas de cada material. O aço, devido à sua elevada resistência à tração, complementa eficazmente o desempenho do concreto, formado pelo cimento, agregados e água, que, por sua vez, oferece notável resistência aos esforços de compressão (ANDRADE, 2016).

A madeira por sua vez é um material natural e facilmente renovável que possui, quando em bom estado, bons índices de resistência aos esforços de tração e compressão e pode passar a ser uma alternativa à construção de concreto armado, como já acontece em alguns países e como já foi feita em diversas obras do passado.

Ao longo dos anos, a madeira tem se mostrado um material com enorme potencial de utilização na construção civil em elementos estruturais e outros que não sejam apenas para formas ou escoramento de lajes. Esse potencial se mostra ainda mais relevante quando buscamos diminuir o uso de materiais não renováveis e pensamos na construção civil como uma atividade renovável e sustentável (SANTOS, 2021).

Atualmente, o setor enfrenta um desafio significativo devido ao aumento nos preços dos insumos essenciais para a produção construtiva, como tubos, alvenaria, madeira, fios elétricos, cobre, cimento e aço. O acréscimo nos custos destes dois últimos, fundamentais para o concreto armado, resulta em uma elevação substancial nos custos dos elementos estruturais do empreendimento. Esse impacto é acentuado no contexto brasileiro, onde prevalece a adoção predominante do concreto armado em detrimento de outros modelos construtivos. A dependência desse método construtivo sujeita o setor às flutuações do mercado, resultando em custos mais elevados nos insumos, sem a flexibilidade de transição para modelos alternativos de construção devido à falta de difusão destes últimos (BANCO BS2, 2024).

Na conjunção dos aspectos apresentados surge um questionamento inevitável: Quais características tornam o uso da madeira vantajoso para estruturas de telhados e qual o processo de dimensionamento para um telhado em duas águas?

1.2 Justificativa

A preferência pelo concreto armado é mais arraigada e familiar para a mão de obra brasileira em comparação ao uso de estruturas de madeira. Devido à qualidade insatisfatória das construções em madeira no passado, gerou-se um preconceito em relação a esse modelo construtivo, associando-o a construções de baixo padrão

Para compreender e debater a utilização da madeira em elementos estruturais, analisaremos alguns aspectos relacionados.

1.2.1 Aspectos Ambientais

O aumento das emissões de gases poluentes no mundo tem sido objeto de estudo global, com constantes discussões sobre maneiras de reduzir as emissões e aumentar a captação de gases que contribuem para o efeito estufa. Portanto, considerar o consumo de energia para a fabricação de um determinado produto é crucial. Grande parte das emissões relacionadas à produção de aço e cimento é significativa para o aumento desse efeito, enquanto a produção de madeira reflorestada atua como importante captadora desses gases. A madeira é um recurso renovável amplamente disponível no território brasileiro, encontrado em extensas florestas plantadas. Por outro lado, o cimento e o aço são materiais processados e derivados de minerais não renováveis (SANTOS, 2021).

1.2.2 Aspectos Econômicos

A indústria da madeira apresenta diversas vantagens que a tornam fundamental para a economia e o desenvolvimento sustentável. Atualmente, a extração de madeira está sujeita a rigoroso controle, sendo o reflorestamento uma prática fundamental para manter um padrão sustentável na obtenção desse recurso. Paralelamente, observa-se uma significativa evolução na indústria madeireira, destacando-se a aceitação positiva de produtos como compensados e madeiras laminadas coladas, que ganharam expressividade no mercado (BAHIA, 2015).

1.2.3 Aspectos Sociais

A moradia e a infraestrutura representam indicadores cruciais de crescimento social e qualidade de vida em uma determinada região ou país, exercendo impacto direto na redução da pobreza e no impulsionamento do desenvolvimento urbano. As contribuições advindas de habitações de qualidade são diversas. No contexto da ampliação do uso da madeira em estruturas, destaca-se o crescimento de florestas plantadas em áreas frequentemente subutilizadas, promovendo aumento no emprego tanto em regiões rurais, onde ocorre o plantio e a extração, quanto em áreas urbanas, onde estão situados os centros de tratamento e comercialização do produto. Tais fatores, sem dúvida, estimulam o crescimento e desenvolvimento local, oferecendo aos planejadores e projetistas opções financeiramente viáveis para a implementação de empreendimentos (SANTOS, 2021).

1.3 Metodologia

Inicialmente, conduziu-se uma revisão bibliográfica abordando os diversos elementos e materiais utilizados na concepção estrutural de projetos, com ênfase no estudo e desenvolvimento do uso da madeira.

Neste estudo, foi realizado uma análise da estrutura de madeira para telhado em duas águas. Aspectos como o detalhamento do projeto. O programa AutoCAD foi utilizado para os desenhos, enquanto os cálculos estruturais em madeira foram realizados manualmente.

1.4 Estrutura do Trabalho

No primeiro capítulo, apresenta-se uma breve introdução abordando os materiais da construção civil tratados neste trabalho, incluindo a formulação do problema, a justificativa, a metodologia e a estrutura geral do documento. O segundo capítulo discute os objetivos, tanto gerais quanto específicos, delineados para esta pesquisa. O terceiro capítulo aborda uma revisão bibliográfica centrada nos materiais utilizados para a estrutura, com ênfase particular na madeira. No quarto capítulo, conduziu-se um estudo de caso relacionado a um telhado em duas águas. Por fim, o quinto capítulo apresenta as conclusões derivadas deste trabalho.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

O objetivo geral é a analisar do uso de madeira em estruturas de telhado em duas águas.

2.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos foram:

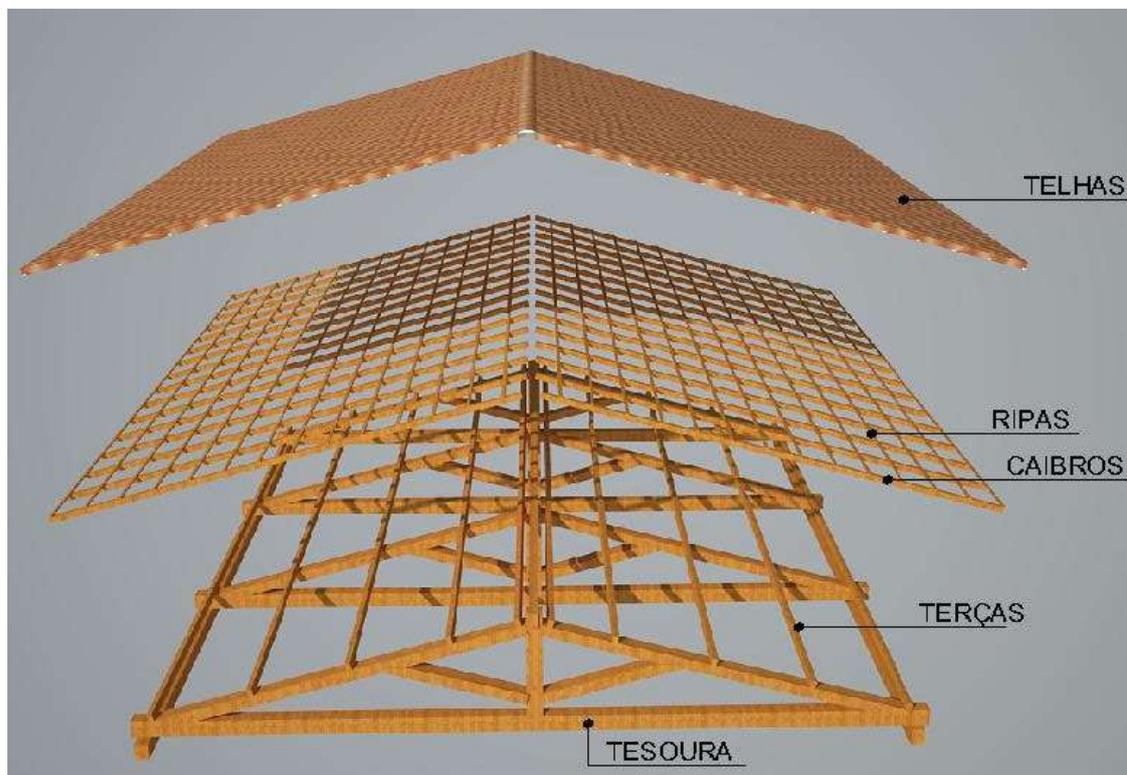
- Descrever as principais características na construção de elementos estruturais em madeira.
- Realizar uma análise de caso em um telhado de duas águas que adotou uma estrutura de madeira, incluindo o projeto de armação.
- Realizar a análise do cálculo estrutural de um telhado em duas águas.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Madeira como Elemento Estrutural para Telhados

A madeira é amplamente empregada como componente estrutural devido às suas propriedades mecânicas e naturais. Sua relação resistência-peso favorável a torna uma opção viável e econômica para várias aplicações na construção civil. Além disso, sua abundância, versatilidade e facilidade de manipulação a tornam popular em diversos contextos construtivos. A madeira é aplicada em elementos estruturais para telhados como vigas, tesoura, caibro e verga, contribuindo para a estabilidade e sustentação, observa-se na Figura 1 um exemplo de telhado. Considerado um dos materiais mais antigos utilizados na construção, sua ampla disponibilidade na natureza e capacidade de ser industrializado facilitam sua utilização. Sua resistência satisfatória a esforços de tração e compressão, juntamente com suas propriedades isolantes termoacústicas, mantêm a madeira como um material de construção de destaque em todo o mundo, especialmente em regiões com climas mais frios (LARANJEIRA, 2009).

Figura 1: Exemplo de telhado em duas águas.



Fonte: (MELO, 2011).

As propriedades da madeira são influenciadas pela espécie e pela presença de defeitos, tornando necessário um processo de distinção e caracterização do material, especialmente em relação à sua resistência à tração e compressão, tanto no sentido normal quanto paralelo às fibras. Além disso, é crucial considerar o ambiente e o nível de umidade, a fim de garantir que as propriedades identificadas em laboratório sejam compatíveis com as condições reais de uso, uma vez que as características da madeira podem variar de acordo com o teor de umidade local. No presente estudo, será utilizada madeira de Eucalipto Citriodora, um material amplamente empregado em construções. Observa-se na Figura 2 esta espécie (LARANJEIRA, 2009).

Figura 2: Eucalipto Citriodora.



Fonte: (JATOBA, 2022).

3.1.1 Tesoura

As tesouras dos telhados são componentes estruturais essenciais na construção de telhados inclinados, projetadas para fornecer suporte e estabilidade à estrutura do telhado. Essas tesouras, geralmente compostas por uma combinação de vigas

horizontais e inclinadas, formam um sistema triangular que distribui uniformemente as cargas, como o peso da cobertura e as cargas de vento e neve, para as paredes ou pilares de suporte. As tesouras podem ser fabricadas em madeira, aço ou outros materiais de construção, e sua geometria é cuidadosamente calculada para garantir a eficiência estrutural e a integridade do telhado. A instalação das tesouras deve seguir especificações técnicas rigorosas, levando em consideração fatores como o comprimento do vão, o tipo de cobertura e as condições climáticas locais. A correta configuração e instalação das tesouras asseguram a durabilidade do telhado e minimizam o risco de deformações ou colapsos estruturais ao longo do tempo. Observa-se na Figura 3 a ilustração dessa estrutura (FLACH, 2012; VARA, 2015).

Figura 3: Tesoura em Eucalipto.



Fonte: (MADESCH, 2021).

3.1.2 Treliça

A tesoura é uma treliça plana projetada para o suporte de coberturas, sendo considerada uma estrutura linear composta por barras retas conectadas por articulações. Na análise de treliças, algumas suposições básicas devem ser

consideradas, como: articulações perfeitas nos nós; o peso próprio das barras sendo concentrado exclusivamente nas extremidades (nós); as cargas atuando apenas nos nós da treliça; a geometria da treliça permanecendo inalterada sob a aplicação das cargas; e, por fim, as barras sendo solicitadas unicamente por forças normais, seja tração ou compressão (MELO, 2011).

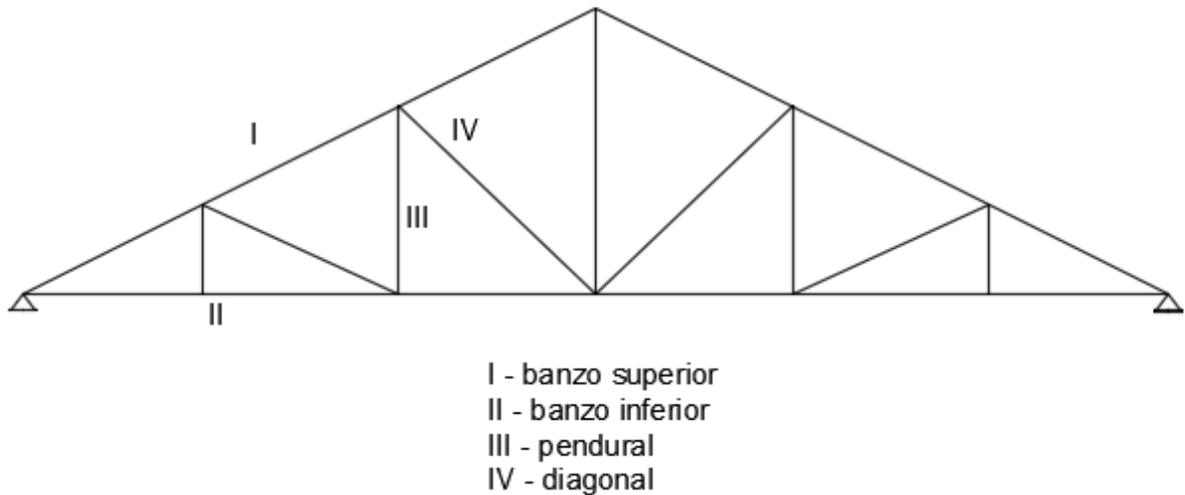
A particularidade especial das treliças é o seu reduzido peso próprio em comparação com outros tipos de elementos estruturais que desempenham a mesma função. Elas podem ser formadas, basicamente, a partir da configuração geométrica mais simples entre as estruturas indeformáveis, que é o triângulo. A partir de dois triângulos conectados por uma barra superior, gera-se uma nova treliça, onde a barra superior é submetida a esforços de compressão. Quando vários triângulos são dispostos em um mesmo plano, obtém-se uma treliça plana, e, se esses triângulos são dispostos em planos distintos, forma-se uma treliça tridimensional, também conhecida como treliça espacial (MELO, 2011).

3.1.2.1 Treliça de Contorno Triangular

A treliça tipo Howe é uma estrutura amplamente utilizada em projetos de engenharia civil, especialmente em pontes e telhados, devido à sua eficiência estrutural. Ela é composta por uma série de elementos diagonais que suportam esforços de compressão e por barras verticais que resistem a esforços de tração. Uma característica marcante dessa treliça é a disposição de suas diagonais inclinadas para dentro, em direção ao centro da estrutura, o que permite uma distribuição mais eficiente das cargas. Esse tipo de configuração oferece boa resistência e estabilidade, tornando-se uma solução versátil para coberturas e outros tipos de estruturas que exigem economia de material.

Este tipo de tesoura, sob o carregamento principal aplicado de cima para baixo, apresenta esforços de compressão nas diagonais e tração nos montantes. É amplamente utilizado em projetos que envolvem vãos de pequena a média magnitude, alcançando até 18 metros. A escolha das seções transversais indicadas é fundamental para garantir tanto a resistência estrutural quanto a viabilidade construtiva da tesoura. Observa-se na Figura 4 ilustração desta configuração (GESUALDO, 2003).

Figura 4: Treliça de contorno triangular.



Fonte: adaptado de (GESUALDO, 2003).

