



**LUIZA COSTA AZEVEDO
SARAH CRISTINA DE LIMA**

**EDIFICAÇÃO RESIDENCIAL PARA IDOSOS COM ESTRUTURA EM
MADEIRA: PROPOSTA DE UM PROJETO**

**LAVRAS-MG
2021**

**LUIZA COSTA DE AZEVEDO
SARAH CRISTINA DE LIMA**

**EDIFICAÇÃO RESIDENCIAL PARA IDOSOS COM ESTRUTURA EM
MADEIRA: PROPOSTA DE UM PROJETO**

Monografia apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Engenharia Civil, para a obtenção do título de Bacharel.

Prof. Dr. André Luiz Zangiácomo
Orientador

**LAVRAS-MG
2021**

**LUIZA COSTA DE AZEVEDO
SARAH CRISTINA DE LIMA**

**EDIFICAÇÃO RESIDENCIAL PARA IDOSOS COM ESTRUTURA EM
MADEIRA: PROPOSTA DE UM PROJETO**

**TIMBER STRUCTURE RESIDENTIAL BUILDING FOR ELDERLY PEOPLE: A
PROJECT PROPOSAL**

Monografia apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Engenharia Civil, para a obtenção do título de Bacharel.

APROVADA em 23 novembro de 2021.
Dr. André Luiz Zangiácomo UFLA
Dra. Andréa Aparecida Ribeiro Correa UFLA
Dr. Rafael Santos de Moraes UFLA



Prof. Dr. André Luiz Zangiácomo
Orientador

**LAVRAS-MG
2021**

AGRADECIMENTOS

Agradecemos a nossas famílias e namorados pela paciência, suporte companheirismo e apoio;
Aos nossos amigos, por todo companheirismo em Lavras;
Ao nosso orientador, André Luiz Zangiacomo, por todos os ensinamentos e lições passadas;
A UFLA, por toda a infraestrutura e por ter sido o nosso lar nestes últimos anos e principalmente a Deus, que nos conduziu até aqui.

RESUMO

Este trabalho tem a finalidade de propor uma edificação concebida em madeira maciça da espécie Pinus Taeda na confecção de pilares, vigas, tesouras e terças, e vedação em painéis de OSB, e analisar seus principais elementos de acordo com suas propriedades resistentes com o auxílio dos softwares Visual Ventos® e Ftool®. A proposta da edificação é ser uma casa térrea para atender a um casal de idosos com a infraestrutura essencial para possíveis portadores de necessidades especiais. A concepção arquitetônica foi projetada a fim de proporcionar maior conforto aos moradores, garantindo entrada de sol, ventilação e conforto térmico. O local idealizado para a implantação do projeto foi a cidade de Valinhos – SP, devido à cidade rodear a região metropolitana de Campinas – SP, mas ainda apresentar características de cidade do interior. A aplicação da madeira aparente na estrutura se tornou parte da concepção arquitetônica, além de desempenhar satisfatoriamente como material estrutural, atendendo às verificações de segurança feitas.

Palavras chave: Concepção arquitetônica. População idosa. Conforto da habitação. Madeira. Concepção estrutural.

ABSTRACT

This work has the purpose of design a building conceived by solid timber of Pinus Taeda specie in the manufacture of columns , beams, trusses and purlins, and sealing in OSB panels, and analyzing it according to mechanical properties using VisualVentos® and Ftool® softwares. The idea of the building is to be a one-storey house for elderly couple with the ideal infrastructure for possible people with special needs. The architectural design was designed in order to consider greater comfort for residents, ensuring entry of sun, ventilation and thermal comfort. The idealized location for the implementation of the project was the city of Valinhos – SP, due to the city surrounding the metropolitan region of Campinas – SP, but still presenting its characteristics of an inland city. The use of timber structure became part of architectural design, in addition to performing satisfactorily as a structural material, taking into account the safety checks carried out.

Keywords: Architectural design. Elderly population. Housing comfort. Wood. Structural conception.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Gráfico da Projeção etária no Brasil.....	17
Figura 2 - Terreno situado na Avenida Invernada, Valinhos, SP.	19
Figura 3 - Layout da unidade tipo.....	20
Figura 4 - Esquema de carregamento permanente de uma terça.....	25
Figura 5 - Posições consideradas para a carga concentrada de manutenção.	27
Figura 6 - Esforços resultantes – Vento de sobrepressão.....	30
Figura 7 - Esforços resultantes – Vento de Sucção.....	31
Figura 8 - Arranjo da treliça.....	32
Figura 9 - Treliza I.....	38
Figura 10 - Treliza II.....	38
Figura 11 - Treliza I (novas seções).....	40
Figura 12 - Treliza II (novas seções)	40

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Peso específico dos materiais empregados na construção civil.	15
Tabela 2 -Consumo energético de diferentes materiais.	15
Tabela 3 - Coeficientes de condutividade térmica (λ) dos materiais.	16
Tabela 4 - Seções transversais - pré-dimensionamento	22
Tabela 5 - Peso próprio específico da madeira e da telha.	24
Tabela 6 - Carregamentos permanentes de cálculo nas terças.	30
Tabela 7. Valores de esforços críticos de cálculo das terças	31
Tabela 8 - Valores de carregamento de cálculo críticos da treliça.....	32
Tabela 9 - Valores de carregamentos críticos de cálculo do pilar	33
Tabela 10 - Valores médios de madeiras coníferas nativas e de florestamento.....	34
Tabela 11 - Valores de K_{mod}	34
Tabela 12 - Valores de cálculo da resistência para a <i>Pinus Taeda</i>	34
Tabela 13 - Tensões normais críticas - terças	36
Tabela 14 - Verificações das tensões normais	36
Tabela 15 - Tensões tangenciais críticas – terça	36
Tabela 16 - Verificação das flechas nos vãos	37
Tabela 17 - Índice de esbeltez das barras comprimidas da Treliça I	39
Tabela 18 - Índice de esbeltez das barras comprimidas da Treliça II.....	39
Tabela 19 – Índices de esbeltez com as novas seções.....	40
Tabela 20 - Barras comprimidas da Treliça I.....	41
Tabela 21 – Barra a-d Treliça II.....	41
Tabela 22 – Barra c-d Treliça II.....	41
Tabela 23 - Tensão na barra tracionada	42
Tabela 24 - Verificação da tensão tangencial – cisalhamento – vigas.....	42
Tabela 25 - Tensão atuante no pilar devido à compressão.	43
Tabela 26 - Tensão atuante no pilar devido à flexão	43
Tabela 27 - Tensão atuante no pilar devido à tração.....	43

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
1.1 Objetivo.....	11
1.2 Justificativa.....	11
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	13
2.1 Construções em madeira	13
2.2 Propriedades da madeira	14
2.3 Envelhecimento populacional no Brasil.....	16
3 CONCEPÇÃO ARQUITETÔNICA	19
3.1 Plano de necessidades	19
3.2 Projeto executivo	20
4 CONCEPÇÃO ESTRUTURAL	22
4.1 Pré – dimensionamento	22
4.2 Carregamentos	23
4.2.1 Ações permanentes.....	24
4.2.2 Ações variáveis	25
4.2.2.1 Ação do vento	25
4.2.2.2 Ação de manutenção	26
4.3 Combinação de esforços	27
4.3.1 Carregamento última normal	27
4.3.2 Estado Limite de Serviço	28
4.4 Esforços solicitantes	29
4.4.1 Terça.....	30
4.4.2 Treliça	31
4.4.3 Viga.....	32
4.4.4 Pilar	33
4.5 Resistência da madeira	33
4.6 Verificações.....	35
4.6.1 Terças	35
4.6.2 Treliça	38
4.6.3 Vigas	42
4.6.4 Pilares.....	42
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	44
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	45

APÊNDICE A– PROJETO EXECUTIVO.....	47
APÊNDICE B– DISPOSIÇÃO DOS ELEMENTOS ESTRUTURAIS	48
ANEXO A – TABELA DO FABRICANTE DA TELHA.....	50

1 INTRODUÇÃO

Do ponto de vista demográfico, envelhecimento é caracterizado pelo aumento na proporção da população a partir de 60 anos, para países em desenvolvimento, e de 65 anos para os desenvolvidos, em relação à população total. Moreira (2000), esse processo ocorre como consequência da queda da fecundidade, aliada ao aumento da expectativa de vida e à redução da mortalidade. Dessa forma, cada vez mais um olhar para essa crescente população será imprescindível, ainda mais por ser aquela que mais necessita de cuidados e condições especiais.

De acordo com a evolução desse segmento, questiona-se como acomodar as pessoas idosas de modo digno, confortável e seguro, considerando-se as restrições de renda, os preconceitos da sociedade e a falta de estruturas projetadas para essa finalidade.

A partir disso, define-se a importância de dimensionar habitações completas com espaços de lazer, saúde e segurança voltadas ao idoso. Quanto à unidade residencial, as características antropométricas do usuário idoso afirmam os cuidados a serem tomados relativos à acessibilidade, de modo a garantir conforto e segurança nesse ambiente particular

Analisando ainda aspectos construtivos relacionados à habitação, é importante definir um material com características a suprir esse conforto ao ambiente particular, mas sem deixar de analisar os aspectos de sustentabilidade. O setor da construção civil é considerado um dos setores que mais causam impacto ao meio ambiente.

Para caracterizar uma construção como sustentável, o Instituto para o Desenvolvimento de Habitação Ecológica (IDHE, 2017) estabelece alguns parâmetros necessários como: aproveitamento passivo dos recursos naturais, eficiência energética, gestão da obra, gestão e economia da obra, gestão de resíduos gerados pelos usuários, qualidade do ar e do ambiente interior, conforto termoacústico, uso de "eco produtos" em todas as instancias da obra, não utilizar ou reduzir materiais como PVC, amianto, chumbo e alumínio, entre outros produtos.

A madeira, por sua vez, é um material admirável pois, além de ser um material natural, sua fonte de matéria prima é renovável, gasta a menor energia embutida para a sua produção, permite o confinamento de carbono em seu interior, ajudando ainda na gestão dos gases do efeito estufa (GEE). A definição da Agenda-21, na "Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento" (ECO-92, 1992), destacou a aplicação da madeira na construção civil como uma das premissas para o desenvolvimento sustentável.

Entretanto, o potencial da madeira foi subestimado ao longo do tempo. Atualmente, a utilização da madeira em construções brasileiras se dá principalmente como estrutura de

cobertura e na execução de formas das estruturas de concreto armado (neste caso, quase sempre acaba sendo descartada antes da sua vida útil).

No Brasil, no século passado, as construções em madeira deixaram de ser utilizadas devido à tradição forte de construções em concreto armado e alvenaria. Elas ainda tinham força na região sul, principalmente com o uso de pinho do Paraná, uma vez que essa matéria prima na região era abundante. Porém, em 1905, o governo da cidade de Curitiba proibiu construções de casas de madeira na região central da cidade, fato que contribuiu ainda mais com este preconceito contra as estruturas de madeira (DUDEQUE, 2001).