3.1.3 Caibro

Os caibros são elementos estruturais essenciais em telhados, posicionados perpendicularmente às tesouras ou às terças, com o objetivo de suportar e distribuir o peso das telhas e proporcionar estabilidade à cobertura. Geralmente feitos de madeira serrada, os caibros são fixados diretamente sobre as terças ou ripas e são espaçados de forma adequada para garantir uma base sólida para a aplicação das telhas, observa-se na Figura 5 ilustração desta configuração. Sua principal função é fornecer suporte para as telhas, reduzindo o vão livre entre as terças e reforçando a estrutura do telhado. A escolha do tamanho e espaçamento dos caibros depende do tipo de telha, das condições climáticas locais e das especificações de projeto, visando garantir a resistência e durabilidade do telhado ao longo do tempo (MIRANDA; GIONGO, 1986).

Figura 5: Exemplo de caibros.



Fonte: (SULAMERICA, 2020).

3.1.4 Terças

Às terças são elementos estruturais fundamentais em sistemas de telhado, geralmente dispostas paralelamente entre si e perpendicularmente aos caibros. Sua principal função é sustentar os caibros, proporcionando uma base sólida e nivelada para a fixação das telhas, observa-se na Figura 6 exemplo dessa configuração. Às terças são fixadas diretamente nas tesouras ou na estrutura de apoio do telhado, distribuindo o peso das telhas de maneira uniforme e garantindo a estabilidade da cobertura. Normalmente fabricadas em madeira serrada ou metal, as terças podem variar em tamanho e espessura de acordo com as dimensões e especificações do projeto de construção. A correta instalação e espaçamento das terças são essenciais para garantir a resistência e durabilidade do telhado, além de contribuir para a eficiência do sistema de drenagem de água pluvial (MIRANDA; GIONGO, 1986).

Figura 6: Exemplo de terça.



Fonte: (TUDO CONSTRUÇÃO, 2018).

3.1.5 Ripas

As ripas são elementos estruturais lineares e horizontais dispostos sobre as terças de um telhado, responsáveis por suportar as telhas ou chapas de cobertura. Elas garantem a distribuição uniforme do peso da cobertura, transmitindo as cargas para os elementos principais da estrutura, como as terças e os caibros, observa-se na Figura 7 ilustração desta configuração. O correto dimensionamento e espaçamento das ripas é essencial para a estabilidade da cobertura, prevenindo deformações e falhas no sistema do telhado. Podem ser feitas de materiais como madeira, aço ou concreto, dependendo das especificações do projeto e dos requisitos de resistência. A correta instalação e fixação das vergas são essenciais para garantir a integridade estrutural do telhado e sua capacidade de suportar as cargas impostas, incluindo vento, neve e peso das telhas (MIRANDA; GIONGO, 1986).

Figura 7: Exemplo de Ripas.



Fonte: (VALEMA, 2020).

3.2 Madeira e suas Principais Características

A madeira é um dos materiais mais sustentáveis amplamente utilizados na indústria da construção civil atualmente. Sua capacidade de crescimento natural, variedade de cores, espécies, formas e tamanhos a tornam um recurso altamente atrativo e versátil para o setor. Além disso, a madeira possui uma excelente relação entre peso e resistência, uma vez que apresenta uma densidade significativamente menor do que o concreto e o aço, mas ainda assim suporta satisfatoriamente esforços de tração, compressão e flexão. Sua durabilidade e capacidade de isolamento termoacústico são características adicionais que tornam este material uma solução valiosa para uma ampla gama de projetos na construção civil (LARANJEIRA, 2009).

As madeiras geralmente são classificadas em duas categorias: dicotiledôneas e coníferas. Na construção civil, dois representantes dessas classes são frequentemente utilizados: o Eucalipto, representando as dicotiledôneas, e o Pinus, representando as coníferas. As madeiras dicotiledôneas, como o Eucalipto, são conhecidas por sua dureza e tendem a ser mais propensas a empenamentos quando serradas em tábuas ou sarrafos, devido às suas pressões internas. Por outro lado, as madeiras coníferas, como o Pinus, são mais macias durante o processo de corte na serraria e geralmente apresentam menos torções e empenamentos após a serragem. Essas características influenciam a forma como essas madeiras são empregadas na

construção civil atualmente, com o Pinus frequentemente utilizado para fabricação de tábuas e sarrafos, enquanto o Eucalipto é mais comumente empregado como escoras na construção civil (SANTOS, 2021).

3.2.1 Densidade

A densidade básica de uma madeira é definida como a relação entre sua massa seca e o volume úmido saturado. Trata-se de uma propriedade fundamental da madeira, pois está intimamente relacionada com a maioria de suas propriedades mecânicas. Em geral, madeiras mais densas tendem a ser mais resistentes e elásticas do que as menos densas, porém podem ser mais difíceis de serem trabalhadas. No entanto, essa relação não é uma regra absoluta devido à grande diversidade de gêneros e espécies de madeira. Portanto, é essencial realizar uma caracterização específica do material para conhecer suas propriedades individuais (CORREIA, 2009).

3.2.2 Umidade

A umidade presente na madeira desempenha um papel significativo em suas propriedades, especialmente no que diz respeito à retração e ao inchamento. A umidade presente em madeiras verdes ou recentemente cortadas varia conforme a espécie e a estação do ano. Madeiras mais densas e resistentes geralmente contêm aproximadamente 30% de umidade, enquanto as mais leves podem chegar a cerca de 130% quando verdes ou recém-cortadas (VALLE, 2012).

A água na madeira existe de duas formas: nos espaços vazios entre as fibras e absorvida pelas paredes das fibras. O processo de secagem começa imediatamente após o corte, reduzindo a umidade para cerca de 30%, momento em que a água nos espaços vazios já evaporou, permanecendo apenas a água nas paredes das fibras. A evaporação continua até a madeira atingir um equilíbrio com o ar, conhecido como "seca ao ar", com uma umidade de equilíbrio entre 10% e 20% para uma umidade relativa do ar entre 60% e 90%. Tendo em vista que as propriedades físicas e mecânicas da madeira variam com a umidade, no Brasil e nos EUA, adotou-se 12% como a umidade padrão de referência (VALLE, 2012).

3.2.3 Resistência

A madeira pode ser submetida a solicitações de compressão, tração, cisalhamento e flexão. Sua resistência varia conforme a direção da solicitação em relação às fibras e também depende do tipo de solicitação. Mesmo quando a direção da solicitação é paralela às fibras, a resistência à tração difere da resistência à compressão (VALLE, 2012).

O entendimento das propriedades mecânicas do material é crucial, pois permite a seleção adequada da espécie de madeira a ser utilizada em um empreendimento, levando em consideração as características naturais do material. Essas propriedades mecânicas podem variar dentro da mesma árvore, dependendo de suas direções principais (axial, radial e longitudinal) (SANTOS, 2021).

3.2.4 Durabilidade e Tratamento

A madeira não se deteriora espontaneamente ao longo do tempo, mas está sujeita principalmente à deterioração causada por agentes biológicos. Os principais organismos que atacam a madeira incluem fungos, cupins, moluscos e crustáceos. A susceptibilidade da madeira a esses agentes depende da espécie da madeira, da região do tronco de onde foi retirada e das condições ambientais em que o material está exposto (CORREIA, 2009).

A resistência aos ataques biológicos pode ser melhorada por meio de um tratamento químico preservativo apropriado, visando aumentar a durabilidade e o desempenho da madeira, tanto em aspectos estéticos quanto estruturais. Esse processo envolve a impregnação da madeira com produtos preservativos, realizada sob alta pressão. Os elementos presentes nesses produtos incluem cromo, cobre e arsênio (CORREIA, 2009).

4 ESTUDO DE CASO

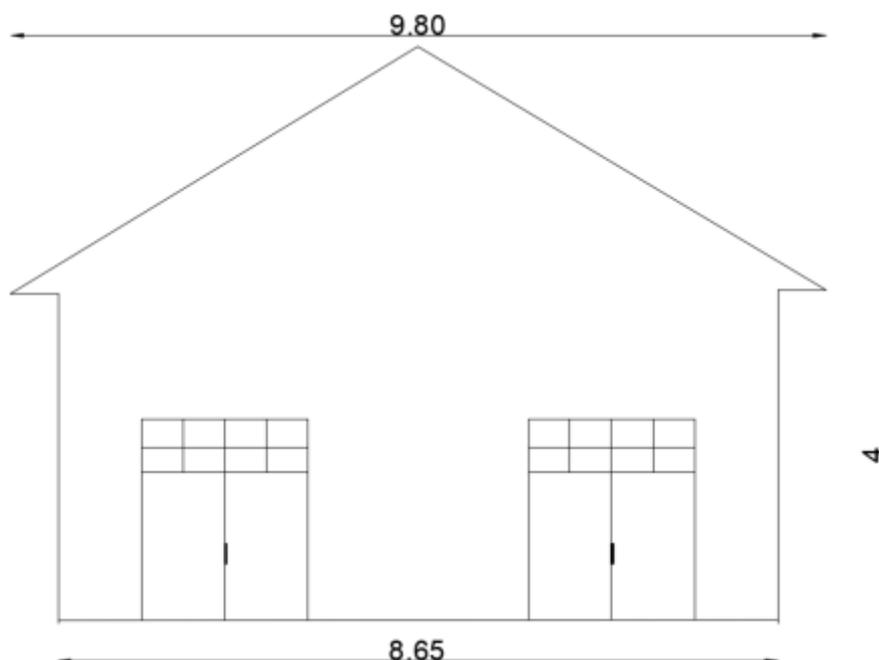
Neste capítulo, são detalhadas a apresentação e a análise dos resultados obtidos a partir de um projeto publicado por Moliterno (2010). No presente trabalho, a madeira utilizada será alterada para Eucalipto Citriodora. Primeiramente, os resultados referentes a cada tópico investigado são expostos. Em seguida, realiza-se a análise desses dados. A metodologia empregada consiste na apresentação dos resultados em tabelas e imagens, proporcionando uma organização que facilita a leitura e a interpretação do cálculo estrutural do edifício em concreto armado.

4.1 Cálculo Estrutural do Telhado em Duas Águas

4.1.1 Descrição do Edifício

A edificação conta com uma área de 185,22 m². Observa-se na Figura 8 a fachada do edifício.

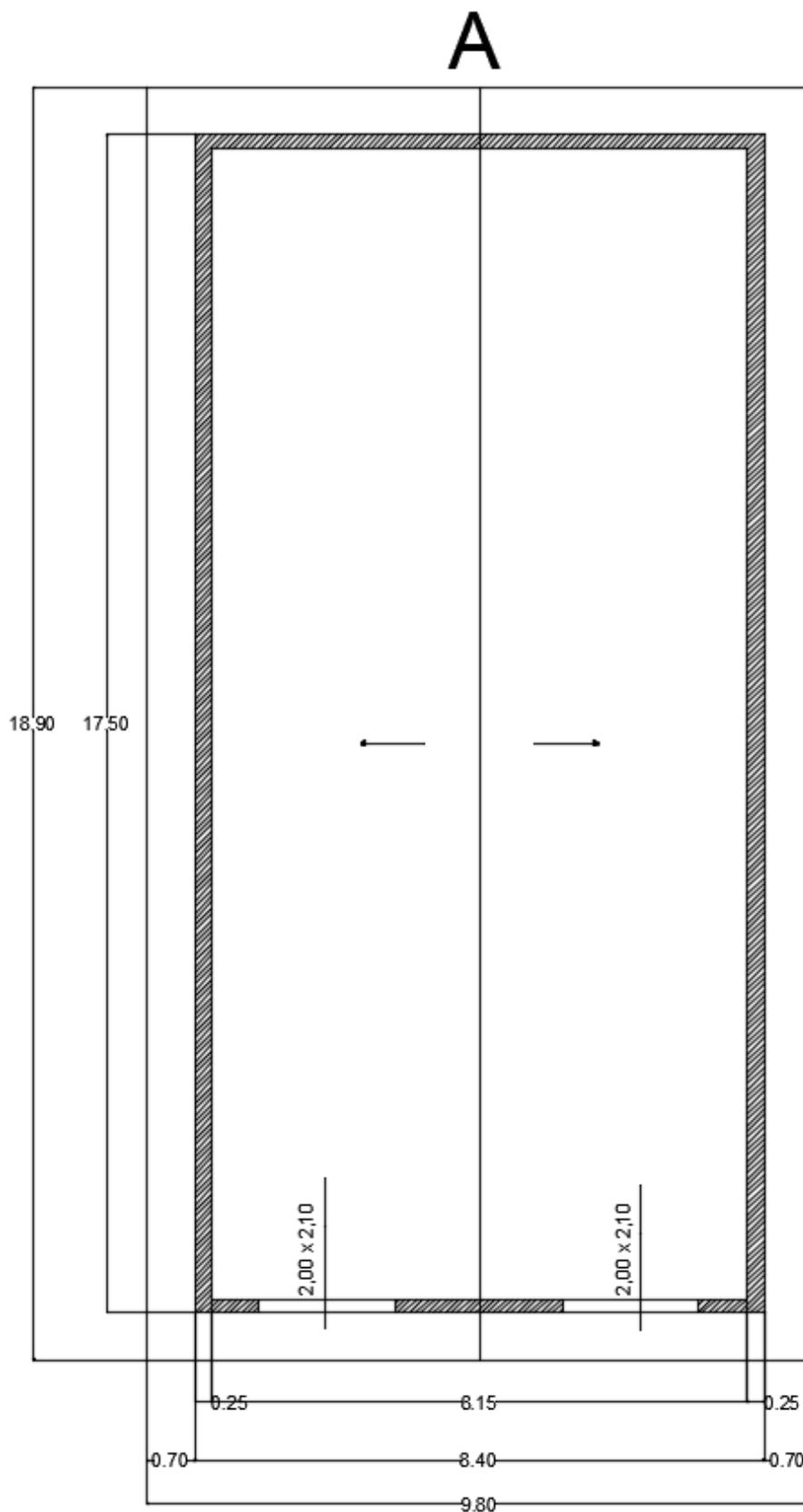
Figura 8: Fachada da edificação.



Fonte: adaptado de (MOLITERNO, 2010).

Observa-se na Figura 9 a planta baixa da edificação.

Figura 9: Planta baixa da edificação.



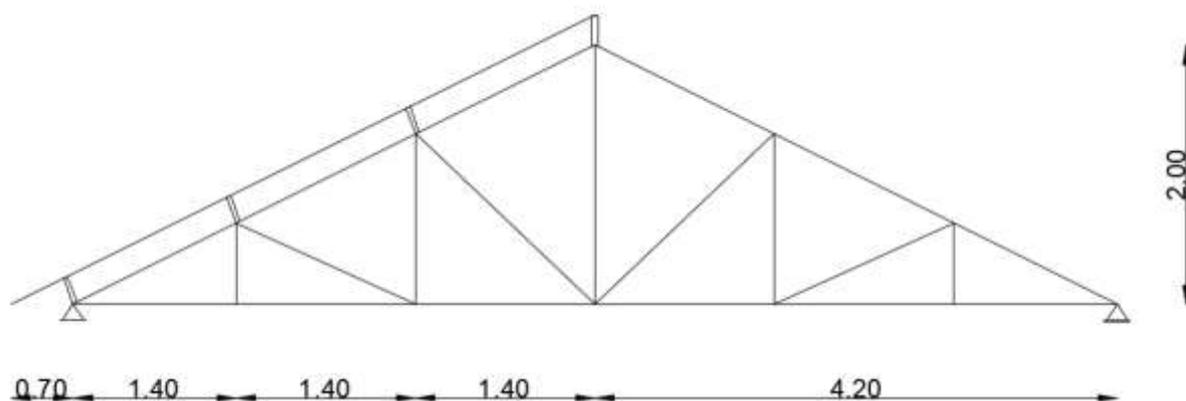
Fonte: adaptado de (MOLITERNO, 2010).

4.1.2 Concepção Estrutural

A concepção estrutural de um telhado em duas águas envolve a definição e a implementação de uma configuração que proporciona eficiência na drenagem de água e estabilidade estrutural. Este tipo de telhado, caracterizado por duas inclinações opostas que se encontram em uma linha de cumeeira central, requer uma análise detalhada dos carregamentos, incluindo o peso próprio do telhado e cargas de vento, conforme a norma brasileira vigente. A estrutura de suporte geralmente é composta por tesouras, que são responsáveis por sustentar a inclinação das águas, e caibros, dispostos horizontalmente sobre as tesouras, que suportam as ripas. As ripas são fixadas aos caibros para criar uma base para a aplicação da cobertura. O oitão, que é a área lateral onde as águas do telhado se encontram, deve ser cuidadosamente vedado para garantir a estanqueidade e proteção contra infiltrações. Neste exemplo, todas as peças são feitas de madeira, dispostas de maneira a sustentar o sistema de cobertura e garantir a integridade do edifício.