Contudo, e apesar de um passado nada contribuinte, nota-se um movimento de retomada do emprego das estruturas de madeira em território nacional. Com o advento do desenvolvimento de produtos engenheirados, que empregam principalmente matéria-prima advinda de florestas plantadas, e com o incremento da consciência social da necessidade de redução da emissão de gases de efeito estufa, surgem indústrias que se propõem a atuar no segmento da construção civil empregando as estruturas de madeira.

Assim, o presente trabalho propõe um projeto de uma residência para pessoas idosas empregando principalmente a madeira no sistema construtivo, buscando aliar o atendimento às necessidades dos usuários ao emprego de um material com menor potencial agressor ao meio ambiente.

1.1 Objetivo

O objetivo do presente trabalho é propor uma habitação com estrutura de madeira voltada para a população idosa, que atenda suas demandas e necessidades especiais. Além do projeto arquitetônico, são feitas as verificações de segurança para os principais elementos estruturais.

1.2 Justificativa

O trabalho tem como justificativa o atendimento à população idosa, cujo crescente número de indivíduos se faz presente no Brasil. Uma qualidade de vida digna para as pessoas mais velhas pode começar com a adoção de moradias pensadas e adequadas para o bem estar desta faixa populacional.

Neste sentido, a proposta deste estudo é o projeto de uma edificação localizada perto de um grande centro urbano, com características que possam proporcionar uma qualidade de vida a usuários idosos.

O projeto proposto neste trabalho visa o emprego da madeira na construção de uma edificação, uma vez que apresenta características favoráveis ao seu emprego. Possui propriedades físicas e mecânicas adequadas a sistemas construtivos, é um material proveniente de florestas renováveis, que emprega energia solar na sua formação, e que estoca carbono, o que pode diminuir com os impactos ambientais causados pelo setor da construção civil.

Paralelamente, ao empregar a madeira como material de construção civil na edificação proposta, pode-se estar contribuindo para a redução da emissão de gases de efeito estufa na atmosfera (com destaque para os que contêm carbono em sua composição), podendo diminuir também as implicações ambientais relacionadas a gastos de energia na obtenção de produtos e à geração de resíduos, dentre outros.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Nesse capítulo é apresentado estudos e pesquisas já publicados que contribuíram com o presente trabalho. De início é abordado a madeira como material construtivo e suas propriedades. Em seguida é apresentado dados e estudos sobre o envelhecimento populacional no Brasil.

2.1 Construções em madeira

Graças ao desenvolvimento tecnológico, cada vez mais há novidades nas formas de construção, que empregam diversos tipos de materiais e sistemas construtivos, e suas escolhas dependem do tipo da edificação, da finalidade, além de procurar atender aos requisitos estruturais e econômicos e da localidade da construção.

Para Sabbatini (1989), o sistema construtivo pode ser entendido como um processo de construção altamente industrializado e organizado, com conjuntos de elementos que se interrelacionam e integram o processo.

No Brasil, o sistema mais empregado é o de alvenaria convencional, cuja estrutura é composta de lajes, vigas e pilares em concreto armado e por vedação (paredes) em blocos cerâmicos. De acordo com Santos (2013),” Esse sistema construtivo é o método construtivo mais utilizado e aceito na sociedade, e isso se deve a sua fácil utilização e facilidade de execução”.

Apesar da facilidade e maior conhecimento desse método de execução, esse sistema não corresponde ao mais sustentável ou até mesmo confortável ao usuário. Segundo a Sustainable Social Housinginitiative (2017), das Nações Unidas: “a construção civil é responsável por uma parte significativa do uso de energia global, consumo de recursos (mais de 30% em materiais e 20% em água), e pela geração de resíduos (30% dos sólidos e 20% das águas residuais). Além disso, o setor da construção civil é também a fonte de mais de 30% das emissões globais dos indesejados gases do efeito estufa (GEE).”

Outras formas de execução, como as que empregam madeira, podem: reduzir as cargas nas fundações, por ser um material de baixa densidade se comparado a outros convencionais; garantir maior conforto térmico ao usuário; e estocar carbono durante sua vida útil, dentre outras possibilidades. Araújo (2017) afirma que a madeira será o material do futuro. O autor explica que a atual utilização desordenada dos recursos naturais não renováveis, como o minério e o

petróleo, tem forçado e estimulado a busca por materiais mais sustentáveis, biodegradáveis e que diminuam os impactos negativos ao meio ambiente.

O uso da madeira na construção civil em países como Canadá e Estados Unidos já é consagrado. No Japão, as construções tradicionais utilizam madeira na sua estrutura e vedação, e atualmente há diversas empresas que fabricam casas em painéis de cimento-madeira. Outra vantagem marcante deste sistema construtivo é a rapidez com que é executado. Segundo Laroca (2002), “O tempo de construção de uma unidade habitacional no sistema construtivo pré-fabricado em madeira é de aproximadamente 1/3 do tempo de construção de uma casa em alvenaria”.

O Brasil, por sua vez, de acordo com Shimbo (1998): “apesar da oferta de madeira, das potencialidades de reflorestamento e de uma crescente demanda por moradias, o uso da madeira na produção de habitação é irrisório quando comparado com a América do Norte e alguns países da Europa”. No país, seu uso é direcionado principalmente para sistemas de cobertura de edifícios, ficando outros usos do material, como em vedação e em estruturas, como casos isolados, incapazes de constituírem um quadro representativo nacionalmente, uma vez que este tipo de construção ainda sofre certo preconceito, muitas vezes causado pelo desconhecimento do potencial técnico do material madeira.

2.2 Propriedades da madeira

As propriedades mecânicas da madeira são influenciadas por diversos fatores, sendo principalmente dependentes da densidade básica, da umidade e da presença de nós.

A densidade constitui uma das propriedades mais importantes da madeira, pois dela dependem a maior parte de suas propriedades, servindo até como referência para as classificações. Segundo Moreschi (2014), “a densidade é um reflexo fiel da quantidade de matéria lenhosa por unidade de volume ou, de forma inversa, do volume de espaços vazios existentes na madeira.” A Tabela 1 contém os pesos específicos de alguns materiais empregados na construção civil.

Tabela 1 – Peso específico dos materiais empregados na construção civil.

MATERIAL	PESO ESPECÍFICO (Kg/m³)
Madeira	500 a 1000
Concreto armado	2500
Tijolo maciço	1800
Aço	7850
Vidro	2600

Fonte: NBR 6120 (ABNT, 2021).

Como mostrado na Tabela 1, a madeira é um material que apresenta baixa densidade quando comparada a outros materiais de construção. Apesar disso, possui elevados valores de resistência mecânica (algumas espécies possuem resistência à compressão acima de 60 MPa), o que a torna um material considerado leve e de alta resistência.

Quanto à rigidez, as madeiras de resistências mecânicas mais elevadas podem apresentar valor de módulo de elasticidade na compressão equivalente ao do concreto, ou seja, em torno de 24 GPa.

Analisando o ponto de vista energético, a madeira é um material de baixo consumo de produção, principalmente se comparado aos demais materiais utilizados na construção civil. A Tabela 2 ilustra o comparativo do consumo energético na produção de diversos materiais.

Tabela 2 -Consumo energético de diferentes materiais.

Material	kWh/kg	kwh/m³
Madeira serrada	0,7	350
Madeira laminada colada	2,4	1200
Cimento	1,4	1750
Concreto	0,3	700
Tijolo	0,8	1360
Aço	5,9	46000
Plástico/PVC	18	24700
Alumínio	52	141500

Fonte: Oliveira, 1998.

Outra vantagem apresentada pela madeira é a capacidade de apreensão de carbono em seu interior. Segundo Carvalho (2005), “A quantidade de carbono apreendida está diretamente ligada com a quantidade de madeira utilizada, sendo que ela corresponde à metade da massa da madeira”.

A madeira, além disso, possui uma ótima condição térmica, que é capaz de manter a temperatura do ambiente por mais tempo, graças à sua baixa condutividade térmica. A Tabela 3 ilustra um comparativo dos coeficientes de condutividade térmica (λ) dos materiais utilizados na construção civil.

Tabela 3 - Coeficientes de condutividade térmica (λ) dos materiais.

Material	λ (W/mK)
Concreto	1,5
Tijolo	0,65
Madeira com massa específica elevada	0,29
Compensado	0,15
Carvalho, Ipê, Pinho, Cedro, Pinus	0,15
Aglomerado	0,14
Poliestireno expandido	0,03

Fonte: Lamberts, 1996.

Desta forma, fica claro que a madeira pode permitir um conforto térmico mais vantajoso perante construções por sistemas convencionais.

2.3 Envelhecimento populacional no Brasil

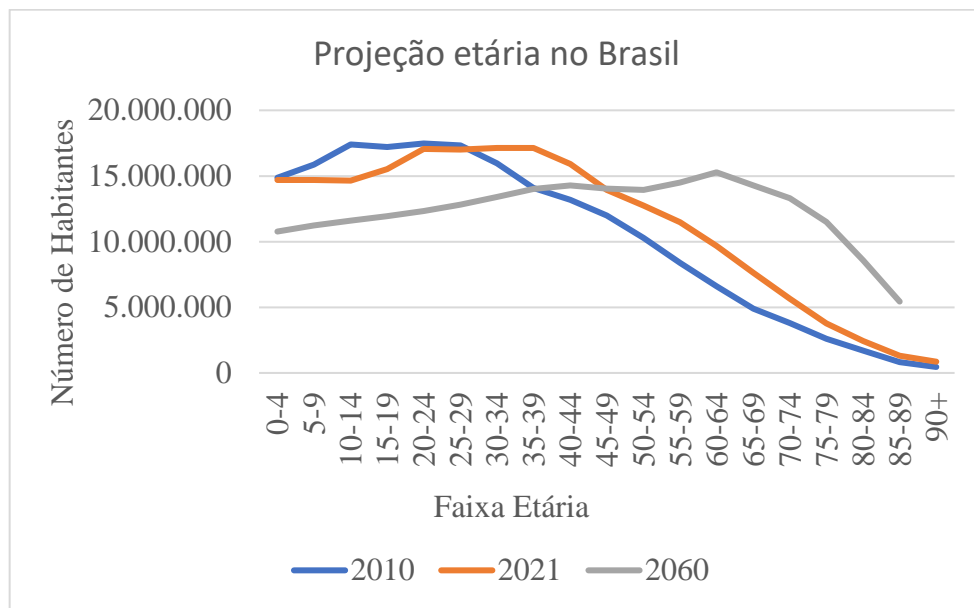
O envelhecimento da população é um tema que vem sendo abordado e atentado constantemente, uma vez que sua evolução gradativa influencia no cenário econômico, social e cultural do país.