Observa-se na Figura 10 a vista transversal da tesoura.

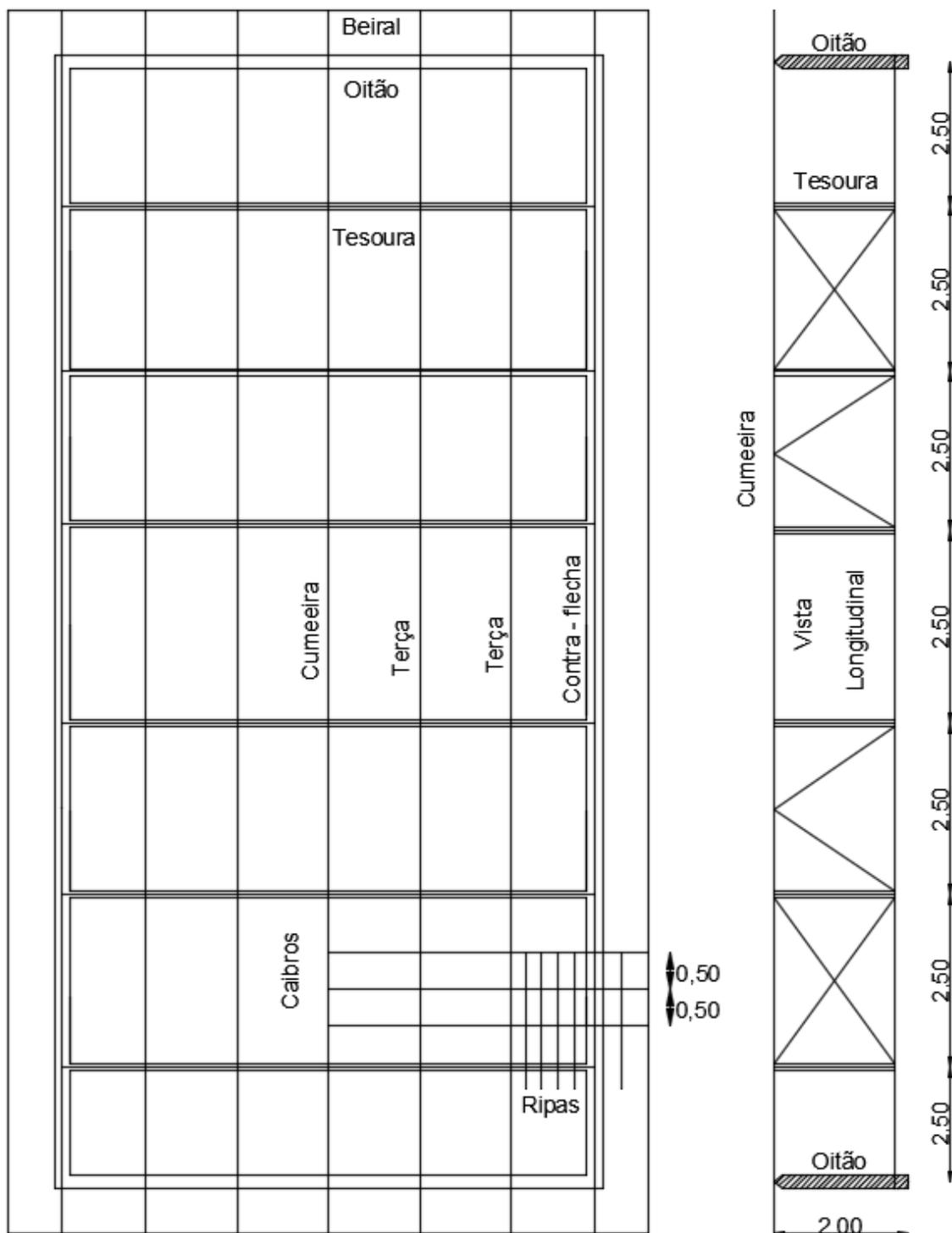
Figura 10: Vista transversal da tesoura.



Fonte: adaptado de (MOLITERNO, 2010).

Observa-se na Figura 11 a vista longitudinal do telhado.

Figura 11: Vista longitudinal do telhado.



Fonte: adaptado de (MOLITERNO, 2010).

4.1.3 Especificações dos Materiais e Parâmetros Geométricos

O edifício será o mesmo descrito no item 4.1.1. A espécie de madeira utilizada será o Eucalipto Citriodora, com os valores retirados da norma NBR 7190 (2022). Para realizar este dimensionamento primeiramente será adotado telhas cerâmicas tipo Marselha, o forro da cobertura será o eucatex isolante com espessura de 12 mm, peso das chapas 0,4 kN/m², tarugamento de conífera classe c25 com peso específico 5,5 KN/m³ (MOLITERNO, 2010). Os valores médios das propriedades de resistência característica do Eucalipto Citriodora são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1: Valores das propriedades de rigidez e de resistência característica do Eucalipto Citriodora.

Nome	$\rho_{ap(12\%)}$ kg/m ³	f_{c0} MPa	f_{t0} MPa	f_{t90} MPa	f_v MPa	E_{c0} MPa
E. Citriodora	999	43,4	86,5	2,7	7,5	18421

$\rho_{ap(12\%)}$ é a massa específica aparente a 12% de umidade;

f_{c0} é a resistência característica à compressão paralela às fibras;

f_{t0} é a resistência característica à tração paralela às fibras;

f_{t90} é a resistência característica à tração normal às fibras.;

f_v é a resistência característica ao cisalhamento;

E_{c0} é o módulo de elasticidade longitudinal obtido no ensaio de compressão paralela às fibras.

Fonte: adaptado de (NBR 7190, 1997).

Com os valores característicos em mãos é possível calcular a resistência característica de cálculo desse material. Os valores resistentes usados para este dimensionamento serão a compressão paralela às fibras ($f_{c0,d}$), resistência característica de compressão inclinada as fibras (f_a), a resistência característica ao cisalhamento de cálculo ($f_{v0,d}$) e módulo de elasticidade ($E_{c,m}$).

Os valores resistentes de cálculo são encontrados a partir das seguintes equações:

$$f_{c0,d} = \frac{f_{c0}}{\gamma_{wc}} \times K_{mod} \quad (1)$$

$$f_a = \frac{f_{c0,d} \times f_{c90,d}}{f_{c0,d} \times \sin^2 \alpha + f_{c90,d} \times \cos^2 \alpha} = \frac{f_{c0,d} \times (0,25 \times f_{c0,d} \times \alpha_n)}{f_{c0,d} \times \sin^2 \alpha + f_{c90,d} \times \cos^2 \alpha} \quad (2)$$

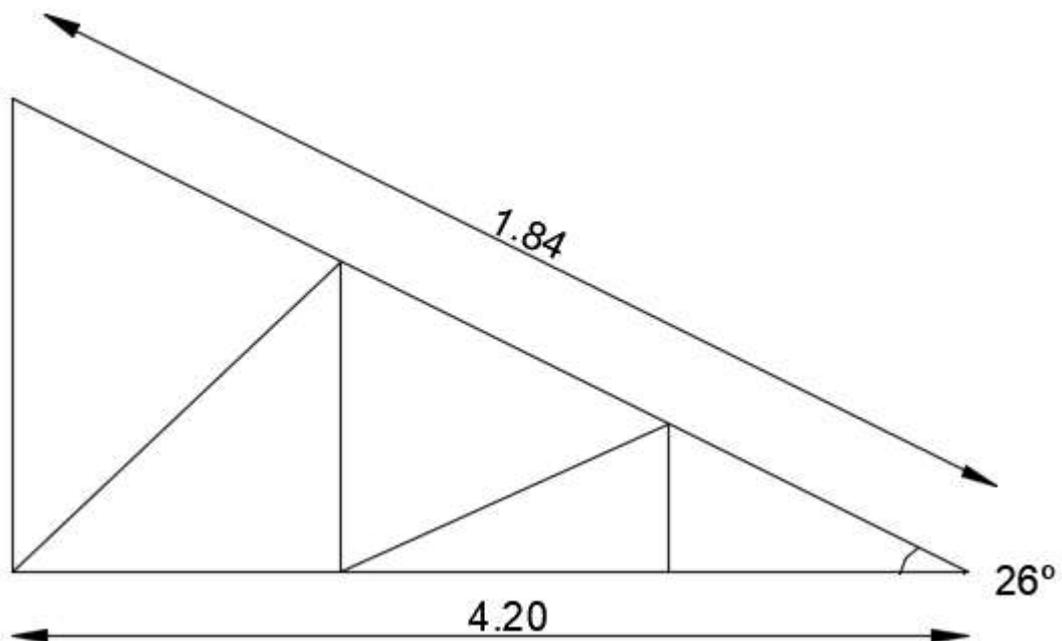
$$f_{v,d} = \frac{f_v}{\gamma_{wv}} \times K_{mod} \quad (3)$$

$$E_{c,d} = E_{c,m} \times K_{mod} \quad (4)$$

Sendo K_{mod} o coeficiente de modificação que afeta os valores de cálculo das propriedades da madeira em função da classe de carregamento da estrutura ($K_{mod,1}$), da classe de umidade admitida ($K_{mod,2}$), e da qualidade da madeira ($K_{mod,3}$) e é dado pela multiplicação desses fatores ($K_{mod} = K_{mod,1} * K_{mod,2} * K_{mod,3}$). Os coeficientes γ_{wc} , γ_{wt} e γ_{wv} os coeficientes de minoração das propriedades da madeira (NBR 7190, 2022).

Para o cálculo da resistência característica de compressão inclinada as fibras são preciso considerar α_n , como pode ser observado no esquema da Figura 12, o coeficiente que afeta os valores de cálculo das propriedades da madeira em função da extensão da carga normal as fibras, medida paralelamente a estas que foi obtido a partir da interpolação dos valores fornecidos na tabela 2 (MOLITERNO, 2010).

Figura 12: Valor de α .



Fonte: adaptado de (MOLITERNO, 2010).

Tabela 2: Valores de α_n .

Extensão da carga normal as fibras, medida paralelamente a estas cm	α_n
1	2,00
2	1,70
3	1,55
4	1,40
5	1,30
7,5	1,15
10	1,10
15	1,00

Fonte: adaptado de (NBR 7190, 1997).

Dessa forma os valores de resistência característica da madeira são:

$$f_{c0,d} = \frac{43,4}{1,4} \times (0,7 \times 1 \times 1) = 21,7 \text{ MPa} \quad (5)$$

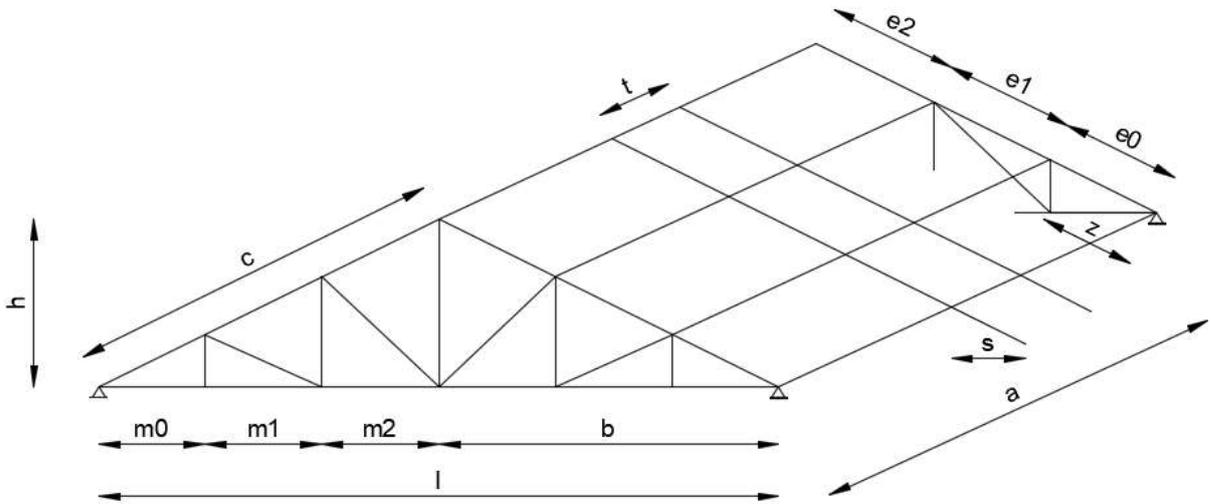
$$f_a = \frac{21,7^2 \times 0,25 \times 1,75}{31 \times \text{sen}^2 26 + 31 \times \text{cos}^2 26} = 11,80 \text{ MPa} \quad (6)$$

$$f_{v,d} = \frac{7,5}{1,8} \times (0,7 \times 1 \times 1) = 2,92 \text{ MPa} \quad (7)$$

$$E_{c,d} = 18421 \times (0,7 \times 1 \times 1) = 12895 \text{ Mpa} \quad (8)$$

O esquema estrutural para montagem foi adotado para o espaçamento entre as tesouras de $a = 2,50$ m, vão teórico para as tesouras com 6 painéis de 1,40m com valor total de $l = 8,40$ m e a inclinação de 26° (MOLITERNO, 2010). Os elementos geométricos foram identificados no esquema de montagem da Figura 13.

Figura 13: Esquema estrutural do telhado.



Fonte: adaptado de (MOLITERNO, 2010).

Os parâmetros geométricos calculados foram:

$$\begin{aligned}
 l &= 8,4 \text{ m} \\
 m &= m_0 = m_1 = m_2 = 1,40 \text{ m} \\
 h &= 0,49b = 0,49 \times 4,20 = 2,06 \text{ m} \\
 h &= \frac{1}{4} l = \frac{1}{4} \times 8,40 \cong 2 \text{ m} \\
 c &= \sqrt{b^2 + h^2} = \sqrt{(4,20)^2 + (2,00)^2} = 4,65 \text{ m} \\
 e &= e_0 = e_1 = \frac{c}{3} = 1,55 \text{ m} \\
 \text{sen } \alpha &= \frac{h}{c} = \frac{2,00}{4,65} = 0,43 \\
 \alpha &= 25^\circ 30' \\
 \text{cos } \alpha &= \frac{b}{c} = \frac{4,20}{4,65} = 0,90 \\
 a &= 2,50 \text{ m} \\
 t &= 0,50 \text{ m} \\
 s &= 0,70 \text{ m} \\
 v_1 &= \frac{1}{3} h = 0,66 \text{ m} \\
 v_2 &= \frac{2}{3} h = 1,32 \text{ m} \\
 d_1 &= \sqrt{m^2 + v_1^2} = 1,55 \text{ m}
 \end{aligned} \tag{9}$$

$$d_2 = \sqrt{m^2 + v_2^2} = 1,94 \text{ m}$$

4.1.4 Cálculo das Cargas Unitárias

4.1.4.1 Carga Permanente

Os valores pelo peso próprio da tesoura e contraventamento é encontrado a partir da seguinte equação de Howe:

$$g_T = 0,0245 \times (1 + 0,33 l) \quad (10)$$

Dessa forma:

$$g_T = 0,0245 \times (1 + 0,33 8,40) \cong 0,1 \text{ kN/m}^2 \quad (11)$$

As cargas referentes a contribuição das telhas, ripas, caibros e absorção, por m², para superfície inclinada foram compilados na tabela 3 (MOLITERNO, 2010).