De acordo com Nasri (2008) "O processo de envelhecimento populacional do Brasil é determinado na medida que a proporção de idosos aumenta em relação a diminuição da proporção de jovens. Esse fenômeno vem ocorrendo ao longo dos anos e pode ser observado em vários contextos históricos de industrialização e melhoria no saneamento básico, o que aumenta a expectativa de vida."

Entre 1940 e 1960, graças à melhoria de saúde pública, o Brasil observou um declínio significativo na taxa de mortalidade, resultando numa população quase estável e com rápido crescimento. A partir de 1960, o Brasil experimentou um declínio considerável na taxa de fecundidade, desencadeando um processo de transição na estrutura etária. Segundo Carvalho (2003), esse fato resultará em uma população estável, porém idosa e com uma taxa de crescimento baixa.

O Gráfico 1 ilustra as projeções obtidas através de dados fornecidos pelo IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, para os anos de 2010, 2021 e 2060 (IBGE, 2018). De acordo com os dados, a população de 5 a 9 anos no ano de 2060 será cerca de 30% menor quando comparada com a mesma faixa do ano de 2010. Já as faixas de população acima de 65 anos, no mesmo intervalo de anos, sofrerão um acréscimo de praticamente 200%.

Figura 1. Gráfico da Projeção etária no Brasil.



Fonte: Das Autoras, a partir de dados do IBGE (2021).

Apesar do aumento da longevidade da população com a industrialização, ela nem sempre vem acoplada com uma melhor qualidade de vida. Graças à acelerada dinâmica migratória interna, grande parte da população e das atividades econômicas passou a se concentrar nos principais centros urbanos, e nos grandes aglomerados metropolitanos. Entretanto, a infraestrutura destas cidades não conseguiu acompanhar este fenômeno.

Para Richardson (1980), os maiores desafios encontrados pelos centros urbanos são o aumento da criminalidade e da marginalidade, elevação no preço médio da terra (que passa a sofrer concorrência entre usos alternativos de solo) e do trabalho (aumento do custo de vida devido aos custos crescentes de transporte e habitação, explicados em parte pelas altas do preço da terra).”

Em decorrência das consequências da polarização, se vê grande parte da população habitando em locais mal projetados, com pouco espaço, má iluminação, ventilação deficiente e condicionantes precários para uma qualidade de vida e saúde satisfatória.

É conhecida como edifício enfermo: patologia catalogada pela OMS (Organização Mundial da Saúde) no início da década de 1980, cuja ocorrência se dá em prédios e edifícios com má ventilação e baixa dispersão de poluentes internos (gás carbônico, fumaça de cigarro e automóvel, emissão e acúmulo de compostos orgânicos voláteis). (ARAÚJO, 2008, p. 32).

Considera-se que um edifício está “enfermo” quando cerca de 20% de seus moradores ou usuários apresentam sintomas como: irritação nasal e ocular, problemas respiratórios e mal-estares em geral. Por esses motivos, a busca pela despolarização destes centros está cada vez mais em alta.

“A migração pode responder claramente aos fatores de expulsão do meio urbano (notadamente aos custos de moradia e à escassez de emprego), mas pode também se associar a outro grupo de causas, não econômicas, relacionadas à melhoria da qualidade de vida e/ou busca de amenidades, e ao retorno às localidades de origem após a aposentadoria. (MATOS, 2004, p.44).

Regiões periféricas aos polos demográficos são bastante visados para tais fins, uma vez que ainda apresenta proximidade com as regiões, entretanto, dispõe de uma melhor qualidade de vida, segurança e preços mais baixos referentes ao custo de vida.

3 CONCEPÇÃO ARQUITETÔNICA

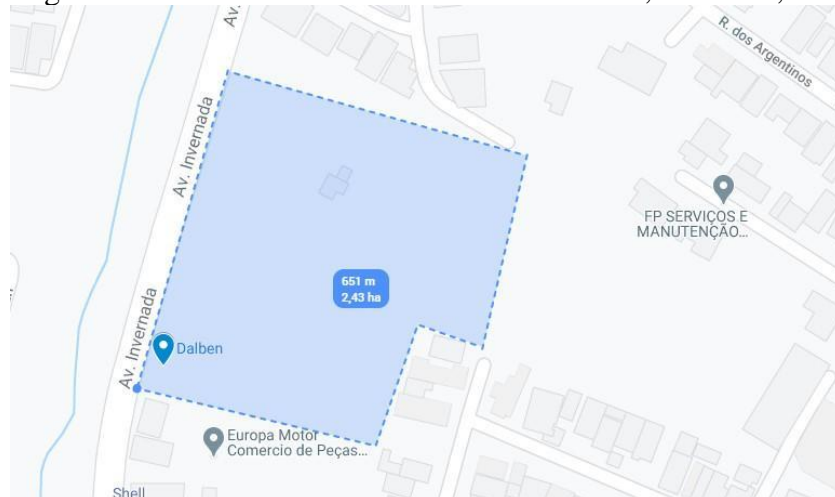
São descritos nesse capítulo o plano de necessidades bem como o terreno escolhido. Em seguida é exposto o projeto executivo atendendo as demandas citadas previamente.

3.1 Plano de necessidades

A edificação proposta situa-se em um condomínio residencial pensado para idosos que precisam ou querem ter os cuidados de uma casa de repouso. A iluminação natural e a ventilação nos cômodos são pontos importantes para conforto dos moradores das unidades, bem como a garantia de acessibilidade.

Foi escolhido um terreno em Valinhos SP, localizada na região metropolitana de Campinas -SP. Sua população segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e estatística (IBGE, 2019) é de 129 193 habitantes. O terreno possui 2,43 ha, que são equivalentes a 24.300 m², distribuídos conforme mostra a Figura 2.

Figura 2 - Terreno situado na Avenida Invernada, Valinhos, SP.



Fonte: Google Maps adaptado (2021).

A Figura 3 exhibe o layout criado no software SketchUp® para atender as necessidades de um idoso ou um casal de idosos.

Figura 3 - Layout da unidade tipo.



Fonte: Das autoras (2021).

Cada unidade tipo é composta por cozinha com um balcão para refeições rápidas, sala de jantar com uma mesa para 6 pessoas e uma sala de tv integradas, um quarto de hóspedes com duas camas de solteiros para receber família e amigos, banheiro social, e suíte com cama de casal, closet e banheiro amplo para os moradores.

Os ambientes foram desenvolvidos atendendo às dimensões previstas NBR 9050 – Acessibilidade A Edificações, Mobiliário, Espaços E Equipamentos Urbanos (ABNT, 2020) visando garantir apenas pequenas modificações na residência caso o idoso apresente tal necessidade especial.

3.2 Projeto executivo

O projeto executivo da unidade tipo foi desenvolvido utilizando o software Autocad® a partir do layout definido para atender o plano de necessidades, e encontra-se no APÊNDICE A.

Em relação à ventilação do ambiente, Bianchi (2013) sugere utilizar uma ventilação cruzada permanente, que irá renovar o ar, evitando a proliferação de bactérias em grandes quantidades.

Segundo Hazin (2012), a luz natural é muito importante para os idosos, trazendo benefícios fisiológicos e psicológicos, e por essa razão todos os cômodos possuem ao menos uma janela. Na sala, optou-se por deixar o telhado aparente com vedações em vidro sobre a

parede que acompanham a inclinação do telhado, aumentando assim a claridade do ambiente. Na cozinha, a janela foi posicionada logo acima da bancada garantindo melhor luminosidade para o preparo dos alimentos.

Para a vedação foram escolhidos painéis em wood frame que possuem resistência mecânica e à umidade. Eles são produzidos com madeira menos nobre, por isso tem um custo menor, entretanto esse fato não diminui sua qualidade, pois o que determina seu desempenho é a tecnologia de produção. Sua estrutura possui um arranjo composto por três a cinco camadas de partículas ou feixes de fibras, unidas com resina fenólica, orientadas em ângulo de 90 graus umas com as outras e para sua consolidação são prensadas (FERREIRA, 2003).

Observando os critérios e parâmetros técnicos dispostos) na norma de acessibilidade NBR 9050 (ABNT, 2020), todas as portas tem pelo menos 0,80 m de vão luz, o corredor que dá acesso ao aos quartos e banheiro social tem largura igual a 1,0 m, a circulação dentro da suíte respeita as dimensões mínimas descritas na NBR 9050 (ABNT, 2020) e o banheiro da suíte possui área de manobra para rotação 360°, e box de chuveiro com 1,50 m x 0,90 m.

É importante ressaltar que não foram considerados todos os acessórios necessários para um cadeirante, já que essa não é, necessariamente, a condição do morador, mas o layout foi pensado para que, caso necessário, a adaptação seja simples.

4 CONCEPÇÃO ESTRUTURAL

Após a elaboração do projeto executivo, foi feita uma análise dos carregamentos que incidem na edificação e em seguida a verificação de segurança para as peças estruturais.

4.1 Pré – dimensionamento

A espécie escolhida para a estrutura é o *Pinus taeda*, do grupo das coníferas. De origem norte americana, é uma das espécies que mais se adaptou em solo brasileiro e abrange aproximadamente um milhão de hectares no planalto da Região Sul do Brasil, segundo a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária a (EMBRAPA, 2020). O *Pinus taeda* também se destaca pelo fato de seu crescimento ser 30% maior do que as demais espécies de reflorestamento (TOMAZELLO FILHO et al., 2017 citado por SILVA, 2020).

A Tabela 4 apresenta as seções transversais escolhidas para cada peça. Posteriormente neste capítulo são apresentadas as verificações de segurança de acordo com a NBR 7190 – Projeto de estruturas de madeira (ABNT, 1997).

Tabela 4 - Seções transversais - pré-dimensionamento

PEÇA	DIMENSÃO (cm)
Terça	6 X 12
Treliça	6 X 12
Viga	6X16
Pilar	16X16

Fonte: Das autoras (2021)

A escolha da seção transversal foi baseada nas dimensões comerciais disponíveis no mercado, respeitando também o definido na NBR 14807 - Peças De Madeira Serrada (ABNT, 2002).

A cobertura neste trabalho é definida como a principal componente estrutural a ser estudada. Define-se como cobertura toda a estrutura superior da edificação com função de proteger contra intempéries externas gerando maior conforto térmico e acústico. Cardão (1981) afirma que a cobertura “deverá apresentar propriedades isolantes, principalmente de isolamento

térmico, para que possa ser atingido o máximo de comodidade e conforto no interior da edificação”.