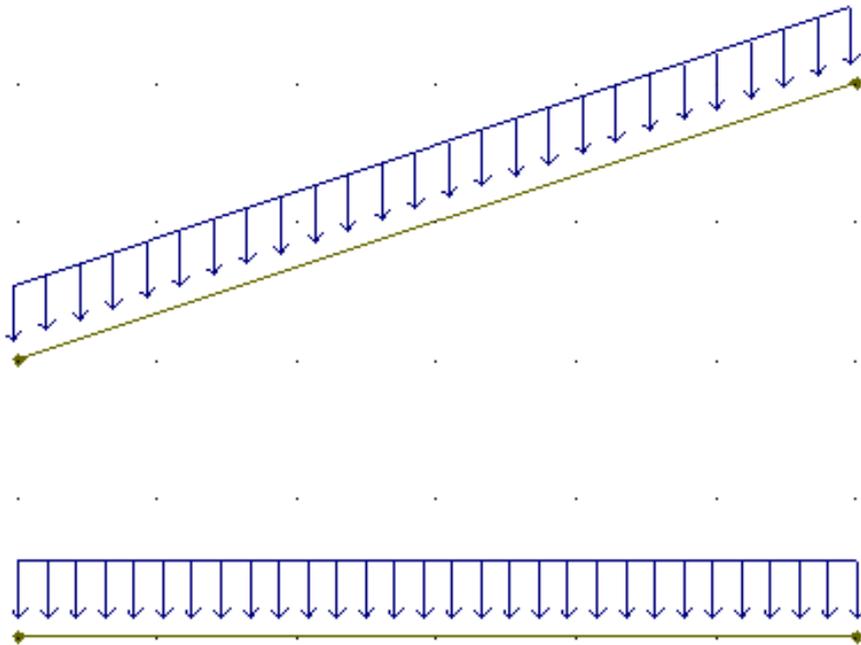
Tabela 3: Contribuição da cobertura e composição.

Material	Peso ($\frac{kN}{m^2}$)
Telhas	15 x 0,028 = 0,42
Ripas	0,015 x 0,05 x 9,99 x 3 = 0,02
Caibros	0,05 x 0,06 x 9,99 x 3 = 0,06
Absorção da água pluvial	0,12
Total	0,62 kN/m²

Fonte: adaptado de (MOLITERNO, 2010).

Os valores das cargas inclinadas devidas à contribuição da cobertura e composição foram transferidos para a projeção horizontal, conforme Figura 14 (MOLITERNO, 2010).

Figura 14: Cargas inclinadas.



Fonte: adaptado de (MOLITERNO, 2010).

Dessa forma:

$$g_c = \frac{g}{\cos \alpha} = \frac{0,62}{\cos 26^\circ} = \frac{0,62}{0,90} = 0,665 \text{ kN/m}^2 \quad (12)$$

As cargas referentes a contribuição de forro e composição para superfície inclinada foram compiladas na tabela 4 (MOLITERNO, 2010).

Tabela 4: Contribuição de forro e composição.

Material	Peso ($\frac{kN}{m^2}$)
Chapas	0,4
Tábuas	$0,22 \times 0,025 \times 5,5 \times 2 = 0,6$
Sarrafos	$0,05 \times 0,02 \times 5,5 \times 3 = 0,3$
Travessas	$0,10 \times 0,02 \times 5,5 \times 1 = 0,2$
Total	$g_f = 1,5 \text{ kN/m}^2$

Fonte: adaptado de (MOLITERNO, 2010).

4.1.4.2 Carga Acidental de Vento

Para calcular a carga acidental devido ao vento em uma estrutura de telhado utilizando o programa Visual Ventos e em conformidade com a norma NBR 6123, primeiramente, foram inseridos os parâmetros geométricos e de localização da estrutura no software Visual Ventos. Os dados de entradas utilizados podem ser observados na Figura 15,16, 17, 18, 19, 20 ,21 e 22.

Figura 15: Tela inicial de configuração.

Dimensões

Medidas

b 8.40 m a 17.50 m h 4 m Distância entre pórticos p 1.40 m

b1 4.20 m a1 4.38 m β 26 ° h1 2.05 m

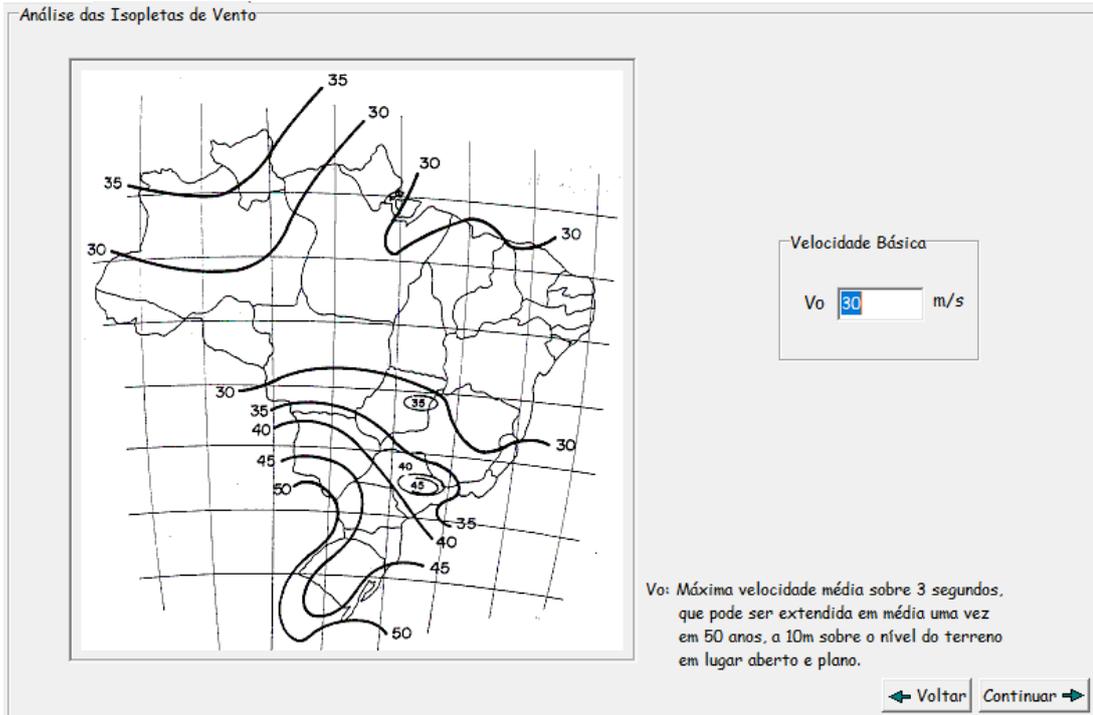
a2 4.38 m

Área das aberturas

Face	Fixa	Móvel
A1	0 m ²	0 m ²
A2	0 m ²	0 m ²
A3	0 m ²	0 m ²
B1	0 m ²	0 m ²
B2	0 m ²	0 m ²
B3	0 m ²	0 m ²
C1	0 m ²	4.2 m ²
C2	0 m ²	4.2 m ²
D1	0 m ²	0 m ²
D2	0 m ²	0 m ²

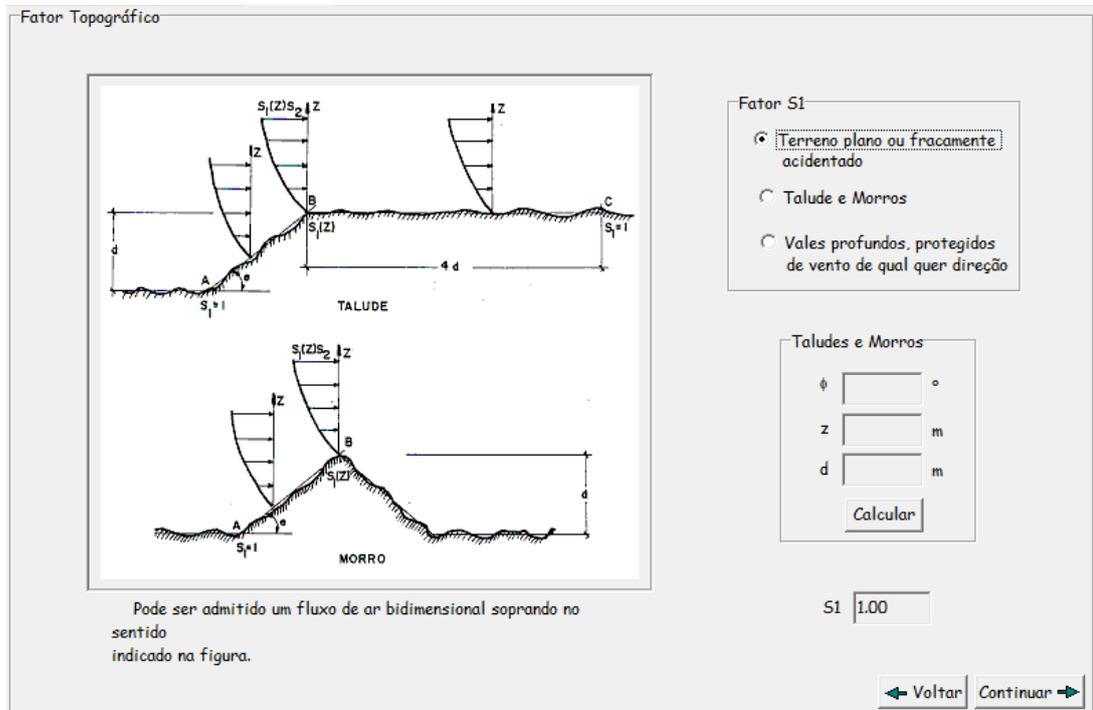
Fonte: (PRAVIA, 2005).

Figura 16: Configuração da velocidade do vento.



Fonte: (PRAVIA, 2005).

Figura 17: Configuração fator S1.



Fonte: (PRAVIA, 2005).

Figura 18: Configuração fator S2.

Fator de Rugosidade

Categoria do terreno	
Categoria	Descrição do ambiente
<input type="radio"/> I	Superfícies lisas de grandes dimensões, com mais de 5km de extensão, medida na direção e sentido do vento incidente.
<input type="radio"/> II	Terrenos abertos em nível ou aproximadamente em nível, com poucos obstáculos isolados, tais como árvores e edificações baixas. A cota média do topo dos obstáculos é considerada inferior ou igual a 1m. Exemplos: zonas costeiras planas; pântanos com vegetação rala; campos de aviação; pradarias e charnecas; fazendas sem sebes ou muros.
<input type="radio"/> III	Terrenos planos ou ondulados com obstáculos, tais como sebes e muros, poucos quebra-ventos de árvores, edificações baixas e esparsas. A cota média do topo dos obstáculos é considerada igual a 3m. Exemplos: granjas e casas de campo, com exceção das partes com matos, fazendas com sebes e/ou muros, subúrbios a considerável distância do centro, com casas baixas e esparsas.
<input type="radio"/> IV	Terrenos cobertos por obstáculos numerosos e pouco espaçados em zona florestal, industrial ou urbanizada. A cota média do topo dos obstáculos é considerada igual a 10m. Exemplos: zonas de parques e bosques com muitas árvores; cidades pequenas e seus arredores; subúrbios densamente construídos de grandes cidades; áreas industriais plena ou parcialmente desenvolvidas.
<input checked="" type="radio"/> V	Terrenos cobertos por obstáculos numerosos e pouco espaçados. A cota média do topo dos obstáculos é considerada igual ou superior a 25m. Exemplos: florestas com árvores altas de copas isoladas; centros de grandes cidade; complexo industriais bem desenvolvidos.

Classe de edificação		
	Classe	Descrição
Maior dimensão	<input checked="" type="radio"/> A	Maior dimensão menor ou igual a 20m
<input type="text" value="17.50"/> m	<input type="radio"/> B	Maior dimensão entre 20 e 50m
	<input type="radio"/> C	Maior dimensão maior ou igual 50m

Fator S2

S2

Fonte: (PRAVIA, 2005).

Figura 19: Configuração fator S3.

Fator Estático

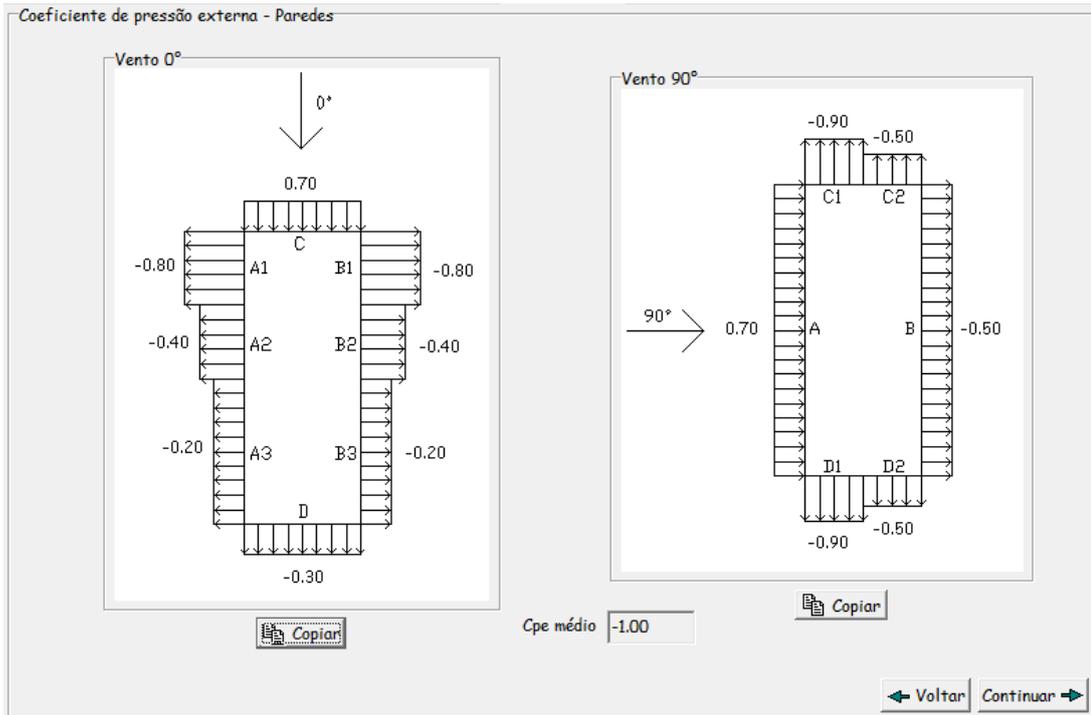
Fator S3

Grupo	Descrição
<input type="radio"/> 1	Edificações cuja ruína total ou parcial pode afetar a segurança ou possibilidade de socorro a pessoas após uma tempestade destrutiva (hospitais, quartéis de bombeiros, centrais de comunicação, etc)
<input type="radio"/> 2	Edificações para hotéis e residências. Edificações para comércio e indústria com alto fator de ocupação
<input checked="" type="radio"/> 3	Edificações e instalações industriais com baixo fator de ocupação (depósitos, silos, construções rurais, etc)
<input type="radio"/> 4	Vedações (telhas, vidros, painéis de vedação, etc)
<input type="radio"/> 5	Edificações temporárias. Estruturas dos grupos 1 a 3 durante a construção

S3

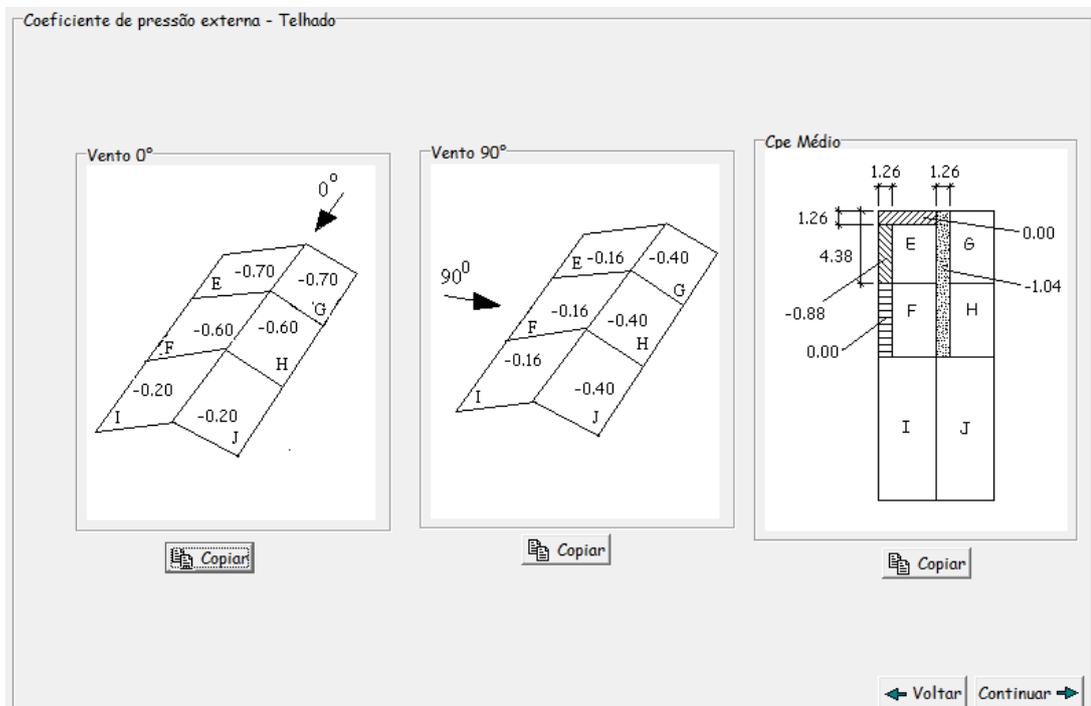
Fonte: (PRAVIA, 2005).

Figura 20: Configuração coeficiente de pressão externa - paredes.



Fonte: (PRAVIA, 2005).

Figura 21: Configuração coeficiente de pressão externa - telhado



Fonte: (PRAVIA, 2005).

Figura 22: Configuração coeficiente de pressão interna.

Coeficiente de pressão interna

Cpi

- Duas faces opostas igualmente permeáveis, as outras faces impermeáveis:
 - vento perpendicular a uma face permeável → Cpi = +0.2
 - vento perpendicular a uma face impermeável → Cpi = -0.3
- Quatro faces igualmente permeáveis → Cpi = -0.3 ou 0.0

Abertura dominante em uma face, as outras faces de igual permeabilidade

- Abertura dominante na face de barlavento → Cpi = 0.10 ou 0.10
- Abertura dominante na face de sotavento → Cpi = 0.70 ou 0.70

Abertura dominante em uma face paralela ao vento

- Abertura dominante não situada em zona de alta sucção externa → Cpi = -0.80 ou -0.90
- Abertura dominante situada em zona de alta sucção externa → Cpi = -0.40 ou -0.40

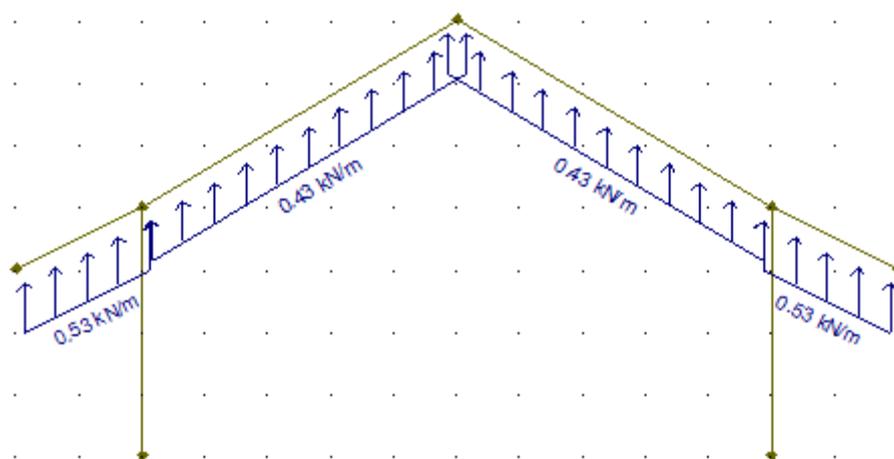
- Edificações efetivamente estanques e com janelas fixas que tenham uma probabilidade desprezável de serem rompidas por acidente → Cpi = -0.2 ou 0.0

- Relação entre a área das aberturas e a área total da face:
 - vento a 0° → Cpi = à calcular
 - vento a 90° → Cpi = à calcular

Fonte: (PRAVIA, 2005).

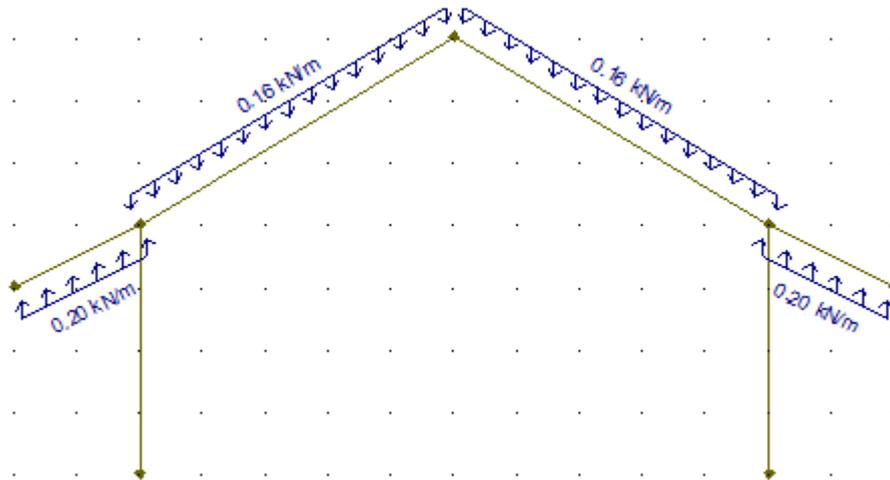
A partir do software Virtual Ventos foram obtidos os resultados necessários para determinar as condições mais desfavoráveis em relação a sucção, Figura 23, e sobrepressão, Figura 24.

Figura 23: Sucção.



Fonte: (MARTHA, 2018).

Figura 24: Sobrepressão.



Fonte: (MARTHA, 2018)

O dimensionamento de um telhado deve sempre ser realizado considerando a situação mais desfavorável, garantindo assim a segurança e a integridade estrutural da cobertura.

O maior valor encontrado para a carga acidental do vento foi $0,53 \text{ kN/m}^2$ para a sucção. Contudo, no que se refere à ação do vento sobre superfícies inclinadas de telhados, pode ser desconsiderada em edifícios fechados devido à inexistência de grandes aberturas ou pressões internas significativas que aumentem o efeito de sucção. Em edifícios fechados, a estrutura do telhado está menos sujeita a variações abruptas de pressão interna e externa, o que reduz o impacto das forças de sucção.

Por outro lado, o valor encontrado para sobrepressão do telhado apresentou o valor de $0,16 \text{ kN/m}^2$, porém foi feita uma consideração do valor adotado para poder seguir as recomendações das normas técnicas. Todo componente de cobertura deve ser dimensionado para suportar, na condição mais crítica, uma carga vertical adicional de 1 kN , além da carga permanente aplicada, ou seja, o telhado deve suportar o peso de um homem trabalhando com 100 kg na posição mais desfavorável. Dessa forma, o valor adotado para carga acidental do vento foi $0,30 \text{ kN/m}^2$, conforme os cálculos obtidos a partir das equações de número 13 (MOLITERNO, 2010).

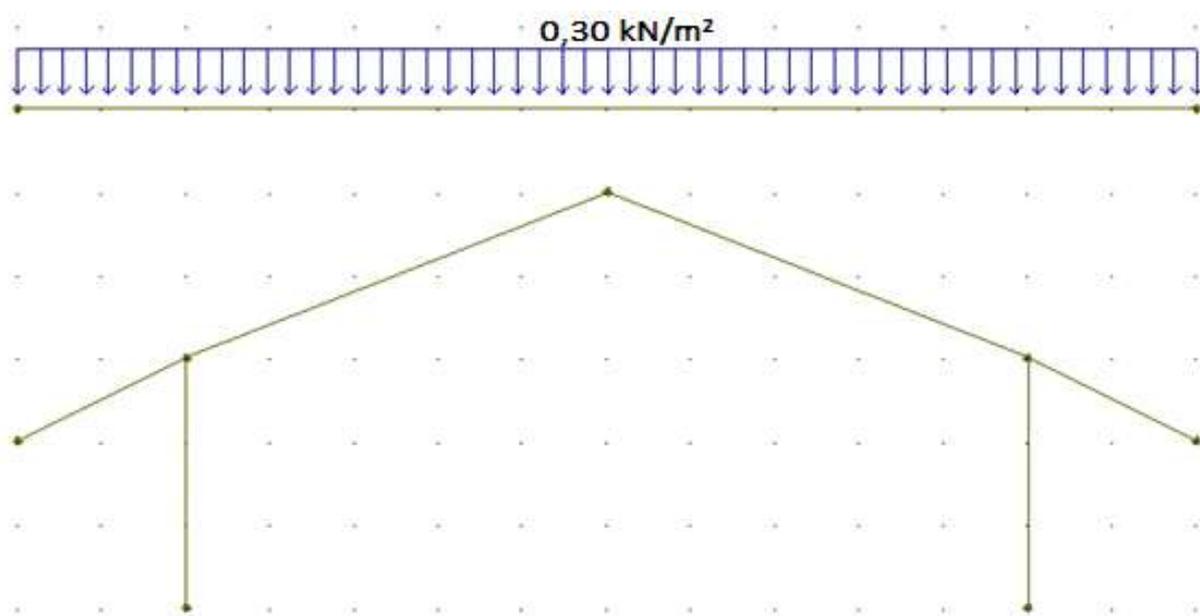
$$\rho = \frac{P}{\text{área de influência } m^2} \frac{kN}{m^2}$$

$$\rho = \frac{1}{1,40 \times 2,50} = 0,289 \frac{kN}{m^2} \quad (13)$$

$$\rho = 0,30 \text{ kN/m}^2$$

Dessa forma, temos a carga distribuída na Figura 25:

Figura 25: Carga distribuída.



Fonte: adaptado de (MOLITERNO, 2010).

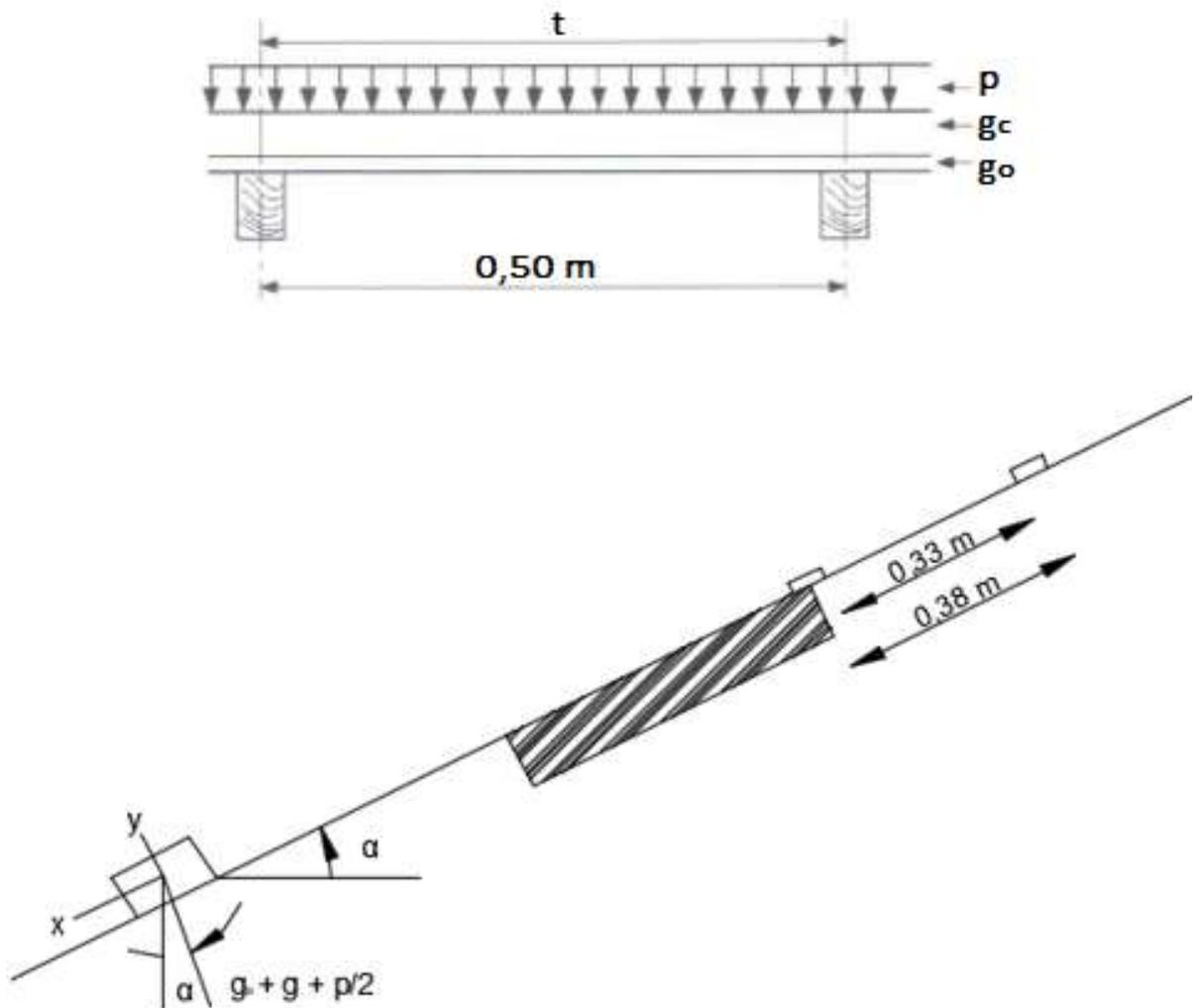
4.2 Verificações

A NBR 6120, 2019, estabelece os critérios para a inspeção e verificação de pelas de madeira destinada a estruturas, com foco na identificação de defeitos que possam comprometer sua integridade e desempenho estrutural.

4.2.1 Verificação das Ripas

A verificação da ripa é crucial para assegurar a estabilidade e a durabilidade da edificação. É essencial confirmar o alinhamento e o espaçamento adequado entre as ripas, que deve estar em conformidade com as especificações do projeto e normas técnicas vigentes, para garantir uma distribuição uniforme das cargas e um suporte eficiente para os elementos de cobertura, como telhas ou chapas metálicas. O esquema adotado pode ser verificado na Figura 26.

Figura 26: Esquema estrutural ripas.



Fonte: adaptado de (MOLITERNO, 2010).

A partir da seção escolhida retângulas 5 x 1,5 cm. Os parâmetros geométricos calculados foram:

$$\begin{aligned}
 A &= 7,5 \text{ cm}^2 \\
 W_x &= \frac{5 \times 0,015^2}{6} = 1,875 \text{ cm}^3 \\
 I_x &= \frac{5 \times 1,5^3}{12} = 1,400 \text{ cm}^2 \\
 W_y &= \frac{1,5 \times 5^2}{6} = 6,240 \text{ cm}^3 \\
 I_y &= \frac{1,5 \times 5^3}{12} = 15,600 \text{ cm}^4
 \end{aligned}
 \tag{14}$$

O esquema estrutural para montagem foi adotado para o espaçamento entre as ripas de 0,33 m, vão entre os caibros de 0,50 m. Conforme calculado, as telhas contribuem com 0,42 kN/m² e carga acidental de 0,30 kN/m².

4.2.1.1 Carga por Metro Linear de Ripa

Neste item serão calculados os momentos de cálculo de cada viga para as seguintes considerações:

- Carga permanente pelo peso próprio e telhas;
- Carga acidental;
- Componentes.