No presente trabalho, apresenta-se como cobertura a estrutura composta de telhas de alumínio distribuídas ao longo de toda a área a ser coberta, 5 terças igualmente distribuídas e apoiadas sobre 5 treliças que, por sua vez, descarregam os esforços em pilares dispostos no entorno da lateral da edificação. Entre os pilares, posicionam-se vigas que auxiliam no travamento destes. No APÊNDICE B pode ser observada a distribuição dos componentes.

4.2 Carregamentos

A concepção estrutural deve ser realizada baseando-se no propósito da edificação, nas suas características arquitetônicas, respeitando a distribuição de cômodos e, sobretudo, garantindo interação da estrutura até o solo. Segundo Pinheiro (2003), “a concepção estrutural, ou simplesmente estruturação, também chamada de lançamento da estrutura, consiste em escolher um sistema estrutural que constitua a parte resistente do edifício”.

Essa etapa, uma das mais importantes no projeto estrutural, implica em escolher os elementos a serem utilizados e definir suas posições, de modo a formar um sistema estrutural eficiente, capaz de absorver os esforços oriundos das ações atuantes e transmiti-los ao solo de fundação. A solução estrutural adotada no projeto deve atender aos requisitos de qualidade estabelecidos nas normas técnicas, relativos à capacidade resistente, ao desempenho em serviço e à durabilidade da estrutura.

De acordo com Pinheiro (2003), “o sistema estrutural de um edifício deve ser projetado de modo que seja capaz de resistir não só às ações verticais, mas também às ações horizontais que possam provocar efeitos significativos ao longo da vida útil da construção”.

As ações verticais, divididas entre variáveis e permanentes, são compostas pelo peso próprio da estrutura, bem como a de todos os revestimentos e elementos de vedação e cargas pontuais acidentais, carregamentos oriundos de ações acidentais. De acordo com a NBR 8681 (ABNT, 2003), ações acidentais “são as ações variáveis que atuam nas construções em função de seu uso (pessoas, mobiliário, veículos, materiais diversos etc.).”

Já as ações horizontais, onde não há ocorrência de abalos sísmicos, constituem-se, basicamente, da ação do vento e do empuxo em subsolos, quando considerados.

O trajeto das ações verticais inicia-se nas telhas que, uniformemente se distribuem nas terças, de acordo com as áreas de influência. As terças, por sua vez, são apoiadas nas treliças, que descarregam seus carregamentos diretamente sob os 5 pilares igualmente distribuídos na

estrutura. A viga, por fim, apresenta a função apenas de travamento desses pilares e da estrutura como um todo.

Nas verificações, caso o elemento estrutural não suporte as tensões solicitadas, se faz necessário alguma mudança, seja na seção transversal da peça, seja no posicionamento dos apoios e, logo após, garantir que o novo rearranjo suporte então, as solicitações. A fim de ilustrar todo o processo de cálculo, no presente trabalho foram inicialmente mostrados todos os carregamentos e logo após, todas as verificações.

4.2.1 Ações permanentes

Considera-se como ação permanente toda carga que solicitará a estrutura ao longo de toda sua vida útil. De acordo com Pinheiro (2003) “As ações permanentes são aquelas que ocorrem com valores constantes ou com pequena variação em torno da média, durante praticamente toda a vida da construção.” No presente trabalho, foi denominado como ação permanente o peso próprio da madeira *Pinus taeda* e da telha sanduíche de alumínio, de acordo com a NBR 7190 – Projetos de Estruturas em Madeira (ABNT, 1997) e a tabela do fabricante (Anexo I), respectivamente.

Considerando a estrutura em um plano inclinado, decorrente da inclinação de 12% do telhado, para a verificação das terças se faz imprescindível realizar a decomposição de forças referentes aos pesos próprios da terça e da telha. Vale ressaltar que, ao configurar o arranjo das combinações de ações para analisar as solicitações, é de extrema importância analisar, separadamente, as cargas verticais e horizontais. Desta forma, são obtidos valores para cada uma das direções. A Tabela 5 apresenta os valores dos pesos próprios específicos da madeira e da telha empregada.

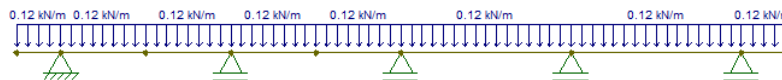
Tabela 5 - Peso próprio específico da madeira e da telha.

MATERIAL	Q_r	UNID
Pinus taeda	6,33	kN/m ³
Telha alumínio	0,056	kN/m ²

Fonte: Das autoras (2021)

De acordo com as condições preliminares de seção transversal e posicionamento da estrutura, é possível determinar a carga do peso próprio distribuído. A Figura 4 mostra o esquema de carregamento de uma terça sob a ação do peso próprio e da telha.

Figura 4 - Esquema de carregamento permanente de uma terça



Fonte: Das autoras (2021)

4.2.2 Ações variáveis

As ações variáveis, são aquelas que solicitam a estrutura de maneira não permanente, com intensidades e períodos de duração que podem sofrer alterações., elas são subdivididas em ações variáveis normais, onde se apresentam em uma probabilidade maior; e ações variáveis especiais, mais raras de ocorrer.

Como disposto na NBR 8681 (ABNT, 2003):

"Ações variáveis normais: ações variáveis com probabilidade de ocorrência suficientemente grande para que sejam obrigatoriamente consideradas no projeto das estruturas de um dado tipo de construção; ações variáveis especiais: nas estruturas em que devam ser consideradas certas ações especiais, como ações sísmicas ou cargas acidentais de natureza ou de intensidade especiais, elas também devem ser admitidas como ações variáveis. As combinações de ações em que comparecem ações especiais devem ser especificamente definidas para as situações especiais consideradas."

Descritas no presente trabalho, as ações variáveis consideradas são a ação do vento e a carga acidental proveniente de provável manutenção nas telhas e na estrutura do telhado como um todo.

4.2.2.1 Ação do vento

A ação do vento se torna indispensável de analisar uma vez que ela pode apresentar uma relação favorável ou desfavorável à estrutura, necessitando, assim, garantir que esta seja projetada para ambas as condições. De acordo com Silva (1996) "A força global do vento sobre uma edificação (F_g), ou parte dela, é obtida pela soma vetorial das forças do vento que aí atuam". Para determinar tal força, é importante reconhecer a força de arrasto, que é a componente da força global em direção ao vento, sendo obtida pela equação 4.1, apresentada pela NBR 6123 (ABNT, 1988).

$$F = C_a * q_w * A \quad (1)$$

Onde:

C_a = coeficiente de arrasto;

q_w = pressão de obstrução;

A = área da superfície perpendicular à direção do vento.

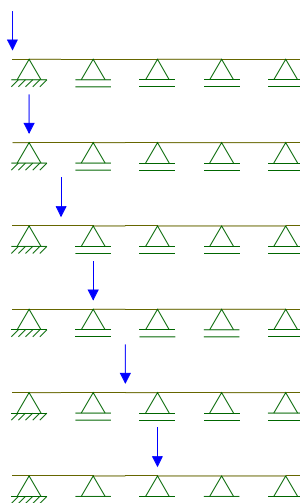
O coeficiente de arrasto (C_a) da Equação 1, para edificações de forma retangular é determinado por meio das Figuras 4 ou 5 da NBR 6123 (ABNT, 1988), para ventos de baixa e alta turbulência, considerando condições permeáveis de acordo com a posição do vento. Nestes gráficos, os coeficientes de arrasto dependem das dimensões da edificação. Para edificações com outras formas, os coeficientes de arrasto são fornecidos na Tabela 10 da mencionada norma técnica.

4.2.2.2 Ação de manutenção

De acordo com a NBR 6120 (ABNT, 2019) “Todo elemento isolado de coberturas (ripas, terças e barras de banzo superior de treliças) deve ser projetado para receber, na posição mais desfavorável, uma carga vertical de 1 kN, além da carga permanente.” Essa condição se dá devida ao peso próprio de uma pessoa realizando uma manutenção ou instalação da estrutura. É importante considerá-la, uma vez que ela se enquadra dentro das condições de carregamento variável com alta probabilidade de ocorrência.

Ainda mantendo uma visão conservadora, a carga acidental de manutenção é disposta em locais críticos à estrutura, visando analisar o desempenho da mesma em suas condições de máxima sollicitação. Desta forma, a análise se dá posicionando a carga sobre os apoios e também ao centro do vão livre, promovendo assim, máximo esforço de cisalhamento, máximo momento fletor, e máximo deslocamento (flecha), respectivamente. Para o presente trabalho, foram consideradas 6 possíveis posições críticas para a análise das reações e esforços solicitantes, como mostra a seta azul indicada em cada uma das configurações da Figura 5.

Figura 5 - Posições consideradas para a carga concentrada de manutenção.



Fonte: Das autoras (2021).

4.3 Combinação de esforços

Um carregamento de cálculo é determinado pela combinação das ações que têm probabilidades não desprezíveis de atuarem simultaneamente sobre a estrutura, durante um período preestabelecido. De acordo com a NBR 8681 (ABNT, 2003): “Para a verificação da segurança em relação aos possíveis estados limites, para cada tipo de carregamento devem ser consideradas todas as combinações de ações que possam acarretar os efeitos mais desfavoráveis nas seções críticas da estrutura.”

4.3.1 Carregamento última normal

A NBR 8681 (ABNT, 2003) caracteriza:

“As ações permanentes são consideradas em sua totalidade. Das ações variáveis, são consideradas apenas as parcelas que produzem efeitos desfavoráveis para a segurança. As ações variáveis móveis devem ser consideradas em suas posições mais desfavoráveis para a segurança. (...) As ações incluídas em cada uma destas combinações devem ser consideradas com seus valores representativos, multiplicados pelos respectivos coeficientes de ponderação das ações.”

Considerando a solicitação mais crítica para a verificação dos componentes estruturais, a análise deste trabalho seguirá uma combinação do estado limite último da estrutura, normatizado de modo que as ações permanentes devem ser sempre consideradas nas combinações.

Já as ações variáveis, determina-se que uma delas seja considerada principal, com seu valor característico F_k , e as demais se tornam secundárias, admitindo-se que elas atuem com seus valores reduzidos de combinação $\psi_0 F_k$. O carregamento de cálculo com as ações combinadas pode ser obtido com o emprego da Equação 2.

$$F_d = \sum_{i=1}^m \gamma_{gi} * F_{Gi,k} + \gamma_q \left[F_{Q1,k} + \sum_{j=2}^n \psi_{0j} F_{Qj,k} \right] \quad (2)$$

Onde $F_{Gi,k}$ é o valor característico das ações permanentes, $F_{Q1,k}$ é o valor característico da ação variável considerada como ação principal para a combinação, $\psi_{0j} F_{Qj,k}$ é o valor reduzido de combinação de cada uma das demais ações variáveis. Os valores de tais coeficientes são especificados nas Tabelas 1, 5 e 6 da NBR 8681 (ABNT, 2003).