Portanto,

- Carga permanente

$$\begin{aligned}
 g_0 &= 0,015 \times 0,05 \times 9,99 = 0,007 \text{ kN/m} \\
 g_c &= 0,380 \times 0,420 = 0,160 \text{ kN/m} \\
 g &= g_0 + g_c \\
 g &= 0,167 \text{ kN/m}
 \end{aligned}
 \tag{15}$$

- Carga acidental

$$p = 0,30 \times 0,380 = 0,114 \text{ kN/m} \quad (16)$$

- Componentes

$$\begin{aligned} g_x &= g \times \cos \alpha = 0,167 \times 0,900 = 0,150 \text{ kN/m} \\ g_y &= g \times \sin \alpha = 0,167 \times 0,430 = 0,072 \text{ kN/m} \\ p_x &= p \times \cos \alpha = 0,114 \times 0,900 = 0,103 \text{ kN/m} \\ p_y &= p \times \sin \alpha = 0,201 \times 0,430 = 0,049 \text{ kN/m} \end{aligned} \quad (17)$$

Adotando o coeficiente ponderador para carregamentos permanentes e acidentais de 1,4. As verificações do estado limite são encontrados a partir das seguintes equações:

$$M_{x,d} = \frac{1,4 \times (g_x + p_x) \times L^2}{8} = \frac{1,4 \times (0,15 + 0,103) \times 0,5^2}{8} = 0,011 \text{ kNm} \quad (18)$$

$$\sigma_{Mx,d} = \frac{M_{x,d}}{W_x} = \frac{0,011}{1,875} = 587 \text{ N/cm}^2 \quad (19)$$

$$M_{y,d} = \frac{1,4 \times (g_y + p_y) \times L^2}{8} = \frac{1,4 \times (0,072 + 0,049) \times 0,5^2}{8} = 0,005 \text{ kNm} \quad (20)$$

$$\sigma_{My,d} = \frac{M_{y,d}}{W_y} = \frac{0,005}{6,240} = 80,12 \text{ N/cm}^2 \quad (21)$$

Para $K_m = 0,7$, no caso para seção retangular. A verificação do estado limite último de flexão oblíqua recai:

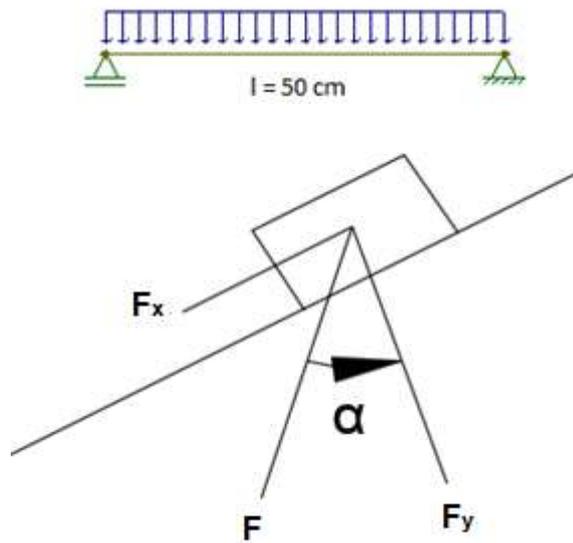
$$K_m \times \frac{\sigma_{Mx,d}}{f_{wd}} + \frac{\sigma_{My,d}}{f_{wd}} \leq 1 \quad \dots 0,7 \times \frac{587}{2170} + \frac{80,12}{2170} \leq 1 \quad \dots 0,22 \leq 1 \quad (22)$$

Atende a norma.

4.2.1.2 Verificação da Flecha

A verificação das flechas em projetos de engenharia civil é essencial para garantir a segurança estrutural e o desempenho adequado da edificação. A flecha corresponde à deformação vertical de um elemento estrutural sob a ação de cargas, como vigas ou lajes. Quando essa deformação excede os limites normativos estabelecidos por norma, pode comprometer a integridade da estrutura, ocasionando fissuras, danos ao revestimento, mau funcionamento da estrutura. Observa-se na Figura 27 a ação das cargas (MOLITERNO, 2010).

Figura 27: Ação das cargas.



Fonte: adaptado do autor (MOLITERNO, 2010).

$$f_{adm} = \frac{l}{200} = \frac{50}{200} = 0,25 \text{ cm}$$

$$f_x = \frac{5 \times g_x \times l^4}{384 \times E \times I_x} = \frac{5 \times 0,150 \times 0,5^4}{384 \times 12895 \times 10^3 \times 1,4 \times 10^{-8}} = 0,068$$

$$f_y = \frac{5 \times g_y \times l^4}{384 \times E \times I_x} = \frac{5 \times 0,072 \times 0,5^4}{384 \times 12895 \times 10^3 \times 1,4 \times 10^{-8}} = 0,031$$

$$f = \sqrt{0,068^2 + 0,031^2} = 0,20 < f_{adm}$$
(23)

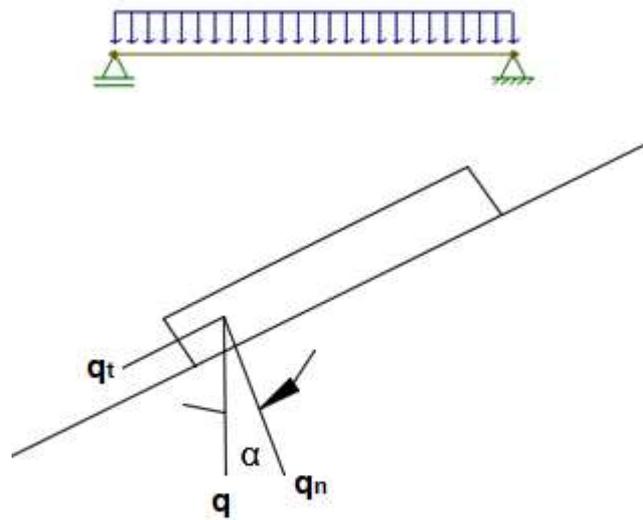
Atende a norma.

4.2.2 Verificação dos Caibros

A verificação dos caibros será calculada como vigas contínuas, simplesmente apoiadas. Será levado em consideração o esforço normal, solicitado a flexo compressão (MOLITERNO, 2010).

Observa-se na Figura 28 a distribuição de cargas sobre caibros.

Figura 28: Distribuição de cargas sobre caibros.



Fonte: adaptado de (MOLITERNO, 2010).

As dimensões adotadas e os valores de cargas foram resumidos abaixo:

$$e = 1,55 \text{ m (distância entre terças)}$$

$$g_c = 0,665 \text{ kN/m}^2 \text{ (peso próprio)}$$

$$p = 0,30 \text{ kN/m}^2 \tag{24}$$

$$\text{sen } 26^\circ = 0,43$$

$$\text{cos } 26^\circ = 0,90$$

A partir da seção escolhida retângulas 5 x 6 cm. Os parâmetros geométricos calculados foram:

$$A = 30 \text{ cm}^2 \tag{25}$$

$$W_x = \frac{5 \times 6^2}{6} = 30 \text{ cm}^3$$

$$I_y = \frac{5 \times 6^3}{12} = 90 \text{ cm}^4$$

$$i = \sqrt{(I/A)} = \sqrt{(90/30)} = 1,73 \text{ cm}^3$$

$$\lambda = \frac{L_0}{\sqrt{(I/A)}} = \frac{155}{1,73} = 89,595 > 80$$

4.2.2.1 Esforços Solicitantes

Neste item serão calculadas as cargas atuantes e os esforços solicitantes de cada viga para as seguintes considerações:

- Carga por metro linear de caibro;
- Componentes;
- Momento fletor;
- Força cortante;
- Esforço normal.

Portanto,

- Carga por metro linear de caibro

$$q = (g_0 + g_c) \times t = (0,665 + 0,30) \times 0,50 = 0,482 \text{ kN/m} \quad (26)$$

- Componentes

$$q_n = q \times \cos \alpha = 0,482 \times 0,900 = 0,434 \text{ kN/m}$$

$$q_t = q \times \sin \alpha = 0,482 \times 0,430 = 0,207 \text{ kN/m} \quad (27)$$

- Momento fletor

$$M = q_n \times \frac{e^2}{8} = 0,434 \times \frac{1,55^2}{8} = 0,130 \text{ kNm}$$

$$M_d = M \times 1,4 = 0,130 \times 1,4 = 0,182 \text{ kNm} \quad (28)$$

- Força cortante

$$Q = q_n \times \frac{e}{2} = 0,434 \times \frac{1,55}{2} = 0,336 \text{ kN} \quad (29)$$

- Esforço normal

$$N = q_T \times \frac{e}{2} = 0,207 \times \frac{1,55}{2} = 0,160 \text{ kN} \quad (30)$$

$$N_d = N \times 1,4 = 0,141 \times 1,4 = 0,224 \text{ kN}$$

4.2.2.2 Verificações

Neste item serão feitas as seguintes verificações:

- Flexão composta;
- Cisalhamento;
- Flecha.

Portanto,

- Flexão composta

A excentricidade acidental mínima é de:

$$e_a = \frac{L_0}{300} = \frac{155}{300} = 0,517 \text{ cm} \quad (31)$$

A excentricidade inicial devida ao carregamento:

$$e_i = \frac{M_d}{N_d} = \frac{18,20}{0,224} = 81,25 \text{ cm} \quad (32)$$

Dessa forma:

$$e_l = e_a + e_i = 81,25 + 0,517 = 81,767 \text{ cm} \quad (33)$$

A verificação do estado limite último é dada por:

$$\frac{\sigma_{Nd}}{f_{c0,d}} + \frac{\sigma_{Md}}{f_{c0,d}} \leq 1 \quad (34)$$

Onde:

$$F_E = \frac{\pi^2 \times E \times I}{L_0^2} = \frac{3,14^2 \times 12895 \times 90}{155^2} = 0,483 \text{ kN}$$
$$M_d = N_d \times e_l \times \left(\frac{F_E}{F_E - N_d} \right) \quad (35)$$
$$M_d = 0,224 \times 81,767 \times \left(\frac{4,83}{4,83 - 0,224} \right) = 34,15 \text{ kNcm}$$

Com:

$$\sigma_{Md} = \frac{M_{x,d}}{W_x} = \frac{34150}{30} = 1138 \frac{\text{N}}{\text{cm}^2}$$
$$\sigma_{Nd} = \frac{N_d}{W_x} = \frac{224}{30} = 7,47 \text{ N/cm}^2 \quad (36)$$

Logo:

$$\frac{\sigma_{Nd}}{f_{c0,d}} + \frac{\sigma_{Md}}{f_{c0,d}} = \frac{7,47}{2170} + \frac{1138}{2170} = 0,30 \leq 1 \quad (37)$$

Atende a norma.

- Cisalhamento

A verificação do cisalhamento é dada por:

$$\tau_d = \frac{V_d}{A} \leq f_{v0,d} \quad (38)$$

Logo:

$$\tau_d = \frac{336}{30} = 11,2 \leq 750 \text{ N/cm}^2 \quad (39)$$

- Flecha

Segundo a NBR 7190, a verificação da flecha é dada por:

$$f_x \leq f_{adm}$$

$$f_{adm} = \frac{L_0}{300} = \frac{155}{300} = 0,516 \text{ cm} \quad (40)$$

Logo:

$$f_x = \frac{5 \times Q \times L^4}{384 \times E \times I} = \frac{5 \times 0,00434 \times 155^4}{384 \times 1289 \times 90} = 0,281 \leq 0,516 \text{ cm} \quad (41)$$

4.2.3 Verificação das Terças

A verificação das terças será a partir de uma terça intermediária, simplesmente apoiadas, e calculada como vigas contínuas (MOLITERNO, 2010).

As dimensões adotadas e os valores de cargas foram resumidos abaixo:

$$e = 1,55 \text{ m (distância entre terças)}$$

$$m = 1,40 \text{ m}$$

$$a = 2,50 \text{ m} \quad (42)$$

$$\text{sen } 26^\circ = 0,43$$

$$\text{cos } 26^\circ = 0,90$$

A partir da seção escolhida retângulas 6 x 16 cm. Os parâmetros geométricos calculados foram:

$$A = 96 \text{ cm}^2$$

$$W_x = \frac{6 \times 16^2}{6} = 256 \text{ cm}^3$$

$$W_y = \frac{16 \times 6^2}{6} = 96 \text{ cm}^3 \quad (43)$$

$$I_y = \frac{16 \times 6^3}{12} = 288 \text{ cm}^4$$

$$I_x = \frac{6 \times 16^3}{12} = 2048 \text{ cm}^4$$

$$g_c = 0,665 \text{ kN/m}^2 (\text{peso próprio})$$

4.2.3.1 Carga por Metro Linear de Terça

Neste item serão calculados os momentos de cálculo de cada viga para as seguintes considerações (MOLITERNO, 2010):

- Peso próprio da terça;
- Cobertura;
- Sobrecarga;
- Resultante das cargas;
- Componentes;
- Momento fletor;
- Força cortante.

Portanto,

- Peso próprio da terça

$$g_0 = 0,06 \times 0,16 \times 9,99 = 0,0959 \text{ kN/m} \quad (44)$$

- Cobertura

$$g_{cm} = 0,665 \times 1,4 = 0,931 \text{ kN/m}$$

$$g = g_0 + g_{cm} \quad (45)$$

$$g = g_0 + g_{cm} = 0,0959 + 0,931 = 1,0269 \text{ kN/m}$$

- Sobrecarga

$$w = 0,30 \times 1,4 = 0,42 \text{ kN/m} \quad (46)$$

- Resultante das cargas

$$q = g + w = 1,0269 + 0,42 = 1,447 \text{ kN/m} \quad (47)$$

- Resultante das cargas

$$\begin{aligned} q_N &= q \times \cos \alpha = 1,447 \times 0,900 = 1,301 \text{ kN/m} \\ q_T &= q \times \sin \alpha = 1,447 \times 0,430 = 0,662 \text{ kN/m} \end{aligned} \quad (48)$$

- Momento fletor

$$\begin{aligned}
 M_x &= q_n \times \frac{a^2}{8} \times 100 = 1,301 \times \frac{2,5^2}{8} = 1,016 \text{ kNm} \\
 M_y &= q_t \times \frac{a^2}{8} \times 100 = 0,662 \times \frac{2,5^2}{8} = 0,517 \text{ kNm}
 \end{aligned}
 \tag{49}$$

- Força cortante

$$\begin{aligned}
 Q_x &= q_n \times \frac{a}{8} = 1,301 \times \frac{2,5}{8} = 0,406 \text{ kN} \\
 Q_y &= q_t \times \frac{a}{8} = 0,662 \times \frac{2,5}{8} = 0,207 \text{ kN}
 \end{aligned}
 \tag{50}$$

4.2.3.2 Verificações

Neste item serão feitas as seguintes verificações:

- Flexão simples oblíqua;
- Cisalhamento;
- Flecha.

Portanto,

- Flexão simples oblíqua

$$\begin{aligned}
 \sigma_{Md} &= \frac{M_{x,d}}{W_x} = \frac{102}{256} = 0,398 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \\
 \sigma_{My,d} &= \frac{M_{y,d}}{W_y} = \frac{102}{96} = 1,063 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \\
 \frac{\sigma_{Mx,d}}{f_{c0,d}} + Km \frac{\sigma_{My,d}}{f_{c0,d}} &= \frac{1,063}{2,17} + 0,7 \frac{0,398}{2,17} = 0,62 \leq 1
 \end{aligned}
 \tag{51}$$

Atende a norma.

- Cisalhamento

A verificação do cisalhamento é dada por:

$$\tau_d = \frac{V_d}{A} \leq f_{v0,d} \quad (52)$$

Logo:

$$\tau_d = \frac{406}{96} = 4,51 \leq 750 \text{ N/cm}^2 \quad (53)$$

- Flecha

A verificação da flecha é dada por

$$f_x \leq f_{adm} \quad (54)$$

$$f_{adm} = \frac{L}{300} = \frac{250}{300} = 0,83 \text{ cm}$$

Logo:

$$f_x = \frac{5 \times g \times L^4}{384 \times E \times I_x} \quad (55)$$

$$f_x = \frac{5 \times 0,00529 \times 155^4}{384 \times 1289 \times 90} = 0,71 \leq 0,83 \text{ cm}$$

4.3 Cálculo da Tesoura

No cálculo de uma tesoura de telhado, o foco principal está nas cargas aplicadas, que incluem o peso próprio dos materiais, cargas acidentais, como vento, e sobrecargas permanentes. Estas cargas devem ser distribuídas nos nós da tesoura para garantir que os esforços de tração e compressão nas barras sejam corretamente dimensionados. A correta determinação dessas cargas permite que a estrutura resista aos esforços aplicados durante toda sua vida útil, garantindo a estabilidade e

segurança da cobertura. A verificação dos esforços e a escolha dos materiais adequados, como a madeira, são fundamentais para otimizar a performance estrutural da tesoura.