Neste estudo estão sendo consideradas 4 condições a serem combinadas para cada uma das 3 terças: cargas desfavoráveis e cargas favoráveis nos dois planos de atuação.

Como se torna necessário a combinação nos dois planos e apenas a carga do peso próprio e carga de manutenção se enquadra no plano horizontal, há apenas uma combinação possível. Em condição específica na terça 3, que apresenta contribuição decomposta nos dois sentidos do plano horizontal, essa solicitação acaba sendo anulada, uma vez que ocorre uma compensação de solicitação.

4.3.2 Estado Limite de Serviço

Quando uma estrutura está submetida a carregamentos, seus componentes irão sofrer deformações e deslocamentos. Apesar de a estrutura ser capaz de garantir as condições para a não ruptura, muitas vezes as solicitações causam deslocamentos que afetam o conforto sensorial do usuário. Segundo a NBR 8681 (ABNT, 2003): “O Estado Limite de Serviço (ELS) está relacionado com a comodidade do usuário, durabilidade, aspecto e uso de uma estrutura”

As dimensões que compõem as peças da estrutura afetam diretamente os deslocamentos, pois, quanto maior a altura útil da seção transversal de um elemento submetido à flexão, maior será sua inércia, e desta forma maior será a dificuldade de deformação.

A combinação de esforços para verificação nos Estados Limites de Serviço está preconizada na NBR 7190 (ABNT, 1997). A combinação quase permanente pode descrita pela Equação 3.

$$F_d = \sum_{i=1}^m F_{Gk,i} + \left[\sum_{j=2}^n \psi_{2j} F_{Qk,j} \right] \quad (3)$$

Onde $F_{Gk,i}$ é o valor característico das ações permanentes, $F_{Qk,j}$ é o valor característico das ações variáveis considerada para a combinação e ψ_{2j} é o coeficiente de redução da combinação das ações variáveis. Os valores de tais coeficientes são especificados nas Tabelas 1, 5 e 6 da NBR 8681 (ABNT, 2003).

Assim como na combinação última normal, há 4 combinações a serem realizadas, sendo 2 no plano vertical considerando ações favoráveis e desfavoráveis a estrutura e as outras 2 no plano horizontal fazendo as mesmas considerações.

4.4 Esforços solicitantes

A partir das combinações dos carregamentos que incidem sobre a estrutura é possível calcular os esforços solicitantes em cada peça que compõe o sistema.

4.4.1 Terça

A terça é um componente do telhado composta de peças de madeira colocadas horizontalmente e apoiadas sobre treliças, pontaletes ou ainda sobre paredes, funcionando como sustentação dos caibros ou diretamente de telhas.

Para as predefinições descritas no item 4.1 deste capítulo, e com base em áreas de influência que podem ser obtidas por meio de análise da planta disposta no APÊNDICE B, são obtidos os carregamentos distribuídos permanentes nas terças (TABELA 6).

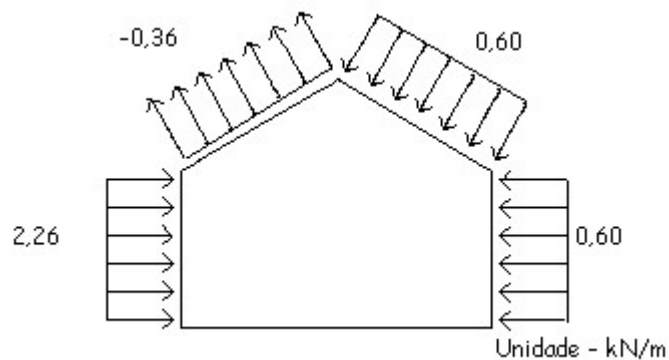
Tabela 6 - Carregamentos permanentes de cálculo nas terças.

TERÇA	PESO PRÓPRIO TELHA		PESO PRÓPRIO TERÇA	
	Contribuição (m)	Ação permanente (kN/m)	Área (m ²)	Ação permanente (kN/m)
Terça 01	1,35	0,075	0,0072	0,045
Terça 02	2,7	0,151	0,0072	0,045
Terça 03	2,7	0,151	0,0072	0,045

Fonte: Das autoras (2021)

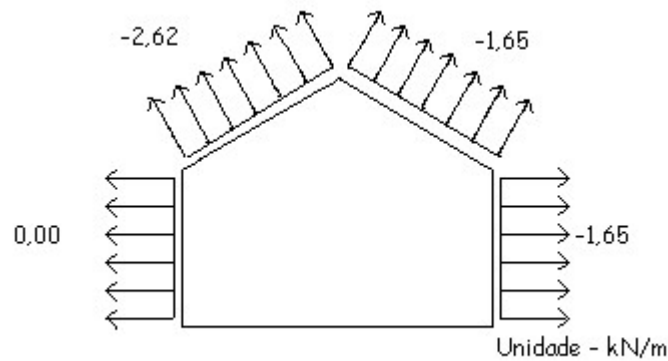
Considerando os carregamentos variáveis oriundos da ação do vento e levando em conta o pior caso, mantendo uma abordagem conservadora, as Figuras 6 e 7 ilustram os resultados obtidos através da combinação de esforços do vento calculados pelo software Visual Ventos[®] para vento de sobrepressão e de sucção, respectivamente.

Figura 6 - Esforços resultantes – Vento de sobrepressão.



Fonte: Visual Ventos[®] (2021)

Figura 7 - Esforços resultantes – Vento de Sucção.



Fonte: Visual Ventos® (2021)

Assim como mostrado nas figuras anteriores, a ação do vento incide de maneira perpendicular ao plano de inclinação do telhado, solicitando a terça em sua maior inércia.

Seguindo as condições supracitadas de pré-dimensionamento e carregamentos, as terças deverão ser capazes de resistir as condições máximas de tensão nas duas direções principais de inércia, conforme explicita a Tabela 7.

Tabela 7. Valores de esforços críticos de cálculo das terças

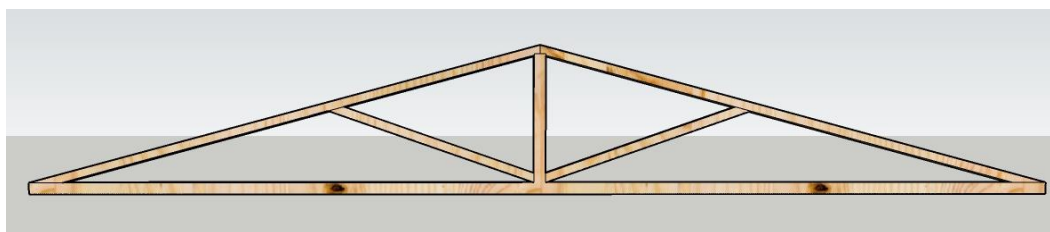
EIXO	TIPO DE ESFORÇO	TERÇA 01	TERÇA 02	TERÇA 03
Vertical	Cisalhamento - kN	7,6	7,2	8,1
	Momento - kNm	2,7	2,5	2,9
Horizontal	Cisalhamento - kN	0,5	2,2	0
	Momento - kNm	0,3	1,3	0

Fonte: Das autoras (2021)

4.4.2 Treliça

Segundo Moliterno (2002), a treliça é denominada como a “(...)viga principal ou vigamestra, que serve para transferir o carregamento do telhado aos pilares ou paredes da edificação.” Há inúmeras possibilidades de arranjo dos componentes da treliça, considerando algumas distribuições mais usuais. Comumente a treliça desenvolvida com madeira é chamada de tesoura. A treliça que se refere ao arranjo de acordo com o presente trabalho é definida na Figura 8.

Figura 8 - Arranjo da treliça.



Fonte: Das autoras (2021).

A fim de resistir ao carregamento advindo das terças e o peso próprio da estrutura, a Tabela 8 ilustra as tensões críticas a serem resistidos.

Tabela 8 - Valores de carregamento de cálculo críticos da treliça.

TIPO DE ESFORÇO	CARREGAMENTO (kN)
Tração	39,50
Compressão	41,30

Fonte: Das autoras (2021)

Após a análise da treliça no Ftool[®], foram obtidos os máximos esforços nas barras, que são indicados na Tabela 8. Pela treliça ser uma estrutura reticulada em que todas as ligações entre barras são articuladas (as barras podem girar independentemente nas ligações), e devido às cargas serem aplicadas em seus nós, a força de cisalhamento e o momento fletor podem ser desconsiderados.

4.4.3 Viga

Neste projeto, a viga é um componente estrutural com objetivo de garantir o travamento da estrutura, uma vez que ela cria um sistema de pórtico com os pilares.

Não há carregamentos transversais solicitando as vigas, a não ser seu peso próprio. Como a madeira é um material que apresenta baixa densidade, para as seções adotadas o carregamento permanente é muito pequeno.

Apesar de estar sendo usada apenas como travamento, as solicitações axiais também são pequenas, pois o sistema de vedação em woodframe garantem um contraventamento eficiente, sendo responsável por absorver grande parcela das solicitações horizontais.

Desta forma, a verificação das vigas como elemento fletido ou de travamento axial foi dispensada.

4.4.4 Pilar

A função predominante do pilar é transmitir os esforços da estrutura para a fundação da edificação. A Tabela 9 contém os carregamentos de cálculo mais críticas em um pilar do projeto considerando as reações de apoio da treliça e o peso próprio das vigas.

Tabela 9 - Valores de carregamentos críticos de cálculo do pilar

Tipo de esforço	Carregamento (kN)
Tração	16,81
Compressão	18,08

Fonte: Das autoras (2021)

Além das condições de esforços normais a serem resistidos, é necessário garantir que a peça não sofra flambagem, uma vez em que ela pode se apresentar como medianamente esbelta ou esbelta.

4.5 Resistência da madeira

O Método dos Estados Limites foi o critério adotado para o dimensionamento da estrutura. Caracteriza-se como Estado Limite Último quando sua ocorrência determina a paralisação do uso da construção, podendo ser no todo ou em parte, e Estado Limite de Utilização quando sua ocorrência, repetição ou duração causam efeitos estruturais que não respeitam as condições especificadas para o uso normal da construção, ou que são indícios de comprometimento da durabilidade da construção, causando desconforto no usuário NBR7190 (ABNT, 1997).

Os valores de cálculo da resistência em E.L.U. são obtidos a partir da Equação 4.

$$f_{wd} = K_{mod} * \frac{f_{wk}}{\gamma_w} \quad (4)$$

Em que:

f_{wd} : Valor de cálculo da resistência (MPa)

K_{mod} : coeficiente de modificação

f_{wk} : Valor característico da resistência (MPa)

γ_w : coeficiente de ponderação

Em relação às propriedades mecânicas da madeira, foram adotados os valores contidos no Anexo E da NBR 7190 (ABNT, 1997) e mostrados na Tabela 10.

Tabela 10 - Valores médios de madeiras coníferas nativas e de florestamento

Nome comum	Nome científico	f_{c0} (MPa)	f_{t0} (MPa)	f_v (MPa)	E_{c0} (MPa)
<i>Pinus taeda</i>	<i>Pinus taeda L.</i>	44,4	82,8	7,7	13 304

Fonte: NBR 7190 (ABNT,1997).

O coeficiente de modificação (K_{mod}) foi calculado considerando a classe de carregamento como de longa duração, classe de umidade (1) para madeira laminada colada, conforme NBR 7190 (ABNT,1997).

A Tabela 11 contém os valores de K_{mod1} , K_{mod2} , K_{mod3} obtidos no documento normativo e o K_{mod} geral calculado.

Tabela 11 - Valores de K_{mod} .

K_{mod1}	K_{mod2}	K_{mod3}	K_{mod}
0,7	1	0,8	0,56

Fonte: NBR 7190 (ABNT,1997).

De acordo com NBR 7190 (ABNT, 1997), o coeficiente de ponderação varia dependendo da natureza das tensões. Para compressão paralela às fibras tem o valor básico de 1,4. Enquanto que para tensões de cisalhamento e tração paralela às fibras tem o valor igual a 1,8. A Tabela 12 apresenta os valores de cálculo das resistências obtidos a partir da Equação 4.

Tabela 12 - Valores de cálculo da resistência para a *Pinus Taeda*

	f_{c0}	f_{t0}	f_v	E_{c0}
Valor médio (MPa)	44,4	82,8	7,7	13304
Valor Característico (MPa)	31,08	57,96	5,39	13304
Valor de cálculo da resistência (MPa)	12,432	18,032	1,6769	7450,24

Fonte: Das autoras (2021)

4.6 Verificações

Nesse tópico são apresentadas as verificações de segurança para as peças estruturais seguindo as orientações da NBR 7190 – Projetos de estrutura de madeira (ABNT,1997).

4.6.1 Terças

As terças são peças que sofrem flexão oblíqua. A verificação, segundo a NBR 7190 (ABNT,1997), considera a condição mais desfavorável para a compressão paralela e para tração dentre as seguintes relações:

$$k_m \frac{\sigma_{Mx,d}}{f_{c,d}} + \frac{\sigma_{My,d}}{f_{c,d}} \leq 1 \quad (5)$$

$$\frac{\sigma_{Mx,d}}{f_{c,d}} + k_m \frac{\sigma_{My,d}}{f_{c,d}} \leq 1 \quad (6)$$

$$k_m \frac{\sigma_{Mx,d}}{f_{t,d}} + \frac{\sigma_{My,d}}{f_{t,d}} \leq 1 \quad (7)$$

$$\frac{\sigma_{Mx,d}}{f_{t,d}} + k_m \frac{\sigma_{My,d}}{f_{t,d}} \leq 1 \quad (8)$$

Em que $\sigma_{Mx,d}$ e $\sigma_{My,d}$ são as tensões atuantes no eixo X e Y respectivamente. O fator de combinação de resistências em flexão oblíqua (k_m) varia de acordo com a geometria da peça, podendo assumir valor igual a 0,5 para seções retangulares e 1,0 para outras seções. As Equações 9 e 10 são empregadas para o cálculo das tensões, onde I é o momento de inércia da seção transversal da peça relativo ao plano que se está verificando a condição de segurança, y a linha neutra e M o momento fletor.

$$\sigma_{Mx,d} = \frac{M_x}{I_x} y \quad (9)$$

$$\sigma_{My,d} = \frac{M_y}{I_y} y \quad (10)$$

Como a terça tem seção transversal retangular, o valor adotado é $k_m = 0,5$. A partir dos valores críticos da Tabela 7 foram obtidas as tensões normais, indicado na Tabela 13.

Tabela 13 - Tensões normais críticas - terças

TENSÕES NORMAIS		
I_x(cm⁴)	M_x(daNcm)	σ_{d,x} (daN/cm²)
864,00	27000,00	5,21
I_y(cm⁴)	M_y(daNcm)	σ_{d,y} (daN/cm²)
216,00	3000,00	2,31

Fonte: Das autoras (2021)

Na Tabela 14, tem-se o resultado das verificações de acordo com as Equações 5 a 8.

Tabela 14 - Verificações das tensões normais

VERIFICAÇÕES				
K_m	Equação 5	Equação 6	Equação 7	Equação 8
0,5	0,040	0,051	0,021	0,027
	ok!	ok!	ok!	ok!

Fonte: Das autoras (2021)

Além das tensões normais, também foram verificadas as tensões tangenciais (EQUAÇÃO 11) de acordo com relação encontrada na Equação 12, para ambos os eixos.

$$\tau = \frac{3V}{2A} \quad (11)$$

$$\tau < f_{v,d} \quad (12)$$

Na Equação 11, V é o esforço cisalhante e A é a área da seção transversal da peça solicitada.

A partir dos carregamentos críticos (TABELA 7) tem-se as tensões tangenciais críticas (TABELA 15).

Tabela 15 - Tensões tangenciais críticas – terça

TENSÕES TANGENCIAIS				
V_x(daN)	τ_x(daN/cm²)	V_y(daN)	τ_y(daN/cm²)	f_{v,d} (daN/cm²)
760,00	15,83	50,00	1,04	16,769

Fonte: Das autoras (2021)

De acordo com a Tabela 15, o valor de resistência ao cisalhamento, $f_{v,d}$, é 16,77daNcm², portanto τ_x e τ_y são menores que $f_{v,d}$.

A verificação dos deslocamentos (flechas) para ELS foi feita para ambas as direções (x e y), considerando os deslocamentos devidos ao carregamento distribuído ($f_{d,1}$) e à carga concentrada ($f_{d,2}$), e calculados por meio das Equações 13 e 14. Os deslocamentos f_x e f_y são a somatória de $f_{d,1}$ e $f_{d,2}$ para direção x e y, respectivamente e não pode ser maior que o limite normativo, $\ell/200$ dos vãos.

$$f_{d,1} = \frac{5 * F_{G,d} * \ell^4}{384 * E_{c0,ef} * I} \quad (13)$$

$$f_{d,1} = \frac{F_{q,d} * \ell^3}{48 * E_{c0,ef} * I} \quad (14)$$

Onde:

$F_{G,d}$: carregamento distribuído

$F_{q,d}$: carregamento concentrado

$E_{c0,ef}$: módulo de elasticidade efetivo

ℓ : comprimento

I: momento de inercia da seção transversal.

A Tabela 16 apresenta os resultados dos cálculos dos deslocamentos considerando os carregamentos mais críticos apresentados no item 4.3.2:

Tabela 16 - Verificação das flechas nos vãos

VERIFICAÇÃO NO VÃO			
Deslocamento perpendicular a 'x'			
f_{d1} (cm)	f_{d2} (cm)	f_x (cm)	limite (cm)
0,030	0,003	0,033	1,92
Deslocamento perpendicular a 'y'			
f_{d1} (cm)	f_{d2} (cm)	f_y (cm)	limite (cm)
0,483	0,048	0,531	1,92

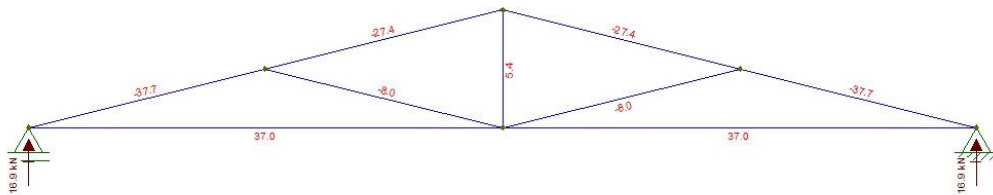
Fonte: Das autoras (2021)

Analisando os valores dos deslocamentos, percebe-se que estes estão dentro do limite permitido.

4.6.2 Treliça

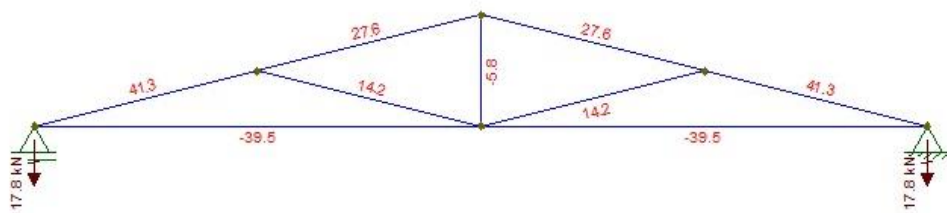
Nas Figuras 9 e 10 é possível observar os valores das solicitações em cada barra da treliça, determinadas com emprego do software Ftool®. A Treliça I apresenta os valores de solicitação desfavoráveis a estrutura, enquanto a Treliça II apresenta as solicitações favoráveis.

Figura 9 - Treliça I



Fonte: Das autoras (2021)

Figura 10 - Treliça II



Fonte: Das autoras (2021)

Para as barras tracionadas, a tensão axial é calculada a partir da Equação 15. O valor crítico descrito da Tabela 8 deve ser menor que a resistência (f_{t0}) (TABELA 12).

$$\sigma_{td} = \frac{F_d}{A} \quad (15)$$

Para as barras comprimidas a verificação é feita em função do índice de esbeltez. Para peças curtas ($\lambda < 40$), a tensão é calculada a partir da Equação 16, enquanto as peças

medianamente esbeltas ($40 < \lambda < 80$) e esbeltas ($\lambda > 80$) a equação 17 apresenta a relação de verificação. As Tabelas 17 e 18 expõem os índices de esbeltez de cada barra comprimida.

$$\sigma_{cd} = \frac{F_d}{A} \quad (16)$$

$$\frac{\sigma_{N,d}}{f_{c,d}} + \frac{\sigma_{M,d}}{f_{c,d}} \leq 1 \quad (17)$$

Na Equação 17, $\sigma_{N,d}$ e $\sigma_{M,d}$ são as tensões devida à compressão e flexão, respectivamente.

Tabela 17 - Índice de esbeltez das barras comprimidas da Trelça I

TRELIÇA I - BARRAS COMPRIMIDAS				
Barra	L(cm)	I(cm⁴)	i (cm)	λ
a - b	271	216	1,73	156,46
b - c	271	216	1,73	156,46
b - d	271	216	1,73	156,46

Fonte: Das autoras (2021)

Tabela 18 - Índice de esbeltez das barras comprimidas da Trelça II

TRELIÇA II - BARRAS COMPRIMIDAS				
Barra	L(cm)	I(cm⁴)	i (cm)	λ
a - d	519	216	1,73	299,64
c - d	131	216	1,73	75,63

Fonte: Das autoras (2021)

Em função do comprimento das barras e das dimensões das seções transversais inicialmente adotadas, notou-se que os índices e esbeltez não atenderiam ao máximo preconizado pela norma técnica. Novas seções foram então adotadas. Para o banzo inferior foi adotado 12 x 16 cm e para o restante foi adotado 12 x 9 cm, e novas verificações foram feitas (TABELA 19).