4.3.1 Resumo das Cargas Unitárias

As cargas referentes a contribuição da estrutura da tesoura foram compiladas na Tabela 5 (MOLITERNO, 2010).

Tabela 5: Resumo das cargas.

Cargas unitárias	Peso ($\frac{kN}{m^2}$)
Peso próprio da tesoura	$G_T = 0,1$
Telhas, Ripas e Caibros	$G_C = 0,665$
Terças	$G_O = 0,09$
Forro	$G_F = 0,15$
Carga accidental	$p = 0,30$

Fonte: adaptado de (MOLITERNO, 2010).

4.3.2 Cálculo das Concentrações

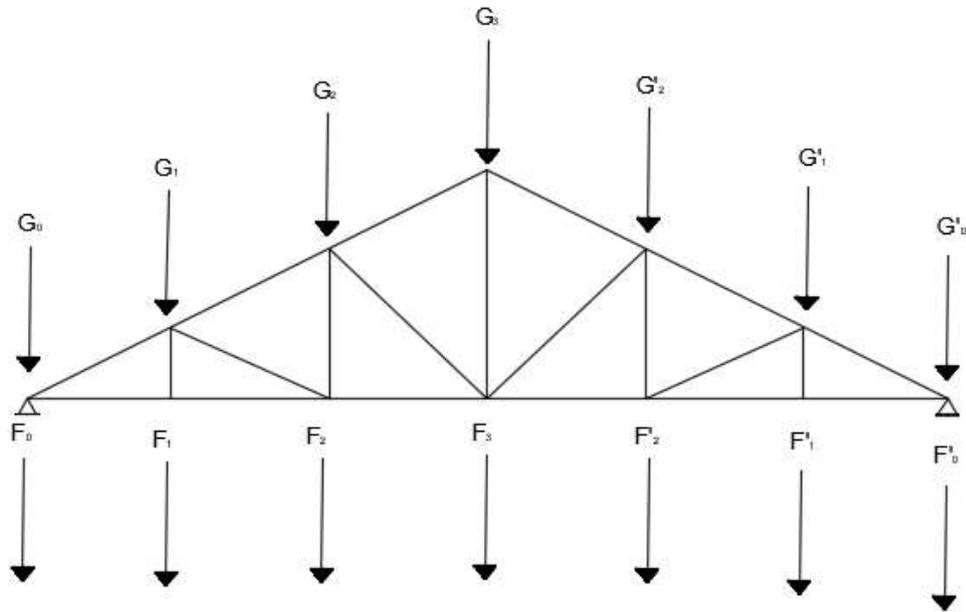
O cálculo das concentrações de carga sobre os nós de uma treliça envolve a distribuição das forças aplicadas na estrutura de forma que cada nó seja equilibrado em termos de tração e compressão. Primeiramente, é necessário identificar as cargas externas, como o peso próprio da estrutura, cargas permanentes e variáveis, e aplicá-las nos nós, uma vez que as treliças são projetadas para suportar apenas forças normais nas barras. Cada barra, portanto, transmite essas cargas entre os nós, resultando em forças de tração ou compressão.

4.3.2.1 Esquema das Concentrações nos Nós ou Juntas

O esquema das concentrações nos nós ou juntas de uma treliça é um dos aspectos fundamentais para o correto funcionamento da estrutura. Nos nós, as cargas aplicadas são distribuídas pelas barras que se encontram em tração ou compressão,

de acordo com a geometria e o tipo de carregamento aplicado. Observa-se na Figura 29 a concentração nos nós devida à carga permanente.

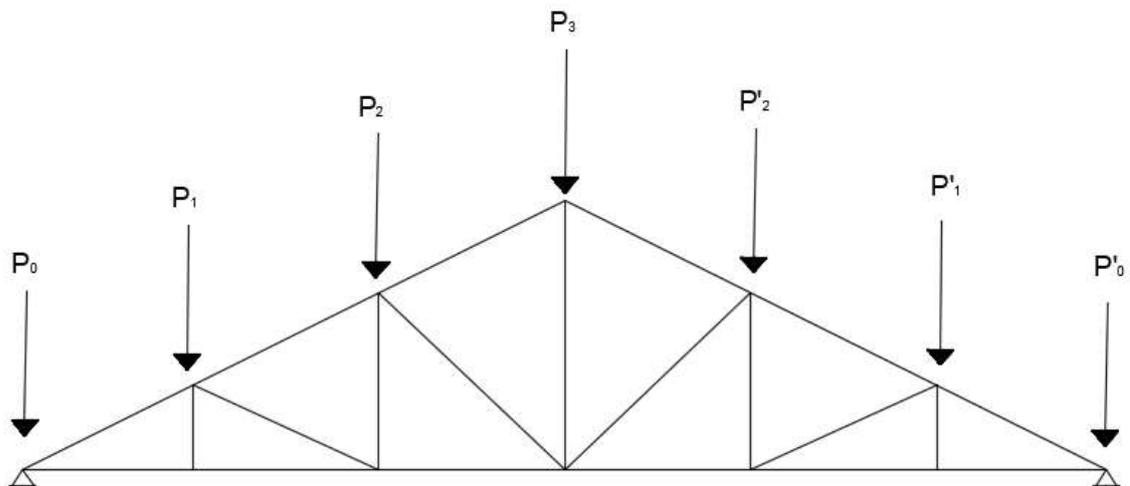
Figura 29: Concentração nos nós devida à carga permanente



Fonte: adaptado de (MOLITERNO, 2010).

Observa-se na Figura 30 a concentração nos nós devida à sobrecarga.

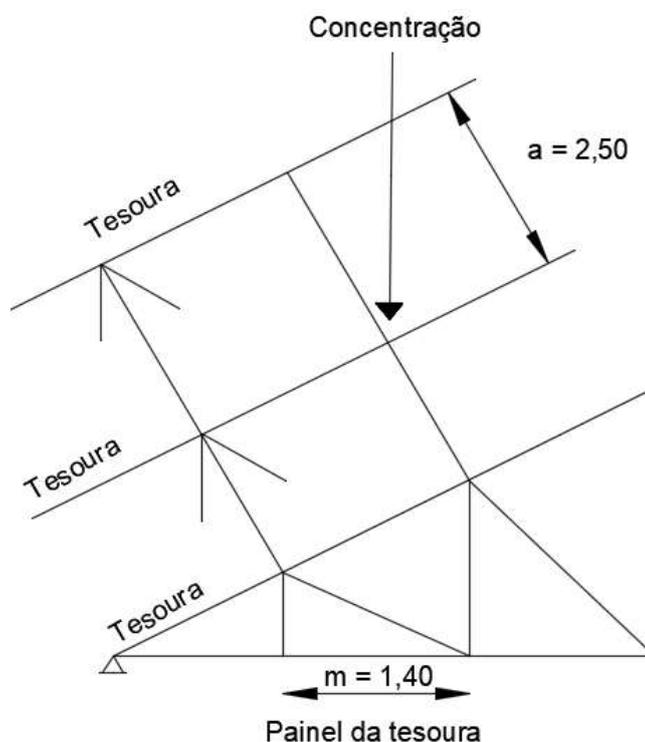
Figura 30: Concentração nos nós devida à sobrecarga



Fonte: adaptado de (MOLITERNO, 2010).

Observa-se na Figura 31 a distribuição de cargas sobre a tesoura.

Figura 31: Distribuição das cargas sobre a tesoura



Fonte: adaptado de (MOLITERNO, 2010).

4.3.3 Concentrações Devida à Carga Permanente no Banzo Superior

As concentrações devidas à carga permanente no banzo superior de uma treliça, são fundamentais para garantir a estabilidade e a distribuição correta das forças ao longo da estrutura. A correta consideração dessas concentrações nas fases de cálculo permite dimensionar adequadamente os perfis de madeira ou aço, garantindo que a distribuição de carga entre as barras e os nós ocorra de maneira uniforme, assegurando a estabilidade global da estrutura. Os cálculos das concentrações dos nós podem ser observados na equação 56.

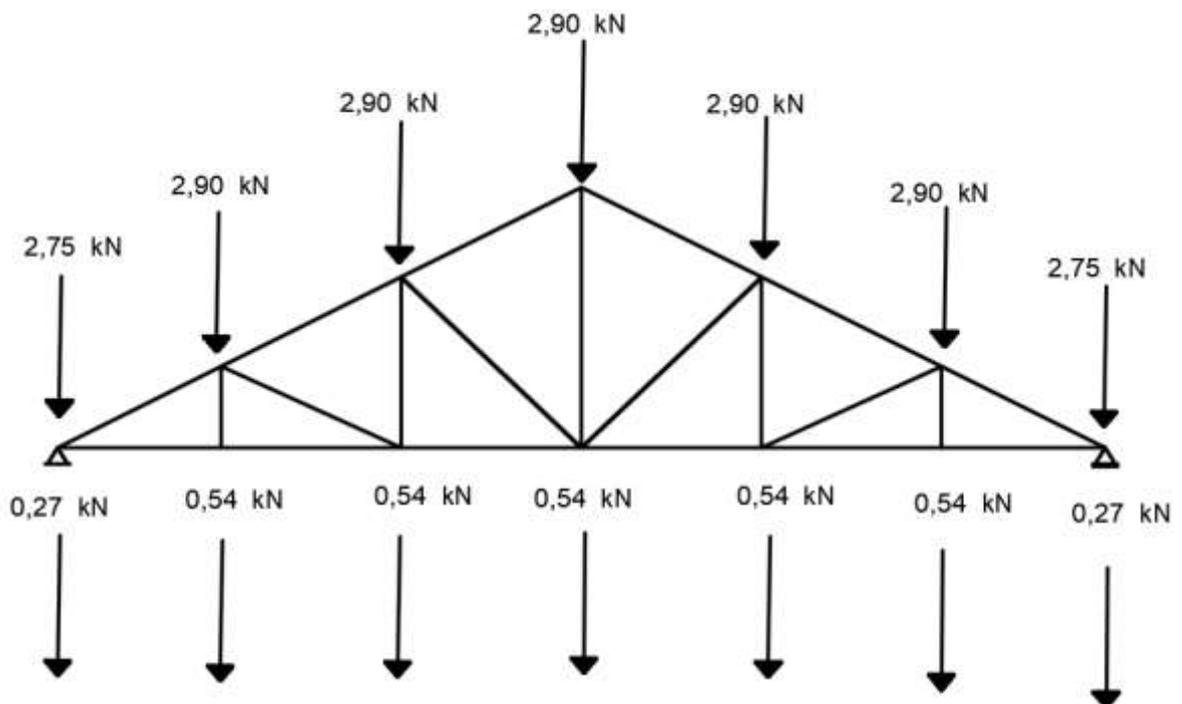
$$\begin{aligned}
 G_1 = G_2 = G_a = G'_2 = G'_1 = G_i & \text{ (concentração nos nós intermediários)} \\
 G_o = G'_o = G_e & \text{ (concentração nos nós extremos)} \\
 G_i = [(g_T + g_C) \times m + g_o] \times a & = [(10 + 67) \times 1,40 + 9,99] \times 2,5 = 0,29 \text{ kN} \quad (56) \\
 G_i = \left[(g_T + g_C) \times \frac{m}{2} + g_o \right] \times a & + \text{beiral} = 0,27 \text{ kN} \\
 G_i = [(10 + 7) \times 0,70 + 9,99] \times 2,5 & + 67 \times 0,70 \times 2,50 = 0,27 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Os valores para o banzo inferior são apresentados na equação 57.

$$\begin{aligned}
 F_i & \text{ (concentração intermediária)} \\
 F_i = g_F \times m \times a & = 0,15 \times 1,40 \times 2,50 = 0,54 \text{ kN} \\
 F_e & \text{ (concentração extrema)} \\
 F_i = \frac{F_F}{2} & = 0,27 \text{ kN}
 \end{aligned} \quad (57)$$

Observa-se na Figura 32 resumo da concentração das cargas.

Figura 32: Resumo da concentração das cargas



Fonte: adaptado de (MOLITERNO, 2010).

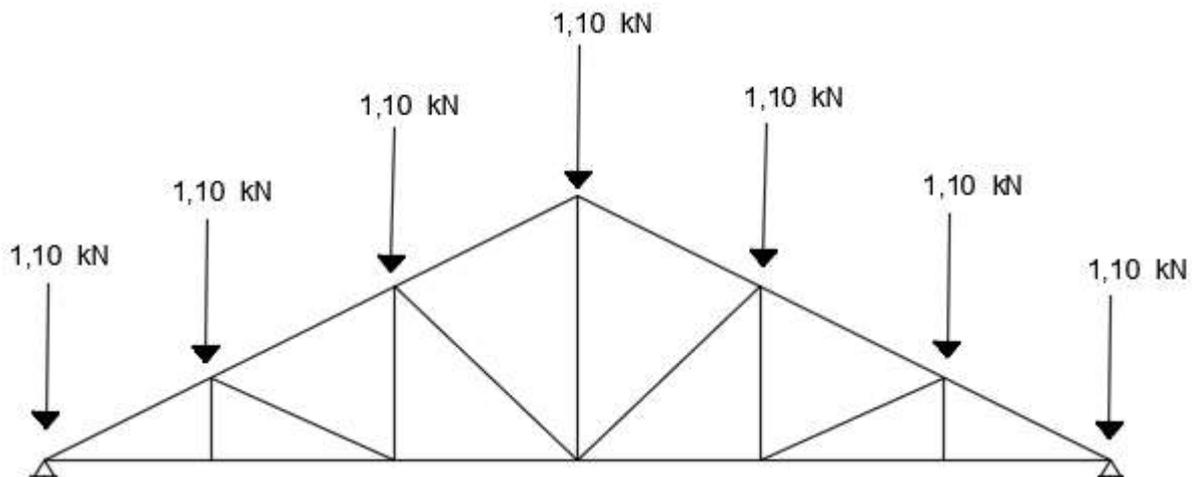
4.3.4 Concentrações Devida à Carga Acidental

As concentrações devidas à carga acidental na tesoura de um telhado referem-se a forças temporárias ou ocasionais, como vento. Durante o cálculo, essas cargas são aplicadas conforme as normas de segurança e os fatores de ampliação, sendo distribuídas nos nós da estrutura de maneira uniforme para simular as condições mais desfavoráveis possíveis. Isso permite que a tesoura suporte as sobrecargas temporárias sem apresentar falhas ou deformações excessivas, garantindo a segurança e durabilidade do telhado ao longo de sua vida útil. Os valores de concentração devido a carga acidental são apresentados na equação 58.

$$\begin{aligned} P_i &= P_1 = P_2 = P_3 = P'_1 = P'_2 = G_i \text{ (concentração nos nós intermediários)} \\ P_e &= P_0 = P'_0 \text{ (concentração nos nós extremos)} \\ G_i &= p \times m \times a = 0,30 \times 1,40 \times 2,50 = 1,10 \text{ kN} \end{aligned} \quad (58)$$

Observa-se na Figura 33 resumo da concentração das cargas.