Tabela 19 – Índices de esbeltez com as novas seções

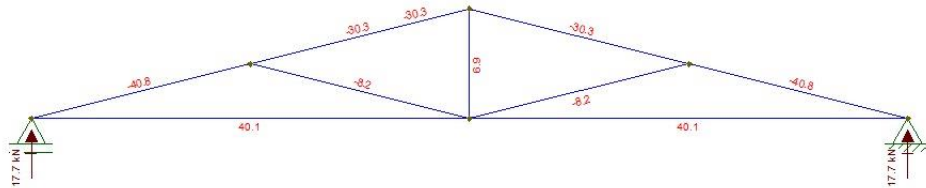
Treliça	Barra	h (cm)	b (cm)	L(cm)	I(cm ⁴)	i (cm)	λ	Peça
Treliça 1	a - b	12	9	271	729	2,6	104,31	esbelta
	b - c	12	9	271	729	2,6	104,31	esbelta
	b-d	12	9	271	729	2,6	104,31	esbelta
Treliça 2	a - d	12	16	519	2304	3,46	112,36	esbelta
	c - d	12	9	131	729	2,6	50,42	medianamente esbelta

Fonte: Das autoras (2021)

Com as novas seções adotadas, os índices de esbeltez atendem o limite normativo ($\lambda < 140$).

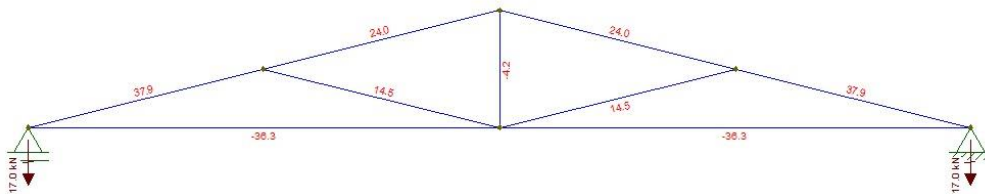
Os novos valores de solicitações estão representados nas Figuras 11 e 12.

Figura 11 - Treliça I (novas seções)



Fonte: Das autoras (2021)

Figura 12 - Treliça II (novas seções)



Fonte: Das autoras (2021)

Todas as barras comprimidas da Treliça I e II foram verificadas a partir da Equação 17. Para a Treliça I, como os comprimentos das barras são iguais, a verificação foi feita adotando a solicitação mais crítica (Tabela 20). O mesmo não acontece na Treliça II, os comprimentos das barras são diferentes. Sendo assim cada barra foi verificada separadamente (TABELA 21 E 22).

Tabela 20 - Barras comprimidas da Treliça I.

Tensão devido a compressão		
A(cm ²)	N _d (daN)	σ _{nd} (daN/cm ²)
108,00	4080,00	37,78
Tensão devido a flexão		
I(cm ⁴)	M _d (daNcm)	σ _{md} (daN/cm ²)
729,00	11146,87	68,81

Fonte: Das autoras (2021).

Com os dados da Tabela 20, a relação da Equação 17 é apresentada da seguinte maneira: $0,85 < 1$, o que condiz com a verificação de segurança.

Tabela 21 – Barra a-d Treliça II.

Tensão devido a compressão		
A(cm ²)	N _d (daN)	σ _{nd} (daN/cm ²)
192,00	3610,00	18,80
Tensão devido a flexão		
I(cm ⁴)	M _d (daNcm)	σ _{md} (daN/cm ²)
2304,00	18073,45	47,07

Fonte: Das autoras (2021).

Tabela 22 – Barra c-d Treliça II

Tensão devido a compressão		
A(cm ²)	N _d (daN)	σ _{nd} (daN/cm ²)
108,00	420,00	3,89
Tensão devido a flexão		
I(cm ⁴)	M _d (daNcm)	σ _{md} (daN/cm ²)
729,00	312,14	1,93

Fonte: Das autoras (2021)

A partir dos dados das Tabelas 21 e 22 são obtidos os seguintes resultados da relação apresentada na Equação 17: $0,24 < 1$ para a barra a-d e $0,07 < 1$ para a barra c-d. Sendo assim, as barras comprimidas da Treliça II também estão em conformidade com o documento normativo.

A verificação quanto aos esforços de tração está disposta na Tabela 23.

Tabela 23 - Tensão na barra tracionada

TENSÃO AXIAL - TRAÇÃO		
Fd(daN)	τt (daN/cm²)	ft0 (daN/cm²)
4010	27,85	180,320

Fonte: Das autoras (2021)

O valor da tensão considerando a barra mais tracionada é menor que a resistência à tração paralela às fibras, portanto, a condição de segurança foi verificada para todas as barras tracionadas.

4.6.3 Vigas

Para a verificação das vigas solicitadas à flexão simples considerou-se as condições de segurança para as tensões tangenciais (TABELA 24). A tensão tangencial seguiu a Equação 11. Os valores considerados pelo momento da viga são referentes ao peso próprio da mesma, uma vez em que ela não será solicitada por outro componente estrutural, já que sua função é apenas de travamento.

Tabela 24 - Verificação da tensão tangencial – cisalhamento – vigas

CISALHAMENTO				
V (daN)	A (cm²)	τ_{max}(daN/cm²)	$f_{v0,d}$ (danN/cm²)	$\tau_{max} < f_{v0,d}$
10	96	0,156	16,77	sim

Fonte: Das autoras (2021)

Analisando as Tabela 24 pode-se afirmar que a condição de segurança estabelecida pela NBR 7190 (ABNT,1997) foi cumprida.

4.6.4 Pilares

Considerando as dimensões dos pilares descritas na Tabela 3, 16 cm x 16 cm, seu índice de esbeltez (λ) é 64,95, definido pela NBR 7190 (ABNT,1997) como medianamente esbelto

($40 < \lambda \leq 80$), sendo necessário considerar os efeitos da flambagem na resistência, em razão de possíveis excentricidades. Para a verificação da flexo-compressão foi considerada a Equação 17.

Como foi necessário modificar a seção transversal das barras da treliça, os valores dos esforços solicitantes (N_d) no pilar também foram modificados. Os resultados das tensões calculadas a partir desses novos valores estão descritos nas Tabelas 25 e 26.

Tabela 25 - Tensão atuante no pilar devido à compressão.

TENSÃO DEVIDO A COMPRESSÃO		
A(cm²)	N_d(daN)	σ_{nd} (daN/cm²)
256,00	1819,00	7,11

Fonte: Das autoras (2021)

Tabela 26 - Tensão atuante no pilar devido à flexão

TENSÃO DEVIDO A FLEXÃO		
I(cm⁴)	M_d(daNcm)	σ_{md} (daN/cm²)
5461,33	2907,67	4,26

Fonte: Das autoras (2021)

Aplicando a Equação 17 nos valores encontrados nas Tabelas 25 e 26, encontra-se a relação $0,091 < 1,0$, ou seja, o pilar suporta o esforço solicitante.

Devido ao vento de sucção, o pilar também sofre esforços de tração. Por essa razão também foi realizada a verificação para esse tipo de solicitação (TABELA 27).

Tabela 27 - Tensão atuante no pilar devido à tração.

TENSÃO AXIAL - TRAÇÃO		
F_d(daN)	τ_t (daN/cm²)	f_{t0} (daN/cm²)
1651	6,45	180,32

Fonte: Das autoras (2021)

Comparando a tensão solicitante e resistência tem-se a relação: $6,72 < 180,32$, conforme condição de segurança da NBR 7190 (ABNT, 1997).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho apresentou-se uma proposta de edificação voltada para a população idosa localizada na cidade de Valinhos-SP. Analisando-se o plano de necessidades da unidade foi possível elaborar um projeto arquitetônico que atendesse todas as demandas com uma residência com dois quartos, sendo uma suíte, banheiro social, sala e cozinhas integradas, além de uma garagem coberta.

A aplicação da madeira aparente na estrutura se tornou parte da concepção arquitetônica, além de desempenhar satisfatoriamente como material estrutural, atendendo às verificações de segurança feitas.

Como sugestão de trabalhos futuros, sugere-se o dimensionamento dos conectores dos elementos estruturais; o projeto da cobertura com outro tipo de telha; o estudo da contribuição das rigidezes das paredes para o contraventamento horizontal da estrutura; e o desenvolvimento dos projetos complementares, como elétrico e hidráulico.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAÚJO, V. A. **Casas de Madeira e Potencial de Produção no Brasil**. Piracicaba: USP, 2017. Disponível em: <<https://teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11150/tde-22032018-113405/pt-br.php>>. Acesso em: 3 out. 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **ABNT NBR 7190: Projeto de estruturas de madeira**. Rio de Janeiro, Brasil, 1997.

_____. **NBR 6120: Cargas para o Cálculo de estruturas de edificação**. Rio de Janeiro, Brasil, 1980.

_____. **NBR 6123: Força do Vento em Edificações**. Rio de Janeiro, Brasil, 1989.

_____. **NBR 8681: Ações e Seguranças na Estruturas: Procedimento**. Rio de Janeiro, Brasil, 2003.

_____. **NBR15575-1: Edificações habitacionais: Desempenho Parte 1: Requisitos Gerais**. Rio de Janeiro, Brasil, 2013.

_____. **NBR9050: Acessibilidade a edificações, mobiliário, espaços equipamentos urbanos**. Rio de Janeiro, Brasil, 2020.

_____. **NBR14807: Peças de Madeira Serrada –Dimensões**. Rio de Janeiro, Brasil, 2002.

BESTETTI; M. L. **Habitação para Idosos: O trabalho do arquiteto, arquitetura e cidade**. São Paulo, 2006, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo – USP.

BIANCHI, S. A. **Qualidade do Lugar nas Instituições de Longa Permanência para Idosos: Contribuições Projetuais para Edificações na Cidade do Rio de Janeiro**. Rio de Janeiro: Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2013.

DALL'AGNOL, F. **Estudo Comparativo De Estruturas De Cobertura Em Madeira Variando-Se O Vão E O Tipo De Tesoura**. Pato Branco: UTFPR, 2017. Disponível em: <<https://teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11150/tde-22032018-113405/pt-br.php>>. Acesso em: 3 out. 2021.

DUDEQUE; I.T. **Espirais de madeira: Uma História da Arquitetura de Curitiba**. São Paulo: Studio Nobel, 2001.

EMBRAPA. **Transferência de Tecnologia Florestal**. 2020. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/florestas/transferencia-de-tecnologia/pinus/perguntas-e-respostas>>. Acesso em: 12 out. 2021.