Figura 33: Resumo da concentração devida à carga acidental

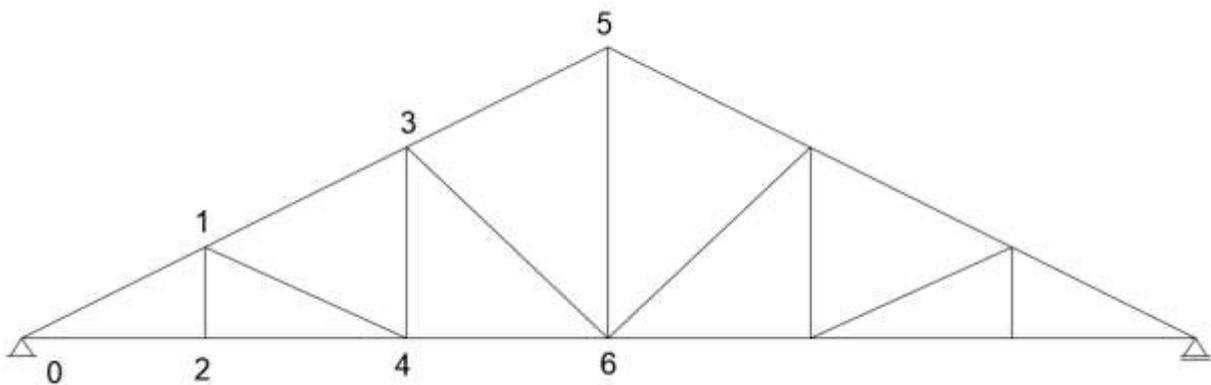


Fonte: adaptado de (MOLITERNO, 2010).

4.3.5 Esforços nas Barras da Tesoura

O quadro de esforços apresentado foi gerado a partir da análise estrutural da tesoura, observa-se na Figura 34 ilustração desta configuração, utilizando o software Ftool, que é amplamente empregado para cálculo de estruturas treliçadas. Esse quadro contém os valores das forças internas, como momentos fletores, forças de tração, compressão e cisalhamento, nos elementos que compõem a tesoura.

Figura 34: Configuração dos nós



Fonte: adaptado de (MOLITERNO, 2010).

O resumo desses esforços pode ser visto na Tabela 6.

Tabela 6: Resumo dos esforços.

Barras		Esforços (kN)		
		Carga Permanente	Carga Acidental	Carga Permanente + Acidental
Banzo Superior	0 - 1	-19,3	-10,4	-29,7
	1 - 3	-15,6	-8,5	-24,1
	3 - 5	-11,7	-6,3	-18
Banzo Inferior	0 - 2	1	0,6	1,6
	2 - 4	1,2	0,6	1,8
	4 - 6	-2,2	-1,2	-3,4
Diagonais	1 - 4	-3,8	-2	-5,8
	4 - 6	-4,8	-2,8	-7,6
Pendurais	1 - 2	-0,1	-0,1	0,2
	3 - 4	1,7	0,9	2,6
	5 - 6	6,7	3,6	10,3

Fonte: adaptado de (MOLITERNO, 2010).

4.3.6 Verificação das Barras

A verificação das barras no dimensionamento é fundamental para garantir a integridade e segurança da edificação. Os banzos, diagonais e pendurais são responsáveis por suportar as cargas de compressão e tração decorrentes de ações permanentes e acidentais, como o peso próprio e vento. É essencial que os banzos sejam verificados quanto à capacidade de resistir a essas forças, assegurando que a estrutura do telhado permaneça estável e segura ao longo de sua vida útil.

4.3.6.1 Banzo Superior

A partir da seção escolhida retangular 6 x 12 cm. Os parâmetros geométricos calculados foram:

$$\begin{aligned} A &= 72 \text{ cm}^2 \\ W_x &= \frac{6 \times 12^2}{6} = 144 \text{ cm}^3 \\ I_y &= \frac{12 \times 6^3}{12} = 216 \text{ cm}^4 \\ N &= -29,7 \text{ kN (compressão)} \\ L_0 &= 1,55 \text{ m} \end{aligned} \tag{59}$$

A excentricidade acidental mínima é de:

$$e_a = \frac{L_0}{300} = \frac{155}{300} = 0,517 \text{ cm} \tag{60}$$

A excentricidade inicial de primeira ordem:

$$e_l = e_a + e_i = 0,517 + 0,516 = 1,033 \text{ cm} \tag{61}$$

A verificação do estado limite último é dada por:

$$\frac{\sigma_{Nd}}{f_{c0,d}} + \frac{\sigma_{Md}}{f_{c0,d}} \leq 1 \tag{62}$$

Onde:

$$F_E = \frac{\pi^2 \times E \times I}{L_0^2} = \frac{3,14^2 \times 1289,5 \times 216}{155^2} = 114,306 \text{ kN}$$
$$M_d = N_d \times e_d$$
$$e_d = \left(\frac{F_E}{F_E - N_d} \right) \times e_l \quad (63)$$
$$e_d = \left(\frac{114,306}{114,306 - 29,7} \right) \times 1,033 = 1,396$$
$$M_d = 29,7 \times 1,396 = 41,461 \text{ kNcm}$$

Com:

$$\sigma_{Md} = \frac{M_{x,d}}{W_x} = \frac{41461}{144} = 287,92 \frac{\text{N}}{\text{cm}^2}$$
$$\sigma_{Nd} = \frac{N_d}{W_x} = \frac{29700}{144} = 206,25 \text{ N/cm}^2 \quad (64)$$

Logo:

$$\frac{\sigma_{Nd}}{f_{c0,d}} + \frac{\sigma_{Md}}{f_{c0,d}} = \frac{206,25}{2170} + \frac{287,92}{2170} = 0,23 \leq 1 \quad (65)$$

Atende a norma.

4.3.6.2 Banzo Inferior

A partir da seção escolhida retangular de 6 x 12 cm. Os parâmetros geométricos calculados foram:

$$A = 72 \text{ cm}^2$$
$$N = -3,4 \text{ kN (compressão)} \quad (66)$$

A verificação do estado limite último é dada por:

$$\sigma_{td} \leq f_{c0,d} \quad (67)$$

Onde:

$$\sigma_{td} = \frac{N}{A} = \frac{3,4}{72} = 0,05 \frac{kN}{cm^2} \quad (68)$$

Logo:

$$0,05 \leq 2,17 \quad (69)$$

Atende a norma.

4.3.6.3 Diagonal mais Solicitada

A partir da seção escolhida retangular de 6 x 12 cm. Os parâmetros geométricos calculados foram:

$$\begin{aligned} A &= 72 \text{ cm}^2 \\ W_y &= \frac{12 \times 6^2}{6} = 72 \text{ cm}^3 \\ I_y &= \frac{12 \times 6^3}{12} = 216 \text{ cm}^4 \\ N &= -7,6 \text{ kN (compressão)} \\ L_0 &= 1,94 \text{ m} \end{aligned} \quad (70)$$

A excentricidade acidental mínima é de:

$$e_a = \frac{L_0}{300} = \frac{194}{300} = 0,647 \text{ cm} \quad (71)$$

A excentricidade inicial de primeira ordem:

$$e_l = e_a + e_i = 0,647 + 0,516 = 1,163 \text{ cm} \quad (72)$$

A verificação do estado limite último é dada por:

$$\frac{\sigma_{Nd}}{f_{c0,d}} + \frac{\sigma_{Md}}{f_{c0,d}} \leq 1 \quad (73)$$

Onde:

$$F_E = \frac{\pi^2 \times E \times I}{L_0^2} = \frac{3,14^2 \times 1289,5 \times 216}{155^2} = 114,306 \text{ kN}$$
$$M_d = N_d \times e_d$$
$$e_d = \left(\frac{F_E}{F_E - N_d} \right) \times e_l \quad (74)$$
$$e_d = \left(\frac{114,306}{114,306 - 7,6} \right) \times 1,163 = 1,071$$
$$M_d = 7,6 \times 1,071 = 8,14 \text{ kNcm}$$

Com:

$$\sigma_{Md} = \frac{M_{x,d}}{W_y} = \frac{8140}{72} = 113,056 \frac{\text{N}}{\text{cm}^2}$$
$$\sigma_{Nd} = \frac{N_d}{W_y} = \frac{760}{72} = 10,556 \text{ N/cm}^2 \quad (75)$$

Logo:

$$\frac{\sigma_{Nd}}{f_{c0,d}} + \frac{\sigma_{Md}}{f_{c0,d}} = \frac{113,056}{2170} + \frac{10,556}{2170} = 0,06 \leq 1 \quad (76)$$

Atende a norma.

4.3.6.4 Pendural Secundário

A partir da seção escolhida retangular de 6 x 12 cm. Os parâmetros geométricos calculados foram:

$$A = 72 \text{ cm}^2$$
$$N = 10,3 \text{ kN (Tração)} \quad (77)$$

A verificação do estado limite último é dada por:

$$\sigma_{td} \leq f_{c0,d} \quad (78)$$

Onde:

$$\sigma_{td} = \frac{N}{A} = \frac{10,3}{72} = 0,14 \frac{kN}{cm^2} \quad (79)$$

Logo:

$$0,14 \leq 2,17 \quad (80)$$

Atende a norma.

4.3.6.5 Pendural Central

A partir da seção escolhida retangular de 6 x 12 cm. Os parâmetros geométricos calculados foram:

$$\begin{aligned} A &= 72 \text{ cm}^2 \\ N &= 2,6 \text{ kN (Tração)} \end{aligned} \quad (81)$$

A verificação do estado limite último é dada por:

$$\sigma_{td} \leq f_{c0,d} \quad (82)$$

Onde:

$$\sigma_{td} = \frac{N}{A} = \frac{2,6}{72} = 0,04 \frac{kN}{cm^2} \quad (83)$$

Logo:

$$0,04 \leq 2,17 \quad (84)$$

Atende a norma.

4.4 Resumo das Peças em Madeira

O quadro com o quantitativo das peças de madeira a serem utilizados para o telhado, foi fundamental considerar tanto o comprimento linear quanto o volume em metros cúbicos, em função da forma de aquisição e aplicação dos elementos estruturais. Inicialmente, deve-se identificar todos os componentes do telhado, tais como vigas, caibros, ripas, terças e outros elementos estruturais. O resumo desses componentes pode ser visto na Tabela 7.

A forma mais comum de comprar madeira para telhados é em comprimentos lineares, vendidos por metro linear (m) ou peça, de acordo com as dimensões necessárias para a estrutura. Normalmente, esse tipo de madeira é adquirido em formatos padronizados de vigas, caibros e ripas, cortados nas medidas apropriadas para facilitar a montagem do telhado conforme o projeto. Outra forma frequente é a compra por metro cúbico (m³), especialmente para projetos maiores ou para elementos de madeira maciça que precisam ser cortados em medidas específicas posteriormente.

Tabela 7: Resumo das peças em madeira.

Elemento estrutural	Resumo das peças em madeira		
	Seção transversal (cm) b x h	Comprimento linear (m)	m ³
Ripas	5 x 1,5	690	0,52
Caibros	5 x 6	220	0,66
Terças	6 x 16	240	2,30
Banzo Superior	6 x 12	165	1,19
Banzo Inferior	6 x 12	165	1,19
Diagonal	6 x 12	132	0,95
Pendural	6 x 12	108	0,78
Total		1720	7,6

Fonte: (AUTOR, 2024).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

5.1 Conclusões

Ao dimensionar um telhado, é crucial assegurar que todos os componentes – como caibros, terças, ripas e conexões – estejam adequadamente calculados para suportar cargas, incluindo peso próprio, cargas acidentais, ação do vento. Além disso, verificações de flexão, compressão, tração e cisalhamento são indispensáveis para garantir que a estrutura resista às forças aplicadas durante a vida útil do edifício. O processo de verificação permite identificar possíveis pontos críticos ou falhas que podem comprometer a integridade da estrutura e, assim, adotar soluções de reforço ou ajuste de materiais, caso necessário. Dessa forma, as verificações técnicas garantem que o projeto atenda aos padrões de segurança, aumentando a confiabilidade da construção e assegurando que o telhado desempenhe corretamente suas funções ao longo do tempo.

No estudo de caso observa-se que é possível executar residências com bom padrão de desempenho utilizando o Eucalipto Citriodora. Essa espécie de madeira amplamente recomendada para a construção de telhados devido às suas propriedades técnicas, como alta densidade, durabilidade e resistência característica mecânica. A partir dos cálculos de dimensionamento, esta espécie apresentou uma excelente resistência característica tanto à tração quanto à compressão, tornando-se adequada para estruturas que suportam grandes cargas, como tesouras, terças, caibros e ripas em coberturas.

5.2 Sugestões para Trabalhos Futuros

Como possíveis trabalhos futuros, pode-se apontar:

Realizar o dimensionamento e planejamento completo da estrutura de madeira para o telhado, orçar esses elementos estruturais a fim de demonstrar os custos para construção de tais projetos. Para se ter uma clareza maior neste orçamento é importante considerar a mão-de-obra para a execução da obra.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT. NBR 7190: Projeto de estruturas de madeira. Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2022.

ABNT. NBR 7190: Projeto de estruturas de madeira. Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1997.

ANDRADE, B. S. O. CONCRETO ARMADO: UM ESTUDO SOBRE O PROCESSO HISTÓRICO, CARACTERÍSTICAS, DURABILIDADE, PROTEÇÃO E RECUPERAÇÃO DE SUAS ESTRUTURAS. Dissertação de final de curso—Rio de Janeiro: Universidade Federal de Minas Gerais, 2016.

BAHIA, M. S. BIODETERIORAÇÃO E A DURABILIDADE DA MADEIRA: ESTUDO DE ASPECTOS CONSTRUTIVOS EM CAMPO MOURÃO-PR. Dissertação de final de curso—CAMPO MOURÃO: Universidade Tecnológica Federa do Paraná, 3 set. 2015.

BANCO BS2. Construção civil no Brasil se destaca: entenda as razões! Disponível em: [https://blog.bancobs2.com.br/construcao-civil-em-destaque/#:~:text=Constru%C3%A7%C3%A3o%20civil%20%C3%A9%20um%20setor,Ind%C3%BAstria%20da%20Constru%C3%A7%C3%A3o%20\(CBIC\).>](https://blog.bancobs2.com.br/construcao-civil-em-destaque/#:~:text=Constru%C3%A7%C3%A3o%20civil%20%C3%A9%20um%20setor,Ind%C3%BAstria%20da%20Constru%C3%A7%C3%A3o%20(CBIC).>). Acesso em: 10 fev. 2024.

CORREIA, E. A. S. Análise e Dimensionamento de Estruturas de Madeira. Porto: 2009.].

DO VALLE, A. ESTRUTURAS DE MADEIRA. Tese final de graduação—Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, set. 2012.

FLACH, R. S. ESTRUTURAS PARA TELHADOS: ANÁLISE TÉCNICA DE SOLUÇÕES. Monografia de final de curso—Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, jun. 2012.

LARANJEIRA, J. F. S. CONSIDERAÇÕES SOBRE ANÁLISE E DIMENSIONAMENTO DE ESTRUTURAS DE MADEIRA PARA HABITAÇÕES UNI E PLURIFAMILIARES. Dissertação de final de curso—Porto: Universidade do Porto, jun. 2009.

MARTHA, L. F. Ftool. Rio de Janeiro, 2018.

MELO, M. V. S. AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE SOLUÇÕES ESTRUTURAIS EM AÇO PARA TELHADOS COLONIAIS. Ouro Preto: Universidade Federal de Ouro Preto, 1 dez. 2011.

MIRANDA, L.; JOSÉ, P.; GIONGO, S. Concreto Armado Propriedades dos Materiais. São Carlos: Universidade de São Paulo, jan. 1986.

OLIVEIRA, L. A. DE. ESTRUTURA DE AÇO PARA TELHADO COLONIAL: ESTUDO DE CASO DE UMA EDIFICAÇÃO RESIDENCIAL DE MÉDIO PADRÃO. Monografia de final de curso—Ouro Preto: Universidade Federal de Ouro Preto, 4 set. 2023.

PRAVIA, Z. M. C. Visual Ventos 2.0. FEAR - Universidade de Passo Fundo, 2005.

ROMERO, F. ESTRUTURAS DE MADEIRA. Universidade Federal de Uberlândia, 2003.

SANTOS, M. DA S. ESTUDO COMPARATIVO DO CONCRETO ARMADO E DA MADEIRA EUCALIPTO CITRIODORA EM ELEMENTOS ESTRUTURAIS DE UMA RESIDÊNCIA UNIFAMILIAR. Dissertação de final de curso—Ouro Preto: Universidade Federal de Ouro Preto, 28 abr. 2021.

VARA, Â. F. F. Estudo Comparativo Entre Estruturas em Madeira e Estruturas em Betão Armado. Dissertação de mestrado—Evora: Universidade de Évora, 2015.