FERREIRA, O.P. **Madeira: uso sustentável na construção civil**. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 2003.

HAZIN, M. M. V. **Os Espaços Residenciais na Percepção dos Idosos Ativos**. Recife: Universidade Federal de Pernambuco, 2012.

LAROCA, C. **Habitação Social Em Madeira: Uma Alternativa Viável**. Curitiba: UFPR, 2002. Disponível em: <<https://acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/3461/R%20-%20D%20-%20CHRISTINE%20LAROCA.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 23 out. 2021

MATOS, R.; BAENINGER, R. **Migração e urbanização no Brasil: processos de concentração e desconcentração espacial e o debate recente**. Cadernos do Leste, Belo Horizonte, 2004, IGC/UFMG, v. 6, n. 6, 44 p.

MOLITERNO, A. **Caderno de projetos de telhados em estruturas de madeira**. 4. ed. rev. São Paulo, 2010, p.12.

MORESCHI, J. C. **Propriedades da Madeira**. Curitiba: UFPR, 2014. Disponível em: <<http://www.madeira.ufpr.br/disciplinasmoreschi/PROPRIEDADES%20DA%20MADEIRA.pdf>>. Acesso em: 23 out. 2021

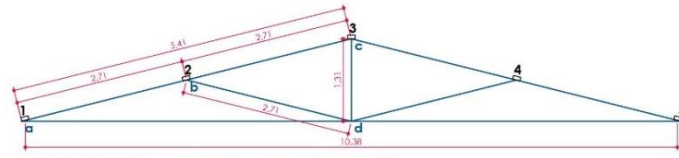
PINHEIRO, L. M. **Fundamentos do concreto e projeto de edifícios**. São Carlos: USP, 2007. Disponível em: <http://coral.ufsm.br/decc/ECC1006/Downloads/Apost_EESC_USP_Libanio.pdf>. Acesso em: 13 out. 2021.

SABBATINI, F. H. **Desenvolvimento De Métodos, Processos E Sistemas Construtivos: Formulação E Aplicação De Uma Metodologia**. São Paulo: USP, 1989. Disponível em: <https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/5683966/mod_resource/content/3/Tese%20Sabbatini%201989-v2.pdf>. Acesso em: 19 out. 2021.

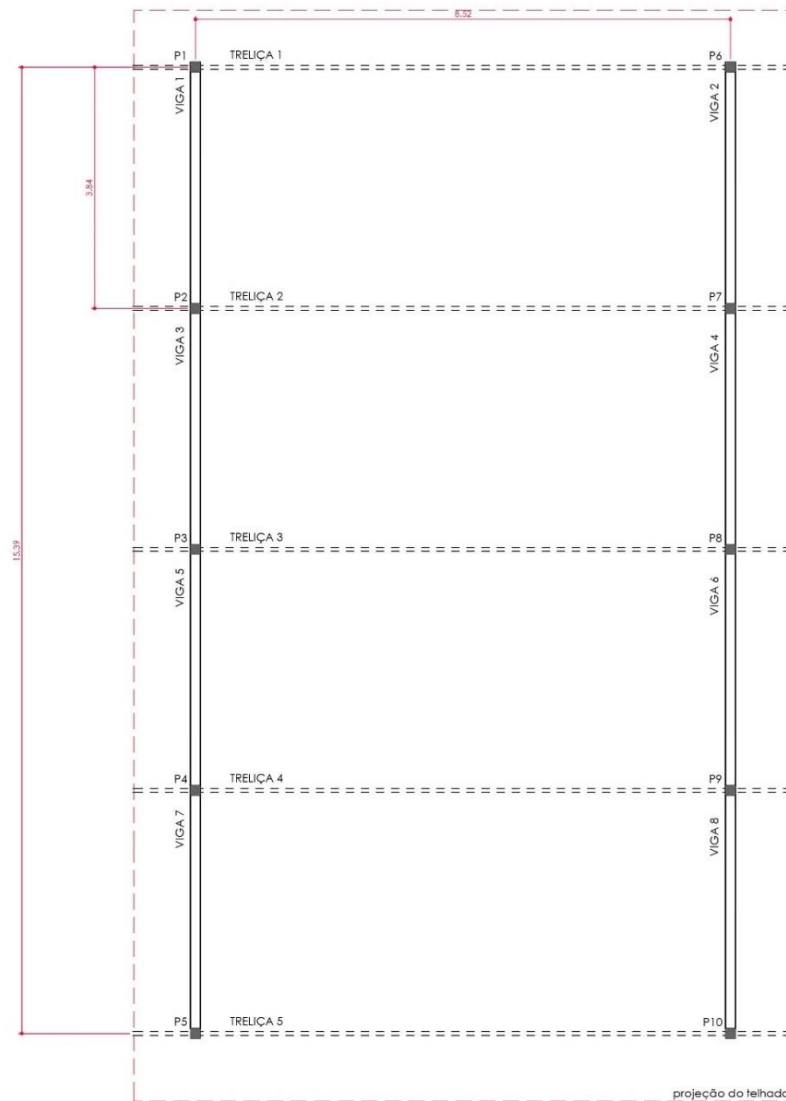
SILVA, I.Z.S. **Avaliação do Ciclo de Vida: Pinus Taeda**. Florianópolis: UFSC – Universidade federal de Santa Catarina, 2020. Disponível <<https://materioteca.paginas.ufsc.br/pinus-taeda/>> Acesso em: 05.out.2021

SILVA, L. P.; VITO, M. **Análise de carregamento em uma estrutura de concreto com sistema de vedação convencional e sistema light steelframing**. Criciúma: UNESC, 2011. Disponível em: <<http://repositorio.unesc.net/bitstream/1/1261/1/Luciano%20Paes%20da%20Silva.pdf>>. Acesso em: 12 out. 2021.

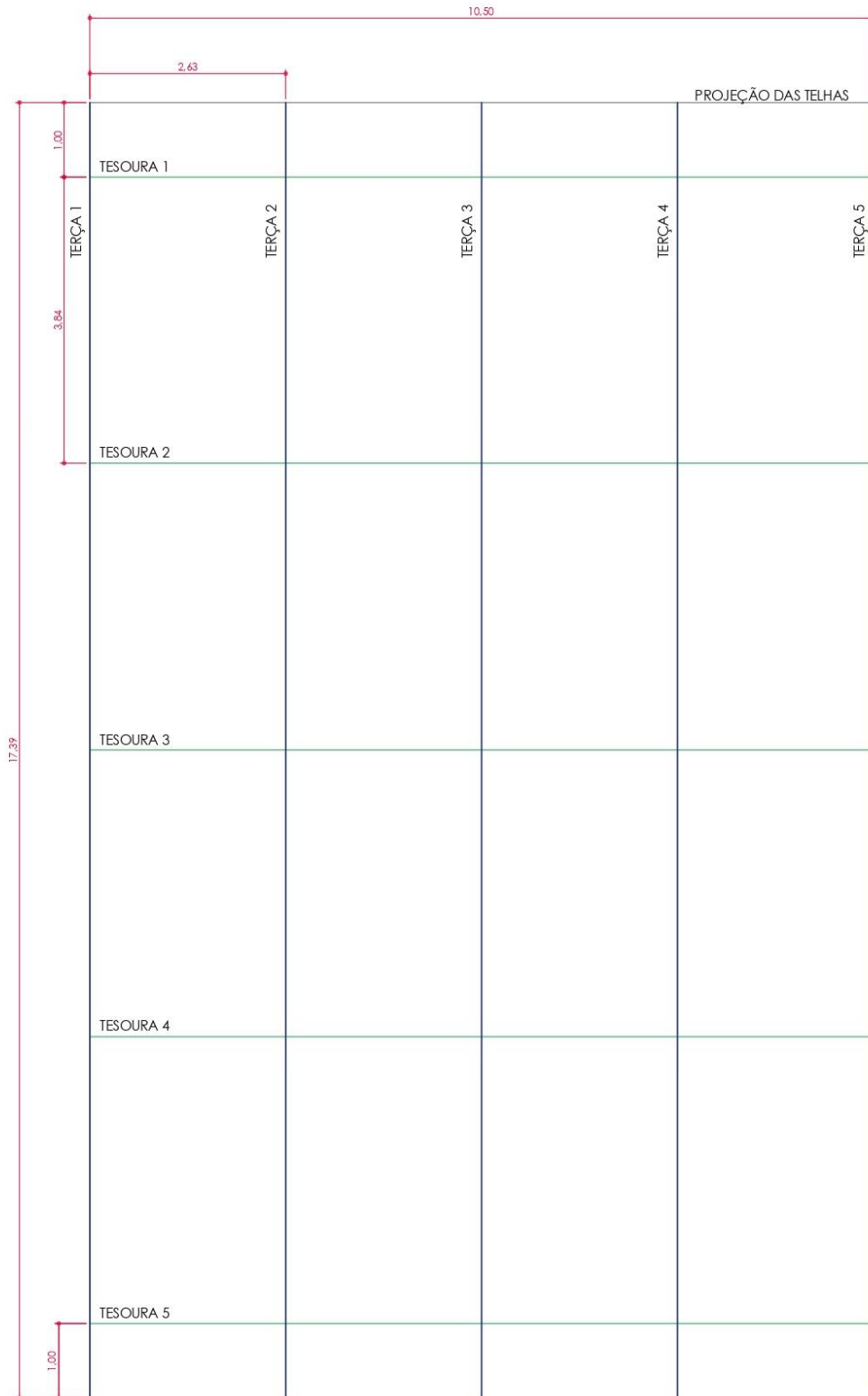
APÊNDICE B- DISPOSIÇÃO DOS ELEMENTOS ESTRUTURAIS



VISTA DA TRELIÇA – NOMENCLATURA TERÇAS E NOS.



LOCAÇÃO DOS PILARES E VIGAS



ANEXO A – TABELA DO FABRICANTE DA TELHA

Alumínio

Espessura do painel (mm)	Tipo de apoio	Sobrecarga em Kg/m ²								Peso próprio (kg/m ²) com lâmina metálica padrão de 0,5mm	Coeficiente de transmissão térmica K (kcal/m ² h °C)
		60	80	100	120	140	160	180	200		
		As medidas abaixo estão em cm									
30	2 apoios	255	235	220	210	200	190	180	170	4,50	0,54
	3 ou mais	290	270	250	240	230	220	215	205		
40	2 apoios	285	265	245	230	220	210	200	190	4,90	0,41
	3 ou mais	325	300	280	265	255	245	235	225		
50	2 apoios	310	290	270	255	240	235	220	210	5,30	0,34
	3 ou mais	355	330	310	290	275	265	255	245		
60	2 apoios	330	305	290	270	265	250	235	220	5,70	0,28
	3 ou mais	390	360	335	315	300	290	280	270